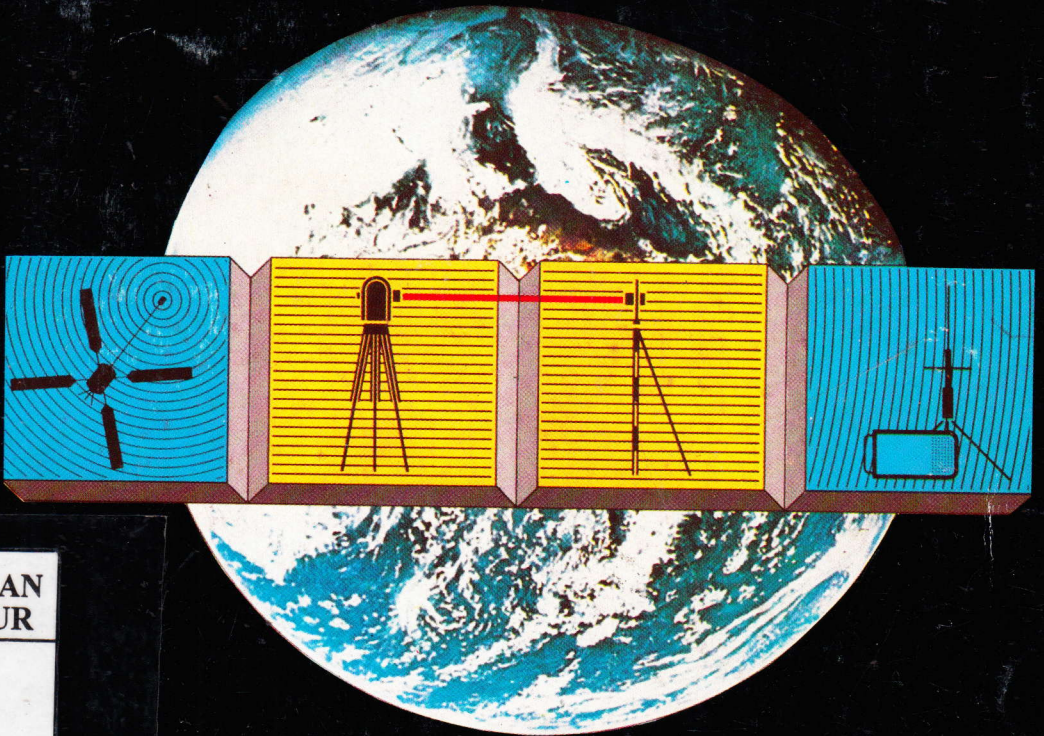


Russell C. Brinker  
Paul R. Wolf  
Djoko Walijatun

# DASAR-DASAR PENGUKURAN TANAH (SURVEYING)



AKAAN  
TIMUR

Edisi Ketujuh

Jilid 1



## KONVERSI METRIK

1 milimeter (mm)	=	1000 mikrometer ( $\mu\text{m}$ ) atau mikron ( $\mu$ )
1 sentimeter (cm)	=	10 mm
1 meter (m)	=	100 cm
*1 m	=	3,2808 kaki (ft) = *39,37 in (standar ft pengukuran tanah Amerika Serikat)
1 kilometer (km)	=	1000 m
1 km	=	0,62137 mil
*1 inci (in.)	=	25,400 mm
*1 kaki (ft)	=	304,80 mm
1 mm persegi ( $\text{mm}^2$ )	=	0,00155 in. <sup>2</sup>
1 m <sup>2</sup>	=	10,76 ft <sup>2</sup>
1 km <sup>2</sup>	=	247,1 acres
1 hektar	=	2,471 acres
1 m <sup>3</sup>	=	35,3 ft <sup>3</sup>
1 liter	=	0,264 gal (galon) Amerika Serikat
1 gram (g)	=	0,035 oz (ons)
1 kilogram (kg)	=	2,20 lb (pon)
1 ton	=	907 kg = 2,00 kips
1 m/detik	=	3,28 ft/detik
km/jam	=	0,911 ft/detik = 0,621 mil/jam
1 kg/m <sup>3</sup>	=	0,0624 lb/ft <sup>3</sup>
1 ton/m <sup>3</sup>	=	0,0328 lb/in. <sup>3</sup>

\*Menyatakan harga tepat. Yang lain benar sampai angka yang ditunjukkan.

## BEBERAPA ANGKA PENTING DALAM PENGUKURAN TANAH

0,00 000 1 (atau 2)	=	koefisien muai, pita Invar, tiap 1°F
0,000 004 848	=	sin 1" = tg 1"
0,000 006 45	=	koefisien muai, pita baja, tiap 1°F
0,000 290 89	=	harga pendekatan sin 1' = tg 1' (biasa dipakai 0,000 29 atau 0,000 3)
0,017 452 41 sin	=	harga pendekatan sin 1° = tg°1 = kira-kira 0,01 $\frac{3}{4}$ = radial dalam 1°
0,017 455 06 tg	=	koefisien-gabungan kelengkungan dan biasan (refraksi) (ft/mil <sup>2</sup> )
0,574	=	koefisien-gabungan kelengkungan dan biasan (refraksi) (ft/mil <sup>2</sup> )
0,6745	=	koefisien untuk standar devisa 50% (yaitu galat mentak atau probable error)
*1 in.	=	0,0254 m (ft standar Amerika Serikat, 1959)
*1 ft	=	0,3048 m (ft standar Amerika Serikat, 1959)
1,15 mil	≡	1 menit (1') lintang ≡ 1 mil laut
3,141 592 654	=	$\pi$
*6 mil	=	panjang, lebar township normal (mata-jala ukuran tanah Negara, Amerika Serikat)
*10 rantai persegi (ch <sup>2</sup> )	=	1 acre (Gunter)
*15° bujur	=	lebar satu zone waktu = 360°/24 jam

15°F	=	menyebutkan panjang pita baja 100-ft sebesar 0,01 ft
*16 $\frac{1}{2}$ ft	=	1 rod = 1 pola = 1 perch = $\frac{1}{4}$ rantai (ch) (Gunter)
*20°C	=	suhu standar (Celsius) dalam pengukuran jarak dengan pita = 68°F
23°26 $\frac{1}{2}$	=	deklinasi maksimum matahari di titik baliknya
23°56'04,091 <sup>d</sup>	=	panjang hari-bintang (sidereal day) dinyatakan dalam waktu-matahari menengah (mean solar time) dan lebih pendek 3 <sup>m</sup> 55,909 <sup>d</sup> waktu-matahari daripada hari-matahari menengah (mean solar day); juga lebih pendek 3 <sup>m</sup> 56,555 <sup>d</sup> waktu-bintang (sidereal time) daripada hari-matahari menengah
*24 jam	=	360° bujur
*25,4 mm	=	1 in. (ft standar Amerika Serikat, 1959)
*36	=	jumlah bagian (section) dalam township normal
*50	=	pembacaan busur Beaman untuk sudut vertikal 0° (30 dalam sistem lama)
57°17'44,8"	=	1 radial (rad) = 57,295 779 51°
*66,1 mil	=	panjang rantai Gunter = 100 mata-rantai (links, lk)
69,1 mil	≡	1° lintang
*80 ch	=	1 mil (Gunter)
100	=	tetapan pengali pengukuran jarak optis (biasanya)
101 ft	≡	1 sekon (1") lintang
300	≡	tetapan pengali pengukuran jarak optis pada beberapa alat sipat-datar teliti
333 $\frac{1}{3}$	≡	idem untuk rambu dengan ukuran yard
*400 grads	=	360°
*480 ch	=	panjang dan lebar township normal
490 lb/ft <sup>3</sup>	=	kepadatan baja untuk perhitungan dengan pita ukur
*640 acres	=	satu irisan normal seluas 1 mil <sup>2</sup>
607610 ft	=	1 mil laut
*3600/3937	=	perbandingan yard/m Amerika Serikat untuk ft aturan lama (1866) dan ft standar juru-ukur (surveyor)
4.046,9 m <sup>2</sup>	=	1 acre
*6400 mils	=	360°
5.729,577 951 ft	=	jari-jari lengkungan 1°, definisi busur
5.729,650 686 ft	=	jari-jari lengkungan 1°, definisi tali busur
10.000 km	=	jarak dari ekuator ke kutub (dasar untuk panjang meter)
*43.560 ft <sup>2</sup>	=	1 acre
206.264,806 25 sekon	=	1 radial = cotg 1" = 180°/π dalam sekon
299.792,5 km/detik	=	kecepatan sinar, dan gelombang-gelombang elektromagnetik lain, dalam vakum
1.650,763,73	=	panjang gelombang gas kripton dalam vakum, panjang meter standar tahun 1960
6.356.583,8 m	=	setengah sumbu-pendek bumi (elipsoid Clarke 1866)
6.378.206,4 m	=	setengah sumbu-panjang bumi (elipsoid Clarke 1866)
20.906.000 ft	=	jari-jari menengah bumi = 3960 mil
29.000.000 lb/in. <sup>2</sup>	=	modulus elastisitas Young untuk baja

# DASAR-DASAR PENGUKURAN TANAH



DASAR-DASAR  
PENGUKURAN  
TANAH

EDISI KETUJUH

# DASAR-DASAR PENGUKURAN TANAH

**Jilid 1**

**RUSSELL C. BRINKER**

Adjunct Professor of Civil Engineering  
New Mexico State University

**PAUL R. WOLF**

Professor, Civil and Environmental Engineering  
University of Wisconsin at Madison

Alih Bahasa:

**DJOKO WALIJATUN**

Direktorat Agraria

2000

**PENERBIT ERLANGGA**

Jl. H. Baping Raya No. 100

Ciracas - Jakarta 13740

(Anggota IKAPI)



310.385/BPP/P/07

**MILIK**  
Badan Perpustakaan  
Badan Perpustakaan  
Propinsi Jawa Timur

Judul Asli: **ELEMENTARY SURVEYING**  
*Seventh Edition*

Hak Cipta dalam Bahasa Inggris © 1984 pada Harper & Row, Publishers, Inc.  
Hak Terjemahan dalam Bahasa Indonesia pada **Penerbit Erlangga**.

Diterjemahkan oleh : **Djoko Walijatun, M.Sc.**  
*Kepala Sub Direktur Pendaftaran Tanah pada Direktorat Agraria  
Propinsi Jawa Tengah - Semarang*

Buku ini diset dan dilayout oleh Bagian Produksi **Penerbit Erlangga** dengan  
huruf PR-10-M.

05 04 03 02 01 00 9 8 7 6 5 4

Dicetak oleh : **PT. Gelora Aksara Pratama**

Dilarang keras mengutip, menjiplak, atau memfotokopi sebagian atau seluruh isi  
buku ini serta memperjualbelikannya tanpa izin tertulis dari **Penerbit Erlangga**.

© HAK CIPTA DILINDUNGI OLEH UNDANG-UNDANG

## UCAPAN TERIMA KASIH

Para pengarang ingin menyampaikan terima kasih atas saran-saran dan bantuan-bantuan yang berguna, atau bahan-bahan yang dipakai untuk edisi ini maupun edisi-edisi sebelumnya, atau kedua-duanya, yang telah diberikan oleh Profesor-profesor A.S. Cutler, O.S. Zelle, dan L.F. Boon; C.B. Andrews; P.P. Rice; D.F. Griffin; A.S. Chase; L. Perez; Let. Kol. W.L. Baxter; E.G. Rich; J.P. Rastroni; D.V. Smith; E.C. Wagner, H.E. Kallsen, J.L. Clapp, R.B. Buckner, dan S.D. Johnson; G.B. Lyon; W.A. Wintz, Jr.; D.C. McKee; J.M. DeMarche; C.F. Meyer; C.H. Drown; J.R. Coltharp; P. W. McDonnell, Jr. J.O. Eichler; D.C. McNeese; D.A. Tyler; D.S. Turner; J.O. Meadows; E.F. Kuhlan; R.E. Hauck; K.S. Curtis; P.E. Borgo; P.B. Newlin; A.C. Kellie; C.E. Balleisen; W.I. Strong; E.F. Burkholder; H.Z. Lewis; A.P. Vonderohe, dan D.F. Mezera. Juga, W.C. Wattles, R.P. Irwin, T.E. Henderson, F.A. Sieker, F.P. Thomack, R.H. Holdridge, R. Minnick, J.M. Kesler, B.A. Dewitt, J.W. Schoonmaker, J.D. Henry, E. Gammon, R.J. Fish, dan E. Zimmerman. Ucapan terima kasih khusus disampaikan kepada Louise Shafer untuk sumbangannya yang banyak bagi buku ini.

Bahan berupa gambar dan bantuan lainnya telah diberikan dengan cuma-cuma oleh U.S. Bureau of Land Management, U.S. Geological Survey, National Geodetic Survey, U.S. Soil Conservation Service, Defense Mapping Agency, dan Technical Advisor, Inc.

Perusahaan-perusahaan alat ukur yang menyediakan foto-foto adalah the Keuffel & Esser Company; Kern Instruments, Inc.; Lietz Company; American Paulin System; Carl Zeiss Oberkochen; Wild Heerbrugg Instruments, Inc.; Lenker Manufacturing Company; Warren Knight Company; AGA Geodimeter, Inc.; Hewlett Packard, Inc.; Telludist, Inc.; Dietzgen, Inc.; W. & L.E. Gurley; Numonics Corporation; Magnivox; Owen Ayres & Associates, Inc.; Bausch & Lomb, Inc.; Shell Canada Resources, Ltd.; Kelsh Instrument Division, Danko Arlington, Inc.; dan Benchmark Company.



# DAFTAR ISI

---

<b>Kata Pengantar</b>	xv
<b>BAGIAN I</b>	
Bab 1. Pengantar	3
Definisi Pengukuran Tanah	3
Pentingnya Pengukuran Tanah	4
Sejarah Pengukuran Tanah	5
Pengukuran Geodetik dan Pengukuran Tanah Datar	7
Pengukuran-pengukuran khusus	9
Tahana (Status) Pengukuran Tanah Dewasa Ini	10
Profesi Pengukuran Tanah	11
Tantangan-tantangan di Masa Depan dalam Pengukuran Tanah	12
Soal-soal	13
Daftar Pustaka	14
Bab 2. Teori Pengukuran dan Galat	15
Pengantar	15
Jenis-jenis Pengukuran dalam Pengukuran Tanah	16
Satuan-satuan pada Pengukuran	16
Sistem Satuan-Internasional (SI)	17
Angka-angka Terpakai	18
Pembulatan Angka-angka	20



Pengukuran Langsung dan Tak Langsung	20	Koreksi koreksi Gabungan dalam Masalah Pengukuran dengan Pita	68
Galat dalam Pengukuran	20	Polaksanaan Lapangan Khusus Memakai Pita	70
Sumber-sumber Galat dalam Mengukur	21	Soal-soal	73
Jenis-jenis Galat	21	Daftar Pustaka	76
Besarnya Galat	22		
Menghilangkan Kesalahan Besar dan Galat Sistematis	22		
Kementakan (Probability)	23	Bab 6. Pengukuran dengan Instrumen EDM	77
Terjadinya Galat Acak (Random Errors)	23	Pengantar	77
Kaidah-kaidah Umum Kementakan	26	Klasifikasi Instrumen-instrumen EDM	78
Harga paling Mentak	27	Prinsip Pemakaian Instrumen EDM	78
Residual	27	Instrumen-instrumen Elektro-Optis	79
Ukuran-ukuran Kesaksamaan	27	Instrumen-instrumen Gelombang Renik	84
Penafsiran Galat Standar	29	Instrumen Stasiun Kotah (Total-station Instruments)	86
Galat 50, 90, dan 95%	29	Galat-galat dalam Pengukuran Jarak Elektronik	86
Galat sebuah Jumlah	31	Menghitung Jarak Horisontal dari Jarak Miring	88
Galat sebuah Seri	32	Soal-soal	91
Galat harga Menengah	33	Daftar Pustaka	92
Penerapan-penerapan	34		
Perataan Pengukuran-pengukuran	34	Bab 5. Sipat Datar – Teori, Metode, Peralatan	93
Bobot Pengukuran	34	<i>Bagian I: Teori</i>	93
Soal-soal	35	Pengantar	93
Daftar Pustaka	38	Definisi-definisi	93
Bab 3. Catatan Lapangan Pengukuran	39	Kelengkungan dan Biasan	95
Pengantar	39	Cara-cara Menentukan Selisih dalam Elevasi	97
Persyaratan Catatan yang Baik	40	<i>Bagian II: Peralatan untuk Sipat Datar Memanjang</i>	100
Jenis-jenis Buku Lapangan	40	Jenis-jenis Alat Sipat Datar	100
Jenis-jenis Catatan	41	Tabung NIVO	100
Susunan Catatan	42	Teropong	102
Saran-saran Untuk Penulisan Catatan	43	Optika	104
Soal-soal	44	Penopang NIVO dan Pendukung Alat Sipat Datar Jenis-Y dan	
Daftar Pustaka	46	Semua-tetap	105
Bab 4. Pengukuran Jarak: Pengukuran dengan Pita	47	Bidang Sekrup Penyetel	106
<i>Bagian I. Metode-metode Pengukuran Linier</i>	47	Alat Sipat Datar Y	106
Pengantar	47	Alat Sipat Datar Semua-tetap	107
Metode Mengukur Jarak Horisontal	47	Alat Sipat Datar Semua-tetap dengan Pengungkit	107
Mengukur dengan Langkah	48	Alat Sipat Datar Otomatik	109
Pembacaan Odometer	48	Kaki tiga	110
Pengukur Jarak Optis	49	Alat Sipat Datar Tangan	110
Takimetri	49	Rambu-rambu Sipat Datar	111
Batang-ukur Jarak (Subtense Bar)	49	Rambu Philadelphia	112
<i>Bagian II. Pengukuran Jarak dengan Pita</i>	50	Nonius	114
Pengantar Pengukuran dengan Pita	50	Soal-soal	115
Peralatan Mengukur dengan Pita	50	Daftar Pustaka	116
Pemeliharaan Peralatan Pengukuran dengan Pita	53		
Pengukuran dengan Pita pada Tanah Datar	54	Bab 7. Sipat Datar – Prosedur Lapangan dan Hitungan	119
Pengukuran Horisontal pada Tanah Tak Rata	57	Pengantar	119
Pengukuran Lereng	58	Mengangkut dan Memasang Alat Sipat Datar	119
Penempatan Stasiun	59	Tugas-tugas Pemegang Rambu	121
Sumber-sumber Galat pada Pengukuran dengan Pita	60	Sipat Datar Memanjang	122
Masalah-masalah Pita Ukur	67	Sipat Datar Timbal-balik	125
		Sipat Datar Profil	125



Pencatat Profil Udara	126	Pembagian Derajat (Skala)	168
Penggambaran dan Pemakaian Profil	127	Nonius nonius	169
Sipat Datar Kisi, Irisan, atau Lubang Galian Sumbang (Grid, Cross-section, Borrow-pit)	128	Pembacaan Nonius	170
Pemakaian Alat Sipat Datar Tangan	128	Sifat sifat Transit	171
Besarnya Regu Lapangan	128	Penanganan dan Pemasangan Transit	172
Tenggara-tenggara	128	<i>Bagian II: Teodolit</i>	173
Kesaksamaan	129	Sifat-sifat Teodolit	173
Perataan Jaringan Sipat Datar Sederhana	130	Teodolit Repetisi	175
Perataan Jaringan Bersimpul	131	Teodolit Reiterasi	176
Sumber-sumber Galat dalam Sipat Datar	132	Teodolit Digital Elektronik	179
Kesalahan Besar	134	Penanganan dan Pemasangan Teodolit	180
Mengurangi Galat dan Menghilangkan Kesalahan Besar	135	Soal-soal	181
Soal-soal	135	Daftar Pustaka	182
Daftar Pustaka	137		
<b>Bab 8. Sudut, Sudut arah, dan Azimut</b>	139	<b>Bab 11. Pekerjaan Lapangan dengan Transit dan Teodolit</b>	183
Pengantar	139	Pengantar	183
Satuan-satuan Pengukuran Sudut	139	Hubungan Sudut dan Jarak	183
Jenis-jenis Sudut Horisontal	140	Mengukur Sudut Horisontal dengan Transit	184
Arah sebuah Garis	141	Mengukur Sudut dengan Memakai Instrumen Repetisi	186
Sudut Arah	142	Mengukur Sudut Cara Keliling (Closing the Horizon)	187
Azimut	143	Memasang sebuah Sudut dengan Instrumen Repetisi	188
Perbandingan Sudut Arah dan Azimut	144	Sudut-sudut Belokan	189
Menghitung Sudut Arah	144	Azimut	190
Menghitung Azimut	146	Mengukur dengan Teodolit Reiterasi	191
Kesalahan Besar	147	Titik Bidik dan Tanda Bidik	193
Soal-soal	148	Memperpanjang Garis Lurus	193
		Memperpanjang Garis Lurus Lewat Penghalang	194
<b>Bab 9. Kompas</b>	151	Menempatkan Teodolit pada Garis Lurus (Balancing in)	196
Pengantar	151	Garis Acak	196
Teori Kompas	151	Mengukur Sudut Vertikal	197
Deklinasi Magnetik	152	Mengukur Sudut dengan Teodolit Digital Elektronik	197
Keragaman dalam Deklinasi Magnetik	152	Transit dan Teodolit sebagai Alat Sipat Datar	198
Gaya Tarik Lokal	153	Sumber Galat dalam Pekerjaan Transit dan Teodolit	198
Kompas Juru Ukur	156	Kesalahan Besar	201
Kompas Kehutanan dan Geologi	158	Soal-soal	202
Kompas Brunton	158	Daftar Pustaka	204
Masalah-masalah Khas	159		
Sumber-sumber Galat dalam Pekerjaan Kompas	159	<b>Bab 12. Pengukuran Poligon</b>	205
Kesalahan Besar	161	Pengantar	205
Soal-soal	161	Cara-cara Mengukur Sudut atau Arah Poligon	206
Daftar Pustaka	162	Pengukuran Panjang	207
		Memilih Titik Poligon	208
<b>Bab 10. Teodolit Kompas dan Teodolit</b>	163	Pengaturan Regu Lapangan	210
Pengantar	163	Catatan Poligon	210
<i>Bagian I: Transit (Teodolit Kompas)</i>	165	Kesalahan Penutup Sudut	210
Bagian-bagian Transit	165	Sumber-sumber Galat	212
Piringan Atas	166	Kesalahan-kesalahan Besar	212
Piringan Bawah	167	Soal-soal	213
Bidang Sekrup Penyetel	167	Daftar Pustaka	214

Bab 13	Hitungan Poligon	215
	Pengantar	215
	Mengoreksi Sudut-sudut	215
	Hitungan Sudut Arah atau Azimut	217
	Selisih Absis dan Ordinat	217
	Syarat-syarat Penutup X dan Y	218
	Hitungan Selisih Absis dan Selisih Ordinat	218
	Metode-metode Perataan Poligon	219
	Koordinat Tegaklurus	222
	Jarak dan Sudut Arah dari $\Delta Y$ dan $\Delta X$ , atau Koordinat (Inversi)	223
	Hitungan Koordinat pada Pengukuran Batas	225
	Orientasi Poligon dengan Koordinat	226
	Sistem-sistem Koordinat Bidang Negara Bagian (State Plane Coordinate Systems)	226
	Hitungan Poligon dengan Alat-alat Elektronik	227
	Sumber-sumber Galat dalam Hitungan Poligon	228
	Kesalahan-kesalahan Besar	228
	Soal-soal	228
	Daftar Pustaka	231

Bab 14	Luas	233
	Pengantar	233
	Cara-cara Mengukur Luas	233
	Luas dengan Membuat Segitiga-segitiga	234
	Luas dengan Simpangan Garis Lurus	234
	Luas dengan Metode Jarak-meridian-ganda	236
	Luas dengan Koordinat	239
	Luas Bidang dengan Batas Lengkung	241
	Luas dari Peta dengan Segitiga-segitiga	241
	Luas dengan Bujursangkar Koordinat	241
	Pengukuran Luas dengan Planimeter	242
	Sumber-sumber Galat	244
	Kesalahan-kesalahan Besar	244
	Soal-soal	244
	Daftar Pustaka	246

Apendiks A	Menguji dan Mengatur Instrumen	247
	Pengantar	247
	Cara-cara Pengujian Instrumen	248
	Persyaratan untuk Pengujian dan Pengaturan Alat Sipat Datar, Transit, dan Teodolit	248
	Mengatur Alat Sipat Datar Semua-tetap	249
	Mengatur Alat Sipat Datar dengan Pengungkit	251
	Pengaturan Transit	252
	Pengaturan Pemusat Optis	255
	Pengaturan Nivo Kotak	255
	Pengaturan Alat Sipat Datar Tangan	256

Apendiks B	Formulasi Koordinat dan Hitungan Perpotongan Garis	257
	Pengantar	257
	Bentuk Persamaan Koordinat untuk Garis	258
	Perpotongan Dua Garis	259
	Bentuk Persamaan Koordinat untuk Lingkaran	260
	Perpotongan Garis dan Lingkaran	260
	Perpotongan Dua Lingkaran	261
	Transformasi Koordinat Dua-Dimensi	263

Apendiks C	Program untuk Hitungan Koordinat	267
	Pengantar	267
	Program untuk Hitungan Poligon	267
	Azimut dari Pengamatan Polaris	269
	Azimut dari Pengamatan Matahari	271

Apendiks D	Gambar dan Gambar Catatan	275
------------	---------------------------	-----

Apendiks E	Tabel tabel	289
	Reduksi Takimetri	289
	Konvergensi Meridian (Range Lines)	293
	Azimut Garis Singgung	294
	Pergeseran (Offsets) dalam Link, dari Garis Singgung ke Paralel	295
	Fungsi-fungsi Lengkungan Melingkar	296
	Panjang Busur dan Tali Busur Sebenarnya	300
	Rumus-rumus Trigonometrik untuk Penyelesaian Segitiga Siku-siku	302
	Rumus-rumus Trigonometrik untuk Penyelesaian Segitiga Sembarang	303
	Hubungan antara Galat Linier dan Galat Sudut	304
	Kesaksamaan Harga-Terhitung	305

Apendiks F	Jawaban Soal-soal Terpetik	307
------------	----------------------------	-----



# KATA PENGANTAR

---

Edisi Ketujuh dari *Elementary Surveying* ini memakai pendekatan yang sama dengan edisi-edisi sebelumnya dalam menyajikan sebuah buku teks yang mudah dibaca, berisi teori dasar dan bahan praktis untuk pemakaian di lapangan maupun di ruang kuliah. Dengan memasukkan fakta-fakta yang kurang dikenal tetapi berkaitan dengan dan menekankan aspek-aspek profesional pengukuran tanah, diharapkan dapat mendorong minat pada profesi bersejarah ini. Pembahasan tentang kemajuan-kemajuan teknologi yang mengarah ke perbaikan metode dan peralatan merupakan motivasi utama untuk memperbaiki buku ini.

Bab 1 sampai dengan 17 merupakan bahan untuk sebuah program (proyek) kuliah-tunggal yaitu pembuatan peta topografik dengan bagian-bagian yang lengkap termasuk teori galat (errors), pencatatan hasil pengukuran, pemakaian peralatan, metode-metode lapangan, hitungan dan prosedur-prosedur penggambaran.

Bab 18 sampai dengan 28 adalah pelajaran kedua yang merupakan materi kuliah yang lebih maju dan khusus, sambil memberi gambaran kepada para mahasiswa program studi-tunggal, tentang apa yang merupakan kelanjutannya. Bahan dalam teks tetapi tidak dibahas di ruang kuliah, akan tetap bermanfaat untuk pemakai di kemudian hari, karena para mahasiswa pengukuran tanah dan rekayasa (engineering) mungkin akan menyimpan buku-buku lanjutan untuk acuan selanjutnya dalam tugas profesional dan untuk persiapan ujian-ujian memperoleh lisensi juru-ukur.

Edisi-edisi yang lampau dan sekarang telah dilengkapi dengan gagasan dan timbangan buku dari banyak pengajar dan praktisi seperti ditunjukkan oleh daftar panjang nama-nama dalam bagian Ucapan Terima Kasih.

Di antara banyak perubahan yang memperbaiki dan memperbaharui buku ini adalah sebagai berikut:

1. Tiga bab (Pengukuran Linear, Sipat Datar, serta Teodolit Kompas dan Teodolit) telah dipecah masing-masing menjadi dua bab baru agar lebih baik susunannya dan menghasilkan pokok persoalan dengan keluasan yang memadai.
2. Bab-bab mengenai Pengamatan Astronomis, Pengukuran untuk Konstruksi, Lengkungan Melingkar, dan Volume pada pokoknya telah dirubah.
3. Penekanan lebih besar diberikan pada jenis-jenis peralatan yang lebih baru, seperti instrumen-instrumen "stasiun kotah" (total station) dan teodolit digital dengan pembacaan otomatis. Foto-foto dan sifat-sifat instrumen telah dimutakhirkan.
4. Pemakaian instrumen EDM (EDMs) dalam sebuah "cara pelacakan" (tracking mode) untuk pemancangan konstruksi dibicarakan pula.
5. Pembahasan tentang sistem-sistem Kelembaman (Inertial System) dan Satelit Doppler telah ditambah, dan diperkenalkan materi tentang sistem koordinat UTM.
6. Tiga program komputer, ditulis dalam BASIC untuk hitungan poligon, dan reduksi data azimut untuk pengamatan Polaris dan Matahari, termuat dalam Apendix disertai soal-soal contoh untuk menggambarkan penerapannya.
7. Sebuah bab baru tentang Geometri Koordinat dalam hitungan pengukuran tanah telah ditambahkan dalam Apenixs.
8. Perataan-perataan baru daripada datum-datum horizontal dan vertikal nasional, yang dibuat oleh the National Geodetic Survey, dibicarakan pula.
9. Bagian-bagian baru dalam bab Lengkungan Melingkar adalah Rancangan Lengkungan dengan Sudut Belokan (Deflection Angle) memakai Takimeter Elektronik ("instrumen stasiun kotah") dan Perpotongan Dua Lengkungan Melingkar.
10. Pengkaplingan yang bagus sebagai hasil penggambaran oleh komputer menunjukkan kemajuan di bidang ini sejak diterbitkannya Edisi Keenam.
11. Data baru tentang proyek-proyek pengukuran dan pemetaan oleh Pemerintah telah dicatat dan ditambah dengan butir-butir penjelasan tentang Pengukuran Tanah Negara.
12. Metode-metode reduksi jarak EDM, untuk mengoreksi penyimpangan vertikal daripada instrumen EDM (EDM) dan teodolit yang dipasang di bawahnya, telah ditambahkan.
13. Liputan bab tentang astronomi diperluas dengan bagian singkat tentang Pengamatan untuk Lintang dan Bujur.
14. Peta Isogonik baru yang meliputi dua halaman menggantikan peta yang lama.
15. Beberapa saran lagi tentang penulisan catatan ukuran ditambahkan pada daftarr yang telah panjang.
16. Beberapa sifat khas lagi dari garis tinggi telah ditambahkan untuk memperbaiki tabulasi menyeluruh.
17. Formulir sipat datar resiprok telah diperbaiki.
18. Sebuah daftar acuan relevan yang terpilih telah ditambahkan sehabis tiap bab.

Materi tentang instrumen jenis lama agak dikurangi tetapi tidak dihilangkan. Pita aja, alat sipat datar sederhana (dumpy level), teodolit kompas dan planset masih dibuat, dijual dan dipakai oleh para mahasiswa dalam tahap-tahap pertama di banyak perguruan tinggi dan oleh banyak orang di lapangan. Alat-alat ini menggambarkan pokok-pokok dasar pengukuran tanah, misalnya teori galat (error), dengan memperkenalkan pengukuran-pengukuran kasar. Pertimbangan para pemula dapat lebih dimatangkan dengan membaca onius dan pita ukur daripada menekan tombol dan memperoleh jawaban yang secara otomatis terpilih dan tercatat.

Titik-berat di dalam teks diletakkan pada teori galat, dan pada korelasi antara teori dan metode-metode lapangan yang praktis. Hampir 900 soal terdapat di tiap akhir bab dan di bagian belakang buku ini terdapat kira-kira seperempat jawabannya untuk membantu para mahasiswa untuk belajar sendiri.

Para insinyur, arsitek, ahli geologi dan kehutanan harus mampu membuat pengukuran dan menganalisa kesaksamaan dan ketelitian hasil yang diperoleh orang lain. Mereka seharusnya memenuhi syarat kemampuan untuk menempatkan dan mengatur mesin-mesin dengan benar, merancang gedung-gedung dan bangunan biasa lainnya, mengerti dan membuat peta-peta topografik sederhana. Masing-masing bidang ini dibahas, dan dikemukakan prosedur lapangannya yang benar untuk memperoleh kesaksamaan yang diinginkan.

Beberapa acuan tentang biaya dibicarakan pula agar para mahasiswa secara dini di dalam tugas di perguruan tinggi belajar mengenali tiga dasar praktek pengukuran tanah dan rekayasa, teori, penerapah dan biaya. Semua pengukuran tanah adalah merupakan perjuangan terus-menerus untuk mengurangi atau mengucilkan galat dan kesalahan besar. Di bagian akhir kebanyakan bab, para mahasiswa diingatkan akan hal ini dengan daftar galat dan kesalahan besar yang biasa terjadi.

Walaupun seluruh tujuh edisi mempertahankan judul *Elementary Surveying* (dengan demikian menghindari kembalinya ke edisi "pertama" lagi), isinya melewati batas tingkat dasar dalam hal isi dan cakupannya. Tetapi sejumlah besar bab memungkinkan mengikutsertakan atau menghilangkan beberapa pokok bahasan untuk menyesuaikan diri dengan waktu kuliah yang tersedia untuk para mahasiswa dalam pengukuran tanah, teknik sipil, kurikula rekayasa yang lain, arsitektur, geologi, pertanian dan kehutanan.

Bab-bab diatur dengan urutan yang paling memudahkan di banyak perguruan tinggi. Bahan-bahan dasar terkumpul dalam tujuh belas bab pertama. Teori dan pemakaian instrumen-instrumen dasar pengukuran terestris — pita, peralatan EDM, alat sipat datar, teodolit kompas, teodolit dan planset — dibicarakan secara terperinci dan dibahas pula peralatan jenis-jenis baru. Sembarang bab setelah bab 17 dapat dilewati tanpa kehilangan kesinambungan, walaupun ada beberapa yang cukup pendek sehingga cocok untuk sebuah penugasan (pekerjaan rumah).

Liputan terbatas pada pokok-pokok bahasan seperti astronomi lapangan, pengukuran batas dan fotogrametri, diberikan untuk menyesuaikan berbagai program yang ada. Sebagai contoh, bab pendek tentang pengukuran batas dimaksudkan agar para mahasiswa menyadari beberapa masalah yang terlibat dalam pengukuran dan pemindahan hak tanah serta persyaratan yuridis pendaftaran profesi. Beberapa pengajar memberikan pelajaran pengukuran tanah secara luas dan menginginkan para mahasiswanya memperoleh gambaran umum menyeluruh dari banyak fungsi pengukuran tanah. Ada keyakinan bahwa susunan dan cakupan bahan yang disajikan di sini akan mencukupi pula kebutuhan semacam itu.

Pengukuran dengan pita, pengukuran jarak elektronik, sipat datar, dan pemakaian teodolit kompas dan teodolit merupakan urutan yang dipakai karena para mahasiswa lebih mudah mendapat sedikit kelancaran kerja dengan peralatan yang diurutkan seperti ini. Susunan ini juga memungkinkan permulaan dan kelanjutan kerja lapangan dengan waktu kuliah dasar yang minimum, serta memungkinkan memulai hitungan serta penggambaran yang berhasil-guna walaupun hanya sebentar di lapangan jika cuaca buruk terjadi.

Disadari adanya kesulitan menyelesaikan semua materi latar-belakang (konsepsi dasar profesi, sejarah, teori galat dan metode-metode pencatatan) sebelum mulai pekerjaan lapangan pada minggu pertama (selain pengukuran dengan langkah).

Namun demikian, para pengarang percaya bahwa topik-topik ini sudah semestinya mendahului teori dan pemakaian instrumen.

Perihal formulir catatan — sebuah bagian penting dari pengukuran tanah dan rekayasa



dibicarakan dalam satu bab terpisah. Kebanyakan contoh formulir catatan dikumpulkan dalam Apendiks D, tidak tersebar di seluruh buku, sehingga dapat ditemukan dengan mudah.

**BAGIAN**

**SATU**

# 1

## PENGANTAR

1.1. DEFINISI PENGUKURAN TANAH (SURVEYING). Secara tradisional pengukuran tanah telah didefinisikan sebagai ilmu dan seni menentukan letak nisbi dari titik-titik di atas, pada dan di bawah permukaan bumi, atau untuk menetapkan titik-titik semacam itu. Tetapi dalam pengertian yang lebih umum, pengukuran tanah dapat dianggap sebagai disiplin yang meliputi semua metode untuk pengumpulan dan pemrosesan informasi tentang bumi dan lingkungan fisis. Sistem-sistem terestris konvensional sekarang dilengkapi dengan metode-metode pemetaan udara dan satelit, yang berkembang secara bertahap melalui program-program pertahanan dan ruang angkasa.

Secara umum, tugas juru-ukur (surveyor) dapat dibagi menjadi lima bagian:

1. *Analisa penelitian dan pengambilan keputusan.* Pemilihan metode pengukuran, peralatan, pengikatan titik-titik sudut dan sebagainya.
2. *Pekerjaan lapangan atau pengumpulan data.* Melaksanakan pengukuran-pengukuran dan pencatatan data di lapangan.
3. *Menghitung atau melakukan pemrosesan data.* Melaksanakan hitungan berdasar data yang dicatat untuk menentukan letak, luas, volume dan sebagainya.
4. *Pemetaan atau penyajian data.* Menggambarkan hasil-hasil ukuran dan hitungan untuk menghasilkan peta, gambar rencana tanah, dan peta laut, menggambarkan data dalam bentuk numeris atau hasil komputer.
5. *Pemancangan.* Pemasangan tugu\* dan patok untuk menentukan batas-batas atau pedoman dalam pekerjaan konstruksi.

\* Tugu adalah istilah lazim dalam ukur tanah di Indonesia. Bukan pertanda. Bentuk fisiknya me-



Gambaran tentang berbagai ragam instrumen serta prosedur lapangan dan kantor\* yang dipakai oleh juru ukur dalam menyelesaikan tugas-tugas tersebut dibahas dalam buku ini.

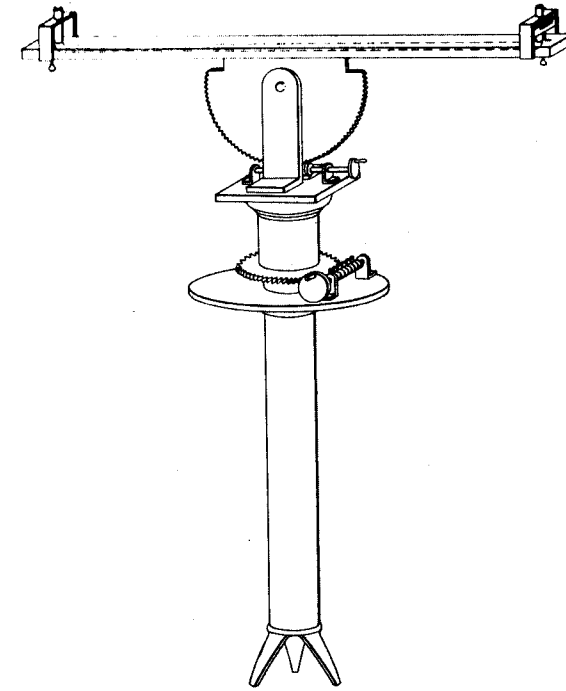
**1-2. PENTINGNYA PENGUKURAN TANAH.** Pengukuran tanah adalah salah satu seni paling tua dan terpenting yang dipraktikkan manusia karena sejak dahulu kala sudah dirasakan perlunya menandai batas-batas dan pemetaan tanah. Pengukuran tanah sekarang telah sangat diperlukan dalam cara hidup kita yang modern. Hasil-hasil pengukuran dewasa ini dipakai untuk (a) memetakan bumi di atas dan di bawah permukaan laut; (b) menyiapkan peta-peta navigasi untuk penggunaan di udara, darat dan laut; (c) menetapkan batas-batas pemilikan tanah pribadi dan tanah Negara; (d) mengembangkan bank data informasi tataguna tanah dan sumber-daya alam yang membantu dalam pengelolaan lingkungan hidup kita; (e) menentukan fakta-fakta tentang ukuran, bentuk, gaya berat, dan medan magnet bumi, dan (f) mempersiapkan peta-peta bulan dan planet-planet.

Pengukuran tanah terus memainkan peranan yang sangat penting dalam banyak cabang rekayasa. Sebagai contoh, pengukuran diperlukan untuk merencanakan, membangun dan memelihara jalan-jalan raya, jalan baja, sistem-sistem perhubungan cepat, bangunan, jembatan, tempat peluncuran proyektil, tempat peluncuran roket, stasiun pelacak, terowongan, terusan, saluran irigasi, bendungan, saluran pembuangan air, pengkaplingan tanah-tanah perkotaan, sistem persediaan air dan saluran pembuangan limbah, jalur pipa, dan terowongan tambang. Pengukuran tanah atau metode pengukuran, biasa dipakai dalam perancangan jalur perakitan (assembly line) dan alat-jepit antar (jig), pembuatan dan penempatan alat besar, menyediakan titik kontrol untuk pemotretan udara, dan dalam banyak hal yang berkaitan dalam agronomi, arkeologi, astronomi, kehutanan, geografi, geologi, dan seismologi, tetapi khususnya dalam rekayasa militer dan sipil. Pelurusan optis (optical alignment) adalah penerapan pengukuran tanah dalam pekerjaan pabrik (instalasi mesin-mesin, pembuatan pesawat terbang dan sebagainya).

Semua insinyur harus tahu batas-batas ketelitian yang mungkin dalam konstruksi, rancangan dan perencanaan pabrik, dan proses-proses pengkhalakan (manufacturing), walaupun pengukuran sebenarnya dapat dikerjakan orang lain. Khususnya juru ukur dan insinyur sipil yang bertugas merancang dan merencanakan pengukuran harus mempunyai pengertian menyeluruh tentang metode dan instrumen yang dipakai, termasuk kemampuan dan keterbatasannya. Pengetahuan ini paling baik didapat dengan melakukan pengukuran dengan menggunakan peralatan yang digunakan dalam praktek untuk memperoleh konsep yang tepat mengenai teori galat, dan selisih-selisih kecil tetapi yang dapat ditemukan yang terjadi dalam kuantitas-kuantitas yang diamati.

Di samping menekankan perlunya batas-batas ketelitian yang wajar, pengukuran tanah menitikberatkan nilai angka-angka terpakai. Para juru ukur dan insinyur harus tahu kapan harus bekerja sampai perseratusan foot dan bukan persepuluhan atau perseribuan, atau barangkali foot terdekat, serta sejauh mana kesaksamaan data lapangan yang perlu untuk membenaran pelaksanaan hitungan hingga sejumlah angka di belakang koma yang dikehendaki. Dengan pengalaman, mereka mempelajari bagaimana peralatan dan petugas yang tersedia menentukan prosedur dan hasilnya.

Sketsa dan hitungan yang rapi adalah pertanda pikiran teratur, yang selanjutnya merupakan petunjuk adanya latar-belakang dan kecakapan rekayasa yang kuat. Membuat catatan lapangan dalam segala jenis keadaan adalah persiapan amat baik untuk pencatatan dan pembuatan sketsa macam apa yang diharapkan dari semua insinyur. Latihan tambahan yang bernilai-lanjut diperoleh dalam penyusunan hitungan yang benar.



Gambar 1-1. Dioptra.

Para insinyur yang merancang gedung, jembatan, peralatan dan sebagainya sudah beruntung bila taksiran beban yang dapat didukung adalah benar dalam batas 5%. Selanjutnya diterapkan faktor keamanan 2 atau lebih. Namun kecuali untuk pekerjaan topografik, hanya galat-galat yang teramat kecil dapat ditoleransi dalam pengukuran tanah, dan tidak ada faktor keamanan. Oleh karena itu sudah menjadi tradisi bahwa pengukuran tanah menekankan baik kesaksamaan pekerjaan tangan maupun kesaksamaan hitungan.

**1-3. SEJARAH PENGUKURAN TANAH.** Catatan-catatan historis paling kuno yang masih ada, yang langsung menyangkut pokok masalah pengukuran tanah menunjukkan bahwa ilmu ini bermula di Mesir. Herodotus menyatakan bahwa Sesostris ( $\pm$  1400 tahun S.M.) mempetak-petakkan tanah Mesir menjadi kapling-kapling untuk tujuan perpajakan. Banjir tahunan sungai Nil menyapu habis sebagian dari kapling-kapling ini, dan juru-juru ukur ditugasi untuk mengganti batas-batas tersebut. Juru-ukur kuno ini disebut *perentang-tali* (*rope-stretchers*) karena pengukuran mereka dikerjakan dengan tali yang diberi tanda pada tiap satuan jarak.

Akibat dari pekerjaan ini, para pemikir Yunani kuno mengembangkan ilmu ukur (geometri). Namun kemajuan-kemajuan mereka terutama dalam bidang-bidang ilmu murni. Heron menjadi termashur karena menerapkan ilmu pengetahuan dalam pengukuran tanah kira-kira 120 tahun S.M. Dia adalah pengarang beberapa risalah untuk kepentingan juru-ukur, termasuk *Dioptra*, yang membahas metode-metode untuk mengukur-sebidang lapangan, untuk menggambar suatu rencana, dan untuk membuat perhitungan. *Dioptra* juga menggambarakan salah satu peralatan ukur pertama yang tercatat dalam sejarah yaitu dioper (Gambar 1-1). Bertahun-tahun hasil karya Heron diikut oleh para juru-ukur Yunani dan Mesir.

Perkembangan penting dalam seni pengukuran tanah datang dari orang-orang Romawi yang berpikir praktis. Karya yang paling terkenal di bidang ini ditulis oleh Frontinus. Walaupun naskah aslinya hilang, bagian-bagian salinannya masih tersimpan baik. Insinyur dan juru-ukur Romawi terkenal ini, yang hidup di abad pertama, adalah perintis di bidang pengukuran tanah dan tulisannya merupakan pegangan selama bertahun-tahun.

Kemampuan rekayasa orang-orang Romawi ditunjukkan oleh pekerjaan-pekerjaan konstruksi mereka di seluruh kekaisaran. Pengukuran tanah yang perlu untuk konstruksi ini menghasilkan persatuan juru-ukur. Instrumen-instrumen yang rumit dikembangkan dan dipakai. Di antaranya adalah *groma*, dipakai untuk membidik; *libella*, sebuah kerangka berbentuk A dengan sebuah bandul unting-unting, untuk menyipat datar; *chorobates*, sebuah tepi-lurus horisontal kira-kira sepanjang 20 ft dengan kaki-kaki penyangga dan sebuah lekukan di bagian atas untuk diisi air yang berfungsi sebagai nivo.

Salah satu naskah Latin paling kuno yang masih ada ialah *Codex Acerianus*, ditulis kira-kira di abad keenam. Naskah ini berisi penjelasan tentang pengukuran tanah seperti yang dipraktekkan oleh orang-orang Romawi dan memuat beberapa halaman dari risalah Frontinus. Naskah ini ditemukan dalam abad ke 10 oleh Gerbert dan menjadi dasar untuk teksnya tentang geometri, yang sebagian besar dititik-beratkan pada pengukuran tanah.

Selama Abad-abad Pertengahan, ilmu Yunani dan Romawi dilestarikan oleh orang-orang Arab. Sedikit saja ada kemajuan di bidang seni pengukuran tanah, dan tulisan-tulisan yang berkaitan dengan itu disebut "geometri praktis".

Dalam abad ke-13 Von Piso menulis *Practica Geometria* yang berisi pelajaran-pelajaran mengukur tanah. Dia juga mengarang *Liber Quadratorum*, terutama membicarakan *kuadran-kuadran*, sebuah kerangka bujur sangkar kuning dengan sebuah sudut  $90^\circ$  dan pembagian skala lainnya. Sebuah penunjuk yang dapat digerakkan, dipakai untuk membidik. Instrumen-instrumen lain zaman itu adalah *astrolab* (astrolabe) sebuah lingkaran logam dengan sebuah penunjuk berputar di pusatnya dan dipegang dengan cincin di atasnya, dan *batang-silang* (*cross staff*), batang kayu sepanjang 4 ft dengan sebuah batang-silang yang dapat diatur, tegak lurus batang pertama. Panjang batang-silang yang diketahui menyebabkan jarak bisa diukur dengan perbandingan dan sudut-sudut.

Peradaban-peradaban kuno menganggap bahwa bumi itu bidang datar, tetapi dengan mengamati bayang-bayang bumi di bulan pada waktu gerhana bulan dan mengamati kapal berangsur-angsur menghilang bila berlayar menjauh (ke arah horison), lambat laun disimpulkan bahwa planet ini sebenarnya berbentuk melengkung ke segala arah.

Menentukan ukuran dan bentuk sebenarnya daripada bumi telah menjadi keinginan manusia selama berabad-abad. Sejarah mencatat bahwa seorang Yunani bernama Eratosthenes, kira-kira 220 tahun S.M. pertama kali mencoba menghitung dimensinya. Dia menentukan sudut di hadapan busur meridian antara Syene dan Alexandria di Mesir dengan mengukur posisi bayang-bayang matahari di kedua kota tersebut. Panjang busur diperoleh dengan mengalikan jumlah hari-hari kafilah antara Syene dan Alexandria dengan jarak rata-rata yang ditempuh setiap hari. Dari pengukuran sudut dan busur, dengan penerapan geometri dasar Eratosthenes menghitung keliling bumi adalah 25.000 mil. Pengukuran geodetik yang saksama dengan instrumen yang lebih baik dan teknik geometri sama, menunjukkan bahwa harga Eratosthenes walaupun sedikit lebih besar, adalah menakjubkan karena mendekati harga yang lazim diterima sekarang. Tentu saja sebenarnya bumi mendekati bentuk sferoid yang pepat dengan jari-jari ekuator kira-kira 13,5 mil lebih panjang daripada jari-jari kutub.

Dalam abad ke 18 dan 19 seni pengukuran tanah maju lebih pesat. Kebutuhan akan peta-peta dan lokasi batas-batas nasional menyebabkan Inggris dan Perancis melaksanakan pengukuran yang luas dan memerlukan triangulasi teliti, jadi mulailah pengukuran tanah

Survey, bapuan dan Departemen Perdagangan Amerika Serikat) dibentuk dengan Undang-Undang Kongres di tahun 1807. Mula-mula tugasnya adalah melaksanakan pengukuran hidrografik dan menyiapkan peta-peta laut, kemudian diperluas dan mencakup penetapan monumen-monumen titik kontrol di seluruh negara.

Nilai tanah yang meningkat dan pentingnya batas-batas yang tepat, bersama dengan tuntutan perbaikan umum di dalam era terusan, jalan bebas hambatan, dan jalan baja, membawa pengukuran tanah ke kedudukan terhormat. Lebih belakangan, volume besar dari konstruksi umum, sejumlah besar pengkaplingan tanah yang perlu pencatatan lebih baik, dan tuntutan-tuntutan dari bidang-bidang eksplorasi dan ekologi memerlukan program pengukuran yang makin luas. Pengukuran tanah masih merupakan pertanda kemajuan di dalam pengembangan dan pemakaian sumber-sumber daya bumi.

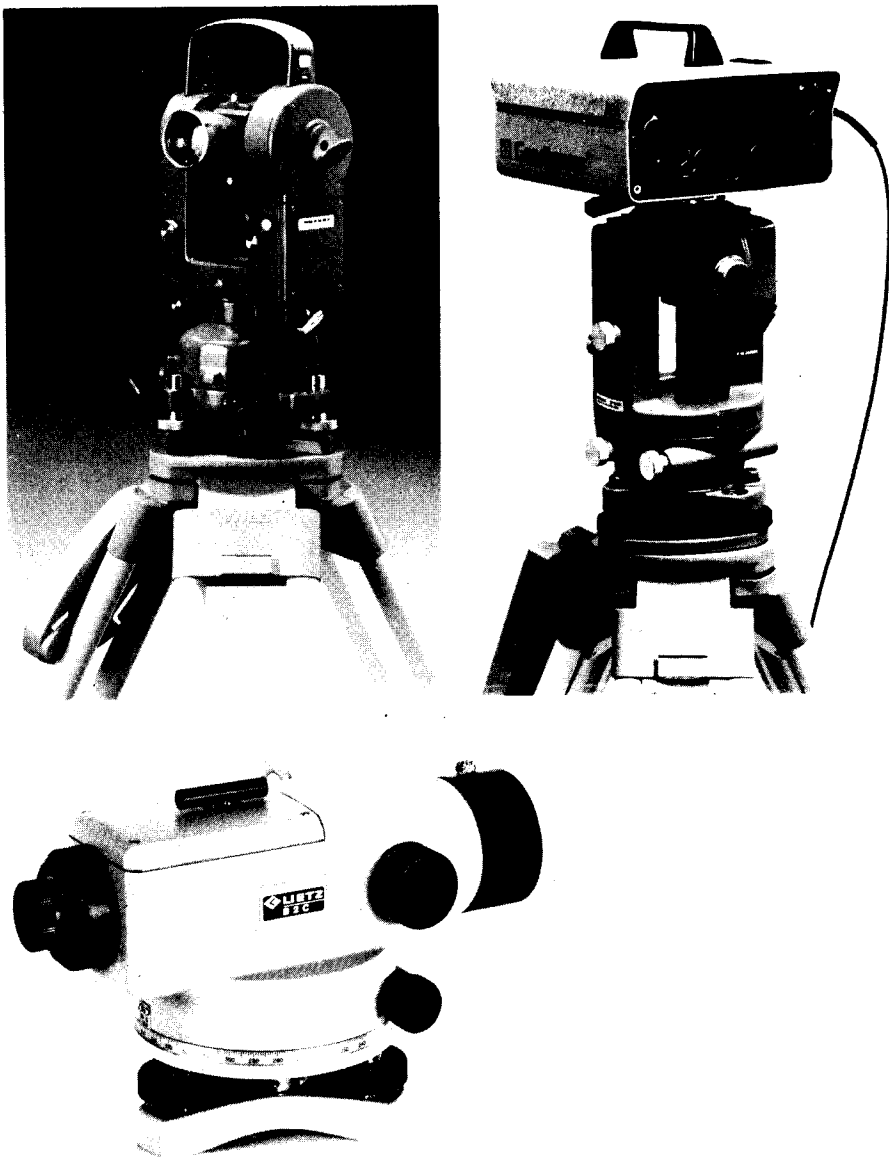
Selama Perang Dunia I dan II, perang Korea dan Vietnam, pengukuran tanah dalam banyak tahapnya memainkan peranan penting karena adanya pendorong untuk memperbaiki instrumen-instrumen dan metode-metode yang dipakai dalam melaksanakan pengukuran dan membuat peta. Kemajuan berlanjut ke program ruang angkasa dimana peralatan dan sistem baru diperlukan guna menyediakan titik kontrol saksama untuk pelurusan proyektil dan pemetaan bulan dalam menentukan tempat-tempat pendaratan yang diusulkan. Peralatan pengukuran jarak elektronik (EDM), alat-alat laser, giroskop pencari-utara (northseeking gyroscope), kamera udara yang diperbaiki, helikopter, sistem-sistem pengukuran kelembaman (inertial survey) dan doppler, pengindera jauh (remote sensors) dan komputer berbagai ukuran hanyalah beberapa produk teknologi masa kini yang sekarang secara langsung diterapkan dalam pengukuran tanah modern dengan dampak yang hemat. Pesawat angkasa Landsat sekarang menghasilkan citra dengan liputan global setiap 18 hari untuk proyek-proyek nyata seperti inventarisasi liputan-lahan, pemetaan sumber-daya alam, analisa kualitas air dan pengendalian banjir.

Instrumen-instrumen pengukuran tanah tradisional — teodolit kompas, alat sipat datar, dan pita baja — sekarang sering digantikan oleh teodolit, alat sipat datar otomatis, peralatan ukur jarak elektronik (Gambar 1-2), dan kamera udara (lihat Gambar 28-1). Dalam bidang pemetaan, kecuali untuk wilayah-wilayah sempit, fotogrametri telah menggantikan pengukuran terestris (ground surveys) pada banyak proyek. Tetapi metode-metode terestris konvensional masih penting untuk penetapan lokasi-lokasi titik kontrol horisontal dan vertikal, batas-batas pemilikan dan perancangan konstruksi.

**1.1. PENGUKURAN GEODETIK DAN PENGUKURAN TANAH DATAR.** Ada dua klasifikasi umum pengukuran yaitu *pengukuran geodetik dan pengukuran tanah datar*. Asas keduanya berbeda dalam hal anggapan-anggapan yang menjadi dasar perhitungan, walaupun pengukuran-pengukuran lapangan untuk geodetik kadang-kadang dilaksanakan untuk orde ketelitian yang lebih tinggi dibandingkan dengan pengukuran tanah datar.

Dalam pengukuran geodetik, permukaan bumi yang lengkung itu diperhatikan dengan jalan melaksanakan hitungan pada sebuah sferoid (bidang lengkung yang bentuk dan ukurannya mendekati bumi). Sekarang sudah menjadi kebiasaan untuk mengerjakan hitungan geodetik dalam sistem koordinat tiga dimensi Cartes (Rene' Descartes) yang berpusat di bumi. Hitungan-hitungannya berkisar pada penyelesaian persamaan-persamaan yang dijabarkan dari ilmu ukur segitiga bola dan hitung diferensial-integral. Metode-metode geodetik dipakai untuk menentukan letak-letak nisbi dari dari tugu-tugu yang berjarak jauh satu sama lain dan menghitung panjang serta arah garis-garis panjang di antaranya. Tugu-tugu ini berguna sebagai dasar acuan pengukuran lebih rendah yang wilayahnya lebih sempit.

Di waktu lampau, pengamatan lapangan untuk pengukuran geodetik terutama terdiri atas sudut-sudut yang diamati dengan teodolit di tanah dan jarak-jarak diukur dengan pita atau alat-alat elektronik. Walaupun pengukuran-pengukuran jenis ini masih dipakai, akhirnya ini digantikan oleh peralatan-peralatan yang lebih canggih dan lebih akurat.



Gambar 1-2. Teodolit Wild T-2 (kiri), Geodimeter 116 instrumen ukur jarak elektronik (kanan), dan alat sipat datar otomatis Lietz B2C. (Atas kebaikan Wild Heerbrugg Instruments, Inc.; AGA Geodimeter, Inc.; dan Lietz Company).

pengukuran geodetik. Ini termasuk sistem doppler, yang mengukur perubahan-perubahan dalam pancaran tenaga radio (radio signal) dari pemancar di satelit, dan sistem kelembapan yang dibawa dalam helikopter atau kendaraan darat dan menggunakan giroskop serta accelerometer untuk mengukur perubahan-perubahan kedudukan dalam arah utara, arah timur dan elevasi. Sistem-sistem baru ini, yang dibicarakan lebih terperinci dalam Bab 20, dapat mencapai ketelitian tinggi dalam waktu lebih singkat.

Dalam pengukuran tanah datar, kecuali untuk pengukuran sipat datar, basis acuan untuk pekerjaan lapangan dan hitungan dianggap berupa bidang datar horisontal. Arah garis unting unting (arah gaya berat) dianggap sejajar di seluruh wilayah pengukuran, dan semua sudut yang diukur dianggap sudut datar. Untuk wilayah dengan luas terbatas, permukaan sferoid kita yang besar sebenarnya amat mendekati datar. Pada garis sepanjang 5 mil, busur dan tali busur sferoid hanya berbeda kira-kira 0.02 ft panjangnya. Sebuah bidang datar menyinggung sferoid hanya renggang 8 in, pada jarak 1 mil dari titik singgung. Dalam segitiga seluas 75 mil<sup>2</sup>, beda antara jumlah ketiga sudut segitiga bola dan jumlah ketiga sudut datar kira-kira sebesar 1" (satu sekon). Oleh karena itu jelas bahwa kecuali pengukuran pada wilayah luas, permukaan bumi dapat dianggap bidang datar, sehingga menyederhanakan hitungan dan tekniknya. Pada umumnya dipakai aljabar, ilmu ukur bidang, ilmu ukur analitis, dan ilmu ukur segitiga datar. Bahkan untuk wilayah-wilayah sangat luas seperti yang melibatkan sistem koordinat bidang Negara Bagian (dibicarakan dalam Bab 21), pengukuran tanah datar dapat dipakai dengan beberapa penyesuaian dalam hitungannya. Pemakaian koordinat bidang Negara Bagian adalah jalan pintas untuk menyelesaikan hitungan-hitungan geodetik. Buku ini terutama menitik-beratkan pada pengukuran tanah datar, suatu pendekatan yang memenuhi persyaratan kebanyakan proyek.

**1-5. PENGUKURAN-PENGUKURAN KHUSUS.** Banyak jenis pengukuran begitu khusus hingga seseorang yang mahir di dalam disiplin tertentu mungkin sedikit saja berhubungan dengan bidang-bidang lainnya. Tetapi mereka yang membina karier di bidang pengukuran tanah dan pemetaan sebaiknya memahami setiap tahap, karena dalam praktek modern semuanya berkaitan erat. Di sini digambarkan secara ringkas beberapa klasifikasi penting.

*Pengukuran titik kontrol* menetapkan jaringan tugu horisontal dan vertikal yang berguna sebagai kerangka acuan untuk pengukuran lain.

*Pengukuran topografik* menentukan lokasi ciri-ciri alamiah dan buatan, serta elevasi yang dipakai dalam pembuatan peta.

*Pengukuran persil, batas dan kadastral* (biasanya) adalah pengukuran tertutup untuk menetapkan garis-garis dan sudut batas pemilikan. Istilah kadastral pada umumnya sekarang dipakai untuk pengukuran Sistem Tanah Negara (Tanah Umum). Ada tiga kategori utama: *pengukuran asli (original surveys)* untuk menetapkan sudut-sudut bagian baru di wilayah yang belum diukur dan masih ada di Alaska dan beberapa negara bagian sebelah barat; *pengukuran kembali (retracement surveys)* yang menemukan kembali garis batas yang dulu telah pernah ditetapkan; dan *pengukuran pengkaplingan (subdivision surveys)* untuk menetapkan tugu dan batas petak-petak baru tanda batas pemilikan tanah.

*Pengukuran hidrografik* menentukan garis pantai dan kedalaman danau, sungai, laut, bendungan dan massa air lainnya. *Pengukuran laut* berkaitan dengan industri pelabuhan dan lepas pantai, serta lingkungan kelautan termasuk pengukuran dan penyelidikan kelautan yang dilaksanakan oleh petugas di kapal.

*Pengukuran jalur lintas* dilaksanakan untuk merencanakan, merancang dan membangun jalan baja, jalan raya, jalur pipa, dan proyek-proyek memanjang lainnya. Biasanya dimulai dari sebuah titik kontrol dan maju ke titik kontrol lainnya dengan cara paling langsung sepanjang dimungkinkan oleh konstruksi lapangan.

*Pengukuran konstruksi* yang dilaksanakan sementara konstruksi berjalan, mengendalikan evaluasi, kedudukan-kedudukan horisontal, ukuran-ukuran dan konfigurasi. Pengukuran ini juga menghimpun data penting untuk menghitung tahapan-tahapan pembayaran konstruksi.

*Pengukuran purna-rancang (as-built surveys)* menentukan lokasi-akhir dan perancangan pekerjaan rekayasa yang tepat, kemudian memberikan pembuktian (verifikasi) dan pencatatan posisi termasuk perubahan-perubahan desain yang ada.



*Pemukiman tambahan* dilaksanakan di atas dan di bawah tanah untuk pedoman penggalian terowongan dan pekerjaan-pekerjaan lain yang berkaitan dengan pertambangan, termasuk survei geofisis untuk eksplorasi mineral dan sumber-daya energi.

*Pengukuran matahari (solar surveys)* memetakan batas-batas pemilikan tanah, hak sinar matahari, menentukan letak kedudukan penghalang dan pengumpul sinar sesuai sudut matahari, dan memenuhi persyaratan-persyaratan lain dari badan zoning dan perusahaan asuransi hak tanah.

*Pelurusan optis* (juga disebut *optical leveling* atau *pengukuran industri*) adalah suatu cara melaksanakan pengukuran yang sangat teliti yang memerlukan toleransi kecil untuk proses-proses dalam pabrik.

Selain untuk pengukuran titik kontrol, kebanyakan jenis lain yang disebutkan tadi biasanya dilaksanakan dengan prosedur pengukuran tanah datar, tetapi metode-metode geodetik dapat diterapkan bila pengukuran meliputi wilayah yang luas dan/atau memerlukan ketelitian yang tinggi.

Pengukuran terestris dan survei udara (*fotogrametri*) adalah klasifikasi luas yang kadang-kadang dipakai. Pengukuran terestris menggunakan pengukuran yang dilaksanakan dengan peralatan yang berpangkal di tanah seperti pita (ukur), alat ukur-jarak elektronik, alat sipat datar, dan teodolit. Survei udara atau survei fotogrametri menggunakan kamera dan pengindra (sensor) lainnya yang dibawa dalam pesawat terbang untuk memperoleh data keperluan studi dan pemetaan. Prosedur-prosedur untuk menghimpun dan mereduksi data udara dibicarakan dalam Bab 28. Survei udara telah dipakai dalam segala jenis pengukuran khusus tersebut di atas kecuali pelurusan optis, dan dalam bidang ini sering dipakai foto-foto *terrestrial* (berpangkal di tanah).

1.6. TAHANA (STATUS) PENGUKURAN TANAH DEWASA INI. Di Amerika Serikat permintaan terhadap peta-peta yang baik makin meningkat dan berbagai Badan Pemerintah berusaha memenuhinya walaupun terhambat oleh kurangnya biaya dan tenaga. Ada pendapat keliru tetapi umum terjadi, bahwa sekarang seluruh negara telah dipetakan dengan cukup. Sebenarnya, kira-kira 95% dari wilayah AS telah diliput pemetaan dengan skala 1 in per mil atau lebih besar. Pada tingkat kecepatan produksi peta baru sekarang dan revisi periodik wilayah-wilayah yang telah dipetakan dengan baik, liputan lengkap akan dicapai pada awal tahun 1980-an. Seri peta dasar utama memakai skala 1 : 24.000.

Pemetaan teliti tak dapat dikerjakan tanpa adanya *titik kontrol dasar* yang baik. Jaringan survei nasional untuk titik kontrol geodetik horisontal dan vertikal terus diperluas ke seluruh negara, terutama oleh U.S. National Geodetic Survey untuk titik kontrol peta-peta laut dan topografik, dan untuk menyediakan data koordinat titik-titik tetap bagi para juru-ukur. Jaringan pengukuran titik kontrol horisontal terdiri atas busur-busur triangulasi orde-pertama dan kedua, jalur-jalur poligon orde-pertama dan kedua, serta trilaterasi orde-pertama dan kedua (lihat Bab 20). Data dari jaringan ini diberi koordinat dan dikorelasikan pada datum Amerika Utara tahun 1927 terbentang lewat Alaska dan Amerika Tengah.

Jaringan titik kontrol vertikal terdiri dari titik-titik tetap duga (bench marks) yang diketahui elevasinya dan ditempatkan di seluruh negara. Elevasi didasarkan pada the National Geodetic Vertical Datum (NGVD) tahun 1929.

Empat badan pemerintah A.S. melaksanakan pengukuran dan pemetaan secara besar-besaran.

The Coast and Geodetic Survey, sekarang National Geodetic Survey (NGS) bagian dari the National Ocean Survey (NOS), dibentuk untuk memetakan pantai. Kegiatannya termasuk triangulasi, poligon, trilaterasi dan sipat datar saksama untuk memperluas titik kontrol, penyiapan peta laut dan aeronautika, survei fotogrametri, studi pasang surut

dan arus, pengumpulan data magnetik, survei gaya berat, dan pelaksanaan pengukuran titik kontrol seluruh dunia yang melibatkan satelit. Titik kontrol dasar yang ditetapkan badan ini merupakan dasar semua pengukuran wilayah luas.

The General Land Office, sekarang Bureau of Land Management (BLM), dibentuk tahun 1812, memimpin pengukuran tanah-tanah Negara (tanah umum). Garis-garis titik sudut telah ditetapkan untuk kebanyakan Tanah Negara berbatasan di Amerika Serikat, tetapi di Alaska masih banyak pekerjaan yang sedang digarap dengan "teknik modern".

The U.S. Geological Survey (USGS), yang dibentuk pada tahun 1879 akhirnya akan memetakan seluruh negara. Peta bakunya yang berukuran segi empat  $7\frac{1}{2}$  menit dan 15 menit menunjukkan ciri-ciri topografik dan kebudayaan, dan cocok untuk pemakaian umum dan berbagai tujuan rekayasa maupun ilmiah. Lebih dari 9,5 juta lembar disebarluaskan tiap tahun.<sup>1</sup>

The Defense Mapping Agency (DMA) menyiapkan peta-peta, produk yang berkaitan, dan menyediakan pelayanan untuk Departemen Pertahanan dan semua kekuatan tempur darat. Badan ini dibagi menjadi kelompok-kelompok pemetaan militer seperti berikut: Aerospace Center, Defense Mapping School, Hydrographic Center, Inter-American Geodetic Survey, dan Topographic Center. DMA Topographic Center melaksanakan tugas yang sangat menentukan dalam era di mana pemetaan dan produk-produk geodesi penting sekali untuk mewujudkan potensi lengkap senjata-senjata baru. Kemajuan-kemajuan teknologi dalam bidang persenjataan menuntut perbaikan yang sejajar dalam pemetaan dan geodesi untuk memperoleh kecermatan yang beberapa tahun silam masih merupakan impian.

Sebagai tambahan, satuan-satuan dari the Corps of Engineers, Angkatan Darat A.S., telah melaksanakan pengukuran yang luas untuk tujuan-tujuan darurat dan militer. Sebagian dari pengukuran-pengukuran ini menyediakan data untuk proyek-proyek rekayasa, misalnya yang bersangkutan dengan pengendalian banjir.

Pengukuran yang luas juga telah dilaksanakan untuk maksud-maksud khusus oleh hampir 40 badan federal, termasuk the Forest Service, National Park Service, International Boundary Commission, Bureau of Reclamation, Tennessee Valley Authority, Mississippi River Commission, U.S. Lake Survey dan Departemen Transportasi. Demikian pula banyak kota, daerah (county) dan negara bagian mempunyai program-program pengukuran yang luas, seperti berbagai perusahaan pelayanan umum.

1.7. PROFESI PENGUKURAN TANAH. Pengukuran persil atau batas diklasifikasikan sebagai profesi terpelajar karena praktisinya yang modern memerlukan latar-belakang latihan teknis dan pengalaman luas, serta harus menerapkan pertimbangan yang mandiri. Para juru ukur profesional terdaftar (berlisensi) harus mempunyai pengetahuan yang mendalam tentang matematika — terutama ilmu ukur (geometri) dan trigonometri dengan sedikit hitungan diferensial-integral; pengertian kuat tentang teori pengukuran, instrumen, dan metode-metode dalam bidang geodesi, fotogrametri, penginderaan jauh, kartografi, dan komputer; sedikit kemampuan dalam ilmu ekonomi (termasuk manajemen kantor), geografi, geologi, astronomi, dan ilmu pohon-pohonan (dendrologi); dan pengertian tentang undang-undang mengenai tanah dan batas. Mereka harus paham pekerjaan lapangan, hitungan dan mampu menggambar peta dengan rapi. Di atas semua itu, mereka terikat kode etik profesional dan diharapkan akan menuntut imbalan jasa yang layak.

<sup>1</sup>Pada saat penulisan ini, pesanan peta per pos untuk liputan wilayah-wilayah sebelah timur sungai Mississippi supaya dialamatkan kepada Branch of Distribution, U.S. Geological Survey, 1200 South Eads Street, Arlington Virginia 22202 dan untuk lokasi sebelah barat sungai Mississippi kepada Branch of Distribution, USGS, Federal, Denver, Colorado 80225.

Kualifikasi pribadi seorang juru ukur sama pentingnya dengan kemampuan teknisnya dalam menghadapi masyarakat. Mereka harus sabar dan bijaksana terhadap pemberi pekerjaan dan tetangganya yang kadang-kadang bersikap bermusuhan. Sedikit saja orang yang menyadari betapa susahnyanya penelitian catatan lama yang diperlukan sebelum mulainya pekerjaan lapangan. Mungkin diperlukan usaha yang berat dan lama untuk menemukan pojok-pojok pada bidang tanah di dekatnya untuk pengecekan dan juga menemukan pojok-pojok hak milik yang dicari.

Izin untuk masuk tanah milik pribadi atau memotong dahan pohon dan semak penghalang harus diperoleh melalui pendekatan yang benar. Hak itu tidak dengan sendirinya melekat pada lisensi mengukur atau karena menjadi pegawai pemerintah urusan jalan raya tetapi perintah pengadilan bisa diperoleh bila pemilik tanah berkeberatan atas pengukuran yang perlu).

Seluruh 50 negara bagian, Guam dan Puerto Rico mempunyai undang-undang pendaftaran untuk juru-ukur dan insinyur profesional (demikian pula propinsi-propinsi di Kanada). Dewasa ini beberapa negara bagian mempunyai badan-badan terpisah sebagai pemberi lisensi untuk juru-ukur. Secara umum, diperlukan lisensi juru-ukur untuk mengukur tanah milik, tetapi tidak demikian untuk konstruksi, topografi atau pekerjaan jalur lintas (route) kecuali ada sudut-sudut batas tanah yang dipasang.

Untuk memenuhi syarat pendaftaran baik sebagai juru-ukur persil (Land Surveyor, LS) profesional atau insinyur (PE) diperlukan gelar perguruan tinggi yang sesuai, walaupun beberapa negara bagian mengizinkan pengalaman yang relevan dapat menggantikan pendidikan formal. Sebagai tambahan, para calon mengikuti ujian Surveyor-in-Training (SIT) atau Engineer-in-Training (EIT), memperoleh pengalaman praktek tambahah 2 tahun atau lebih dan lulus ujian tertulis 2 hari. Dalam beberapa tahun, diharapkan bahwa prasyarat bagi pendaftar baru adalah gelar teknis yang diakui, dan hasil Pendidikan Lanjutan (Continuing Education, CE) disyaratkan untuk pembaharuan pendaftaran.

Kebanyakan negara bagian sekarang memakai ujian LS nasional 1½ hari tentang dasar-dasar, prinsip-prinsip dan praktek pengukuran tanah. Setengah hari sisanya dipakai sepenuhnya untuk ujian mengenai kebiasaan dan aspek-aspek hukum setempat. Jadi pemindahan pendaftaran dari satu negara bagian ke negara bagian lainnya menjadi lebih mudah.

Undang-undang negara bagian biasanya mensyaratkan seorang LS menandatangani semua gambar rencana tanah, bertanggungjawab bila ada tuntutan ganti rugi, dan menjadi bagian aktif dari regu lapangan. Tergantung berbagai kondisi, seorang LS mungkin hanya dapat memimpin dua atau tiga regu. Jadi, makin banyak juru-ukur yang harus memiliki kemampuan manajemen.

Perkiraan di tahun 1981, juru ukur yang berpraktek pribadi di A.S. berjumlah 62.000 dan 42.000 orang di antaranya terdaftar. Jumlah ini adalah kecil untuk negara seluas 3,6 juta mil<sup>2</sup> dan berpenduduk lebih dari 220 juta orang!

#### 8. TANTANGAN-TANTANGAN DI MASA DEPAN DALAM PENGUKURAN TANAH.

Pengukuran tanah sedang pada tahap awal suatu revolusi dalam hal cara penyimpanan, penarikan dan penggunaan datanya. Hal ini karena perkembangan-perkembangan dalam teknologi komputer. Dalam beberapa tahun mendatang, tuntutan kepada para juru-ukur akan sangat berbeda dengan apa yang ada sekarang.

Jaringan titik kontrol Geodetik Nasional harus dipelihara, perataan baru dilaksanakan (seperti yang sedang dikerjakan sekarang), dan dilengkapi untuk memenuhi persyaratan orde-tinggi dari pengukuran di masa datang. Peta-peta topografik baru dengan skala lebih besar, diperlukan untuk perencanaan dan desain yang lebih baik. Peta-peta perotaan-berkembang-cepat yang ada, memerlukan revisi dan pembaharuan untuk menggambarkan perubahan-perubahan. Perencanaan jangka panjang dan analisa dampak ling-

kungan dari proyek-proyek konstruksi yang diusulkan, memerlukan peta-peta dan/atau bank data berisi berbagai informasi tanah seperti pemilikan, lokasi, luasnya, jenis tanah, tata guna tanah, dan sumber sumber daya alam. Pengukuran kadastral tanah-tanah Negara yang belum diukur adalah penting sekali. Tugu-tugu yang dipasang juru-ukur aslinya bertahun-tahun yang silam harus ditemukan letaknya dan diberi tugu baru untuk pelestarian batas-batas pemilikan. Pengukuran yang sesuai disertai ketelitian yang amat ketat, diperlukan untuk menentukan posisi menara pengeboran karena eksplorasi mineral dan minyak bumi yang semakin jauh ke lepas pantai. Dan di dalam program angkasa luar akan terus ada keinginan adanya peta planet-planet tetangga.

Semua kesempatan ini menawarkan kehidupan lapangan atau kantor atau keduanya, yang secara profesional menguntungkan, bagi banyak orang dengan latihan yang sesuai dalam berbagai cabang pengukuran tanah.

CATATAN: Jawaban soal-soal ini, dan beberapa dari soal yang ada dalam bab-bab berikutnya, dapat diperoleh dengan jalan membaca kamus, daftar pustaka, bab-bab berikutnya, atau bertanya kepada juru-ukur profesional.

#### SOAL-SOAL

- 1-1. Dalam ruang lingkup dan kedudukan lain apakah istilah *survei* dipakai?
- 1-2. Sebutkan 10 penggunaan pengukuran tanah selain untuk pengukuran hak milik dan konstruksi.
- 1-3. Jelaskan beberapa penerapan pengukuran tanah dalam kehutanan dan pertambangan.
- 1-4. Sebutkan dua penggunaan lain dari laser selain untuk pengukuran tanah.
- 1-5. Bagaimana pengukuran tanah digunakan dalam pertanian "kering" modern dan pembajakan menurut garis tinggi?
- 1-6. Metode dan instrumen apakah yang dipakai untuk penentuan titik kontrol lokasi konsesi dan menara pengeboran minyak lepas pantai?
- 1-7. Bagaimana orang Romawi kuno menggunakan elevasi untuk mengalirkan air ke kota-kota dengan bangunan saluran-air yang panjang dan besar?
- 1-8. Mengapa perlu dilaksanakan pengukuran teliti untuk pertambangan bawah tanah?
- 1-9. Apakah pengukuran paten itu? Apa pula survei-tinjau (reconnaissance)?
- 1-10. Bagaimana metode pelurusan optis (optical tooling) dipakai dalam pembuatan kapal besar dan pesawat terbang?
- 1-11. Sebutkan paling sedikit 5 keadaan cuaca yang mempengaruhi ketelitian pengukuran.
- 1-12. Pengamatan astronomis apakah yang dikerjakan oleh juru-ukur?
- 1-13. Mengapa juru-ukur seharusnya menguasai secukupnya geologi dan dendrologi (ilmu pohon-pohonan)?
- 1-14. Jenis-jenis pengukuran manakah dalam paragraf 1-5 yang Anda klasifikasikan sebagai pengukuran rekayasa?
- 1-15. Lima jenis pengukuran tanah disebutkan dalam paragraf 1-1. Menurut pendapat Anda, manakah yang paling memerlukan pengalaman? Mengapa?
- 1-16. Uraikan cara sederhana untuk sipat datar sebuah lantai garasi 20 x 22 ft sebelum dibeton jika tak ada teodolit kompas atau alat sipat datar.
- 1-17. Pengukuran apakah yang diperlukan seorang kontraktor untuk memasang jalur saluran pembuangan limbah berdiameter 36 in yang tak diperlukan untuk saluran air 8 in?
- 1-18. Jelaskan kegunaan garis-garis horisontal dalam beberapa teropong medan.
- 1-19. Di negara bagian Anda, organisasi apakah yang menyediakan peta dan data acuan pengukuran tanah untuk para juru-ukur dan insinyur?
- 1-20. Mengapa pembeli tanah pertanian, kapling kota atau rumah, menuntut adanya pengukuran sebelum pembayaran terakhir?
- 1-21. Apakah peraturan pengkaplingan di wilayah Anda menegaskan persyaratan ketelitian untuk pengukuran-pengukuran pelaksanaan pengkaplingan? Jika demikian, berapa batas-batas yang ditentukan?

- 1-22. Dapatkah agunan ahli mesin dipakai oleh juru-ukur atau insinyur sipil? Jelaskan.
- 1-23. Jelaskan persyaratan yuridis untuk pendaftaran seorang juru-ukur persil di negara bagian Anda.
- 1-24. Bagaimana setiap juru-ukur dapat memperoleh manfaat dari program satelit A.S.?
- 1-25. Jelaskan mengapa foto udara itu bukan peta. Bagaimana foto itu diubah jadi peta?

#### DAFTAR PUSTAKA

- American Society of Civil Engineers dan American Congress on Surveying and Mapping. 1978. *Definisi-definisi Istilah Pengukuran Tanah dan Pemetaan*, manual no. 34.
- Brinker, R.C. 1978. *4567 Pertanyaan Tinjauan untuk Juru-Ukur*, Edisi ke 11. R.C. Brinker, Box 1399, Sun City, AZ 85372.
- Brown, C. M. 1971. "Pelayanan Juru-Ukur kepada Masyarakat". *Surveying and Mapping* 31 (no.3): 439.
- Frederick, D.G. 1981. "Wewenang Badan-badan Umum di Amerika Serikat" *Surveying and Mapping* 41 (no. 1): 47.
- Knudsen, J.D. 1980 "Hukum Agunan Barang dan Tenaga di Alaska" *Surveying and Mapping* 40 (no. 1): 69.
- Laferriere, J.A. 1971. "Pentingnya Pemetaan dalam Masyarakat Modern." *Surveying and Mapping* 31 (no. 4); 581.
- Peyton, H.J., Jr. 1951. "Perkembangan Awal Instrumen Pengukuran Sudut Horisontal." *Surveying and Mapping* 11 (no. 4): 381.
- Pryor, W.T. 1975. "Metrikasi" *Surveying and Mapping* 35 (no. 3): 229.
- Quinn, A.O. 1981. "Sebuah Laporan Kegiatan Sektor Swasta dalam Profesi Pengukuran Tanah dan Pemetaan." *Surveying and Mapping* 41 (no. 1): 55.
- Ridgeway, H.H. 1982. "Pengukuran Tanah: Profesi dan Persyaratannya." *ASCE Journal of the Surveying and Mapping Division* 108 (SU 1): 18.
- Rutscheidt, E, dan C. Andregg. 1971. "Instrumen-instrumen dan Metode-metode untuk Pengukuran Tanah dan Pemetaan." *Surveying and Mapping* 31 (no. 2): 271.
- Southard, R.B. 1980. "Suasana Berubah dalam Pengukuran Tanah dan Pemetaan." *Surveying and Mapping* 40(no. 4): 397.
- "Juru-Ukur Menyatakan Pendapat." 1982. *Point of Beginning*, Agustus – September, hal. 42.
- Whalen, C.T. 1982. "Perataan Baru Datum Vertikal Amerika Utara." *American Congress of Surveying and Mapping Bulletin* 78:39.

# 2

## TEORI PENGUKURAN DAN GALAT

**2-1. PENGANTAR.** Melaksanakan pengukuran dan kemudian mengerjakan hitungan dari hasil ukuran adalah tugas dasar para juru-ukur.\* Prosesnya memerlukan suatu gabungan antara ketrampilan manusia dan peralatan mesin yang dipakai dengan pertimbangan yang sangat matang. Pengalaman dan kondisi fisik yang baik memperbaiki faktor manusiawi; peralatan yang luar biasa bagus memungkinkan operator yang baik bekerja lebih baik dengan hasil yang lebih panggah (consistent) dan dalam waktu lebih singkat. Namun pengukuran itu tidak pernah tepat, dan bagaimanapun hati-hatinya dilaksanakan, akan selalu mengandung galat (errors atau kesalahan).

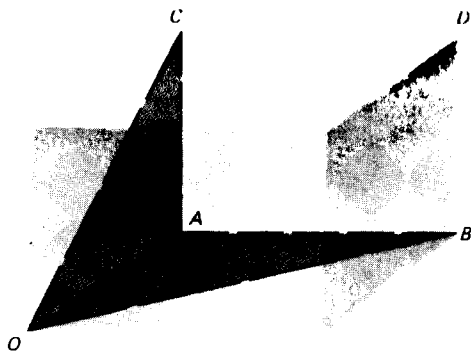
Oleh karena itu para juru-ukur, yang pekerjaannya harus dilaksanakan dengan standar pengukuran yang amat cermat, semestinya memahami sepenuhnya berbagai jenis galat yang berbeda, sumber-sumbernya dan besarnya yang diharapkan dalam kondisi dan cara perambatan yang berbeda. Hanya dengan demikianlah mereka kemudian dapat memilih instrumen dan prosedur yang perlu untuk menekan besarnya galat sampai dalam batas-batas toleransi.\*\*

Tak kalah pentingnya, juru-ukur harus mampu memperkirakan besarnya galat dalam pengukurannya sehingga dapat diperhitungkan dalam hitungan atau, bila perlu, melakukan pengukuran baru. Rancangan program-program pengukuran, sebanding dengan rancangan rekayasa lainnya, dewasa ini sudah dipraktekkan. Aljabar matrik dan komputer elektronik adalah dua alat yang dipakai untuk merencanakan proyek-proyek pengukuran dan menyelidiki serta meratakan galat setelah hasil-hasil diperoleh.

\* Juru ukur mengerjakan hitungan hasil pengukuran *bukan* menggunakan hasil hitungan.

\*\* Toleransi disertai kata *dalam* sebab pengertiannya memang *dalam* batas-batas toleransi.





Gambar 2-1. Jenis-jenis pengukuran dalam pengukuran tanah.

**2-2. JENIS-JENIS PENGUKURAN DALAM PENGUKURAN TANAH.** Lima macam pengukuran yang terlihat dalam Gambar 2-1 membentuk dasar pengukuran tanah datar: (1) sudut horisontal, (2) jarak horisontal, (3) sudut vertikal, (4) jarak vertikal, dan (5) jarak miring. Sudut horisontal seperti sudut  $AOB$ , dan jarak horisontal  $OA$  dan  $OB$ , diukur di bidang horisontal; sudut vertikal seperti  $AOC$ , di bidang vertikal. Garis vertikal,  $AC$  dan  $BD$ , diukur menurut arah gaya berat; jarak miring  $OC$ , ditentukan sepanjang bidang miring. Dengan menggunakan kombinasi pengukuran-pengukuran dasar ini dapat dihitung kedudukan nisbi antara sembarang titik.

**2-3. SATUAN-SATUAN PADA PENGUKURAN.** Satuan-satuan ukuran dalam pengukuran tanah adalah satuan-satuan *panjang*, *sudut*, *luas*, dan *volume*. Satuan panjang *foot* (kaki) dari *sistem Inggris* telah sangat umum dipakai di Amerika Serikat. Satuan ini mengandung hubungan tertentu dengan *meter*, dasar sistem *metrik*. Mula-mula meter ditentukan sebagai  $\frac{1}{10.000.000}$  kuadran meridional bumi. Ketika sistem metrik disahkan untuk pemakaian di Amerika Serikat dalam tahun 1866, satu meter ditentukan sebagai interval dalam kondisi fisis tertentu antara garis-garis pada sebuah batang Bentuk-dasar Internasional yang dibuat dari 90% platina dan 10% iridium, dan diakui sama dengan 39,37 in. Sebuah tiruan batang tersebut disimpan oleh U.S. Bureau of Standards dan secara periodik dibandingkan dengan standar internasional yang disimpan di Perancis.

Dalam bulan Oktober 1960, pada the General Conference on Weights and Measures (CGPM), Amerika Serikat dan 35 negara lainnya setuju untuk menentukan kembali meter berdasarkan panjang gelombang sinar jenis tertentu. Sekarang satu meter sama dengan panjang dari 1.650.763,73 buah gelombang sinar merah-jingga yang dihasilkan dari pembakaran unsur kripton (Kr-86). Definisi yang baru memudahkan bidang industri membuat pengukuran yang lebih teliti dan mengecek instrumen-instrumen mereka sendiri tanpa minta bantuan batang-meter-standar di Washington. Panjang gelombang sinar kripton merah-jingga adalah tetapan yang sebenarnya, sedangkan pada batang-meter logam ada resiko ketakstabilan. Seandainya CGPM berlangsung setahun kemudian, mungkin sekali laser yang menjadi standar baku dan bukan sinar kripton.

Pengukuran-pengukuran di Amerika Serikat paling umum dikerjakan dalam satuan linier feet dan *desimal* dari foot, walaupun pemakaian sistem metrik berangsur-angsur meningkat. Di lain pihak, dalam bidang konstruksi sering dipakai feet dan *inches*. Karena juru ukur menyediakan pengukuran untuk mengembangkan rencana-rencana konstruksi dan pedoman pelaksanaan pembangunan, mereka harus mengerti semua sistem satuan yang berbeda, dan mampu membuat konversinya. Harus selalu diperhatikan agar pengukuran terjamin dicatat dalam satuan-satuan yang benar dan betul konversi-konversinya.

Satuan-satuan panjang yang dipakai dalam pengukuran dulu dan sekarang di Amerika Serikat termasuk yang berikut

$$1 \text{ foot} = 12 \text{ inches}$$

$$1 \text{ yard} = 3 \text{ feet}$$

$$1 \text{ meter} = 39,37 \text{ inches} = 3,2808 \text{ feet}^1$$

$$1 \text{ rod} = 1 \text{ pole} = 1 \text{ perch} = 16\frac{1}{2} \text{ feet}$$

$$1 \text{ vara} = \text{kira-kira } 33 \text{ inches (sebuah satuan Spanyol lama sering dijumpai di A.S. barat-daya)}$$

$$1 \text{ Gunter's chain} = 66 \text{ feet} = 100 \text{ links (lk)} = 4 \text{ rods}$$

$$1 \text{ engineer's chain} = 100 \text{ feet} = 100 \text{ links (lk)}$$

$$1 \text{ mile} = 5280 \text{ feet} = 80 \text{ Gunter's chains (ch)}$$

$$1 \text{ nautical mile} = 6076,10 \text{ feet}$$

$$1 \text{ fathom} = 6 \text{ feet}$$

Satuan luas yang umum dipakai adalah *acre*. Sepuluh Gunter's chains persegi sama dengan 1 *acre*. Jadi 1 *acre* adalah 43.560  $\text{ft}^2$ . Dalam sistem metrik, luas biasanya dinyatakan dengan *hektar*. Satu hektar sama dengan 10.000  $\text{m}^2$  atau 2,471 *acres*. *Arpent* (kira-kira sama dengan 0,85 *acre* tetapi berbeda harganya untuk negara bagian yang berbeda) dipakai dalam pemberian hak tanah kerajaan Perancis; bila dipakai sebagai istilah linier, ia mengacu pada panjang sisi dari 1 *arpent* persegi.

Satuan sudut yang dipakai dalam pengukuran tanah adalah *derajat*, didefinisikan sebagai  $\frac{1}{360}$  dari satu lingkaran. Satu derajat ( $1^\circ$ ) sama dengan 60 menit, dan 1 menit sama dengan 60 sekon. Pembagian sekon adalah dalam persepuluh, perseratus dan perseribu. Cara-cara lain juga dipakai dalam membagi sebuah lingkaran, misalnya *400 grad* (dengan 100 *sentesimal menit/grad* dan 100 *sentesimal sekon/menit*) dan 6400 *mil*.

Radial adalah sudut di hadapan busur lingkaran yang panjangnya sama dengan jari-jari lingkaran itu. Jelaslah bahwa  $2\pi \text{ rad} = 360^\circ$ ,  $1 \text{ rad} = 57^\circ 17' 44,8'' = 57,2958^\circ$ , dan  $0,01745 \text{ rad} = 1^\circ$ .

**2-4. SISTEM SATUAN INTERNASIONAL (SI).<sup>2</sup>** Sekarang sedang berlangsung gerakan di seluruh dunia untuk memakai *Sistem Satuan Internasional*, biasanya dikenal sebagai *SI*. Sistem ini, yang tidak melibatkan perubahan dalam dimensi maupun nilai, sedang dianjurkan sebagai sarana untuk membakukan dan menyederhanakan satuan-satuan ukuran di seluruh dunia. Satuan-satuan dalam sistem SI yang penting untuk para ujur ukur adalah (simbol standar ditulis dalam kurung) *meter* (m) untuk jarak, *radial* (rad) untuk sudut datar, *meter persegi* ( $\text{m}^2$ ) untuk luas, dan *meter kubik* ( $\text{m}^3$ ) untuk volume.

Bagian dari meter adalah *milimeter* (mm), *sentimeter* (cm), dan *desimeter* (dm) berturut-turut sama dengan 0,001 m, 0,01 m, dan 0,1 m. Satu *kilometer* (km) sama dengan

<sup>1</sup>Foot yang semula dipakai di Amerika Serikat didasarkan pada harga 39,37 in yang tepat sama dengan 1 m, jadi 1 ft = 0,3048006 m. Namun di tahun 1959, A.S. resmi memakai inch tepat = 2,54 cm, sehingga dengan patokan ini 1 ft = 0,3048000 m. Selisih dalam patokan ini berarti satu bagian dalam 500.000 atau 1 ft dalam 99,9969 . . . miles. Karena semua pengukuran tanah sebelum tahun 1959 dikerjakan atas dasar patokan semula, akan membingungkan jika diubah. Oleh karenanya, dasar semula, sekarang disebut *U.S. Survey Foot*, telah dipakai secara resmi untuk pengukuran tanah.

<sup>2</sup>Sebuah brosur berjudul "International Standard ISO 1000" menjelaskan sistem SI secara terperinci, tersedia dengan harga murah dari the American National Standards Institute, 1430 Broadway, New York, N.Y. 10018.

1000 m, atau kira-kira  $\frac{1}{3}$  dari satu mile. Derajat, menit, dan sekon juga bagian yang dapat diterima untuk sudut datar yang diukur dalam SI.

Transisi dari satuan-satuan Inggris ke SI telah mulai di Amerika Serikat, tetapi akan memerlukan proses panjang dan berangsur-angsur sampai tuntas karena masyarakat umum harus dididik dan menjadi terbiasa dengan sistem itu. Sistem Inggris tidak pernah dapat diganti sepenuhnya karena arsip-arsip kita akan selalu berisi berjilid-jilid data berharga yang tercatat dalam satuan-satuan ini. Gambaran tentang tanah yang asli untuk penyelidikan jaminan hak harus masih terus memakai panjang dalam kaki (feet), seperti halnya pada beberapa kasus jarak masih dalam chains dan links.

Demikian juga bagi juru-ukur transisinya akan lama karena banyak instrumen ukur tanah dengan pembagian skala masih dalam satuan-satuan Inggris, dan perubahan-perubahan harus dibuat sejajar dengan kecepatan penerimaan pihak profesi, para pemberi tugas, dan masyarakat umum. Walaupun konversi akan sulit, dan seringkali membingungkan, para juru-ukur yang sekarang terbiasa dengan teori dan hitungan-hitungan dalam satuan-satuan yard, foot, dan inch yang kuno dan janggal seharusnya menyambut baik perubahan ini.

Buku ini memakai baik satuan-satuan Inggris maupun SI dalam pembahasan dan soal-soal contoh.

**2-5. ANGKA-ANGKA TERPAKAI.** Dalam pencatatan hasil ukuran, suatu petunjuk ketelitian yang dicapai adalah banyaknya angka (angka-angka terpakai) yang dicatat. Menurut definisinya, banyaknya angka terpakai dalam suatu harga adalah angka-angka positif (tertentu) ditambah satu (*hanya satu*) angka yang ditaksir, dan karenanya dapat diragukan. Sebagai contoh, sebuah jarak tercatat 873,52 ft dikatakan mempunyai lima angka terpakai: dalam hal ini empat angka pertama adalah pasti dan angka terakhir diragukan. Agar pangkah (consistent) dengan teori galat, maka penting bahwa data dicatat dengan sejumlah angka terpakai yang benar. Jika satu angka terpakai dibuang dalam mencatat suatu harga, maka waktu yang digunakan dalam mencapai ketelitian tertentu telah tersia-sia. Di pihak lain, jika data dicatat dengan angka-angka lebih dari yang dipakai, akan terjadi ketelitian palsu dan mungkin terjadi pemborosan waktu dalam mengerjakan hitungan.

Banyaknya angka yang signifikan sering dikacaikan dengan jumlah desimal. Jumlah desimal mungkin harus dipakai agar terjaga jumlah angka terpakai yang benar, tetapi banyaknya desimal tidak menunjukkan angka-angka yang signifikan. Berikut ini adalah beberapa contoh:

- Dua angka terpakai: 24; 2,4; 0,24; 0,0024; 0,020
- Tiga angka terpakai: 364; 36,4; 0,000364; 0,0240
- Empat angka terpakai: 7621; 76,21 0,0007621; 24,00

Nol di bagian belakang harga bulat dapat menimbulkan kesulitan karena dapat menunjukkan atau mungkin tak menunjukkan angka-angka terpakai. Dalam harga 2400 tidak dapat diketahui berapa banyak angka yang terpakai; mungkin ada dua, tiga atau empat. Satu cara untuk menghilangkan ketidakpastian ini adalah dengan menaruh garis di atas angka terpakai yang terakhir, misalnya 2400, 2400, atau 2400. Cara lain adalah dengan jalan menyatakan harga itu sebagai kelipatan dari 10 pangkat tertentu; angka-angka terpakai dalam pengukuran ditulis sebagai bilangan antara 1 dan 10, termasuk banyaknya nol yang benar di belakangnya, dan tanda koma desimal ditempatkan dengan jalan menggabungkan sebuah pangkat dari 10. Sebagai contoh, 2400 menjadi  $2,400 \times (10)^3$  jika kedua nol dipakai,  $2,40 \times (10)^3$  jika dipakai satu, dan  $2,4 \times (10)^3$  jika hanya dua angka terpakai.

Dalam hitungan-hitungan rekayasa adalah sangat penting bahwa hitungan-hitungan itu bersesuaian dengan harga-harga hasil ukuran. Untuk penjumlahan dan pengurangan

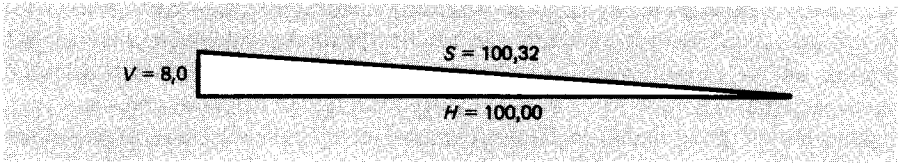
hasilnya dibulatkan, dengan tetap memakai angka yang termasuk dalam kolom paling kanan yang sepenuhnya dipakai sebagai angka-angka terpakai semua suku, sebagai angka paling kanan terpakai dalam hasilnya. Di bawah ini diperlihatkan dua contoh.

46,4012	57,301
1,02	1,48
375,0	629,
422,4	688,

Dalam perkalian galat persentase hasil kali sama dengan jumlah galat-galat persentase dari semua faktor. Galat persentase ini dapat dipertahankan dengan mengambil angka terpakai dalam hasil kali sama banyaknya dengan angka terpakai paling sedikit dalam salah satu faktornya. Sebagai contoh,  $362,56 \times 2,13$  kalau dihitung akan menghasilkan 772,2528 tetapi dalam hasil kalinya hanya boleh ada tiga angka terpakai, jadi hasil kali yang diambil adalah 772. Demikian pula dalam pembagian, hasil bagi harus dibulatkan sampai berisi angka-angka terpakai yang sama banyak dengan angka-angka terpakai dalam pem bilang (yang dibagi) atau penyebut (pembagi) yang paling sedikit.

Di dalam pengukuran tanah dijumpai empat jenis masalah yang berkaitan dengan angka-angka terpakai.

1. Pengukuran lapangan dilaksanakan menurut suatu jumlah angka terpakai tertentu, jadi berarti mengharuskan hal tersebut ditunjukkan dalam harga hasil hitungannya. Dalam hitungan perantara biasa dilaksanakan hitungan dengan paling sedikit satu angka lebih dari yang diperlukan dan dalam hasil akhir ada pembulatan sampai angka-angka terpakai yang benar. Jika digunakan tabel fungsi trigonometrik, maka tabel itu harus yang mempunyai satu angka lebih daripada angka terpakai yang diinginkan dalam hasil hitungan.
2. Jumlah angka yang signifikan ada kalanya sudah tersirat. Misalnya panjang lapangan sepak bola mungkin sudah ditentukan sebagai 100 yard. Tetapi dalam pemasangannya di lapangan, jarak demikian mungkin akan diukur dengan ketepatan seperseratus foot dan bukan setengah yard.
3. Masing-masing faktor mungkin tidak menyebabkan sebuah variasi yang sama. Sebagai contoh, jika sebuah pita baja sepanjang 100,00 ft dikoreksi untuk perubahan suhu sebesar  $15^\circ\text{F}$ , maka salah satu bilangan ini mempunyai lima angka terpakai sedangkan yang lain hanya dua. Tetapi perbedaan suhu sebesar  $15^\circ$  hanya merubah panjang pita sebesar 0,01 ft. Oleh karena itu panjang pita terkoreksi dengan lima angka terpakai dapat dibenarkan untuk jenis data ini. Contoh lain adalah hitungan jarak miring dari jarak-jarak horisontal dan vertikal, seperti dalam Gambar 2-2. Jarak vertikal  $V$  diberikan dalam dua angka terpakai, dan jarak horisontal  $H$  diukur sampai lima angka terpakai. Dari data ini jarak miring  $S$  dapat dihitung sampai lima angka terpakai. Untuk sudut-sudut lereng kecil, perubahan besar dalam jarak vertikal menyebabkan perubahan yang nisbi kecil pada beda jarak miring dan jarak horisontal.



Gambar 2-2. Koreksi lereng.

4. Pengukuran pengukuran dicatat dalam satu sistem satuan tetapi harus dikonversi ke sistem yang lain. Sebuah kaidah yang baik untuk diikuti dalam melaksanakan konversi adalah membuat hasil konversi yang memakai angka-angka terpakai sama banyak dengan hasil ukuran. Sebagai contoh membuat konversi 178 ft  $6\frac{3}{8}$  in menjadi meter, jumlah angka terpakai dari hasil ukuran lebih dulu ditentukan dengan menyatakannya dalam satuan terkecilnya dari  $\frac{1}{8}$  in, atau  $178 \times 12 \times 8 + 6 \times 8 + 3 = 17.139$ . Jadi pengukuran mengandung lima angka terpakai dan hasilnya  $17,139 : (8 \times 39,37 \text{ in/m}) = 54,416 \text{ m}$  dinyatakan dengan betul memakai lima angka terpakai. (Perhatikan bahwa 39,37 yang dipakai dalam konversi adalah tetapan tepat dan tidak membatasi banyaknya angka terpakai).

**2-6. PEMBULATAN ANGKA-ANGKA.** Pembulatan suatu angka adalah proses menghilangkan satu angka atau lebih sehingga hasilnya hanya mengandung angka terpakai atau yang perlu dalam hitungan berikutnya. Dalam membulatkan angka-angka sampai suatu derajat ketelitian yang diperlukan di dalam teks ini, akan diperhatikan prosedur-prosedur berikut ini:

1. Jika angka yang dihilangkan kurang dari 5, maka diabaikan. Jadi, 78,374 menjadi 78,37.
2. Jika angka yang dihilangkan adalah 5, maka dibulatkan ke atas hanya bila angka di depannya ganjil. Bila angka itu genap, maka diabaikan. Jadi 78,375 menjadi 78,38 dan 78,385 menjadi 78,38 pula.
3. Jika angka yang dihilangkan lebih besar dari 5, maka dibulatkan ke atas. Jadi, 78,376 menjadi 78,38.

Prosedur dalam 1 dan 3 adalah praktek yang biasa dijalankan. Tetapi bila membulatkan 78,375 dalam 2, sebagian orang selalu membulatkannya ke atas, sedangkan lainnya selalu membulatkannya ke bawah. Tetapi dengan mengambil angka genap terdekat seperti dalam prosedur 2, diperoleh hasil berimbang yang lebih baik dalam serangkaian hitungan.

**2-7. PENGUKURAN LANGSUNG DAN TAK LANGSUNG.** Pengukuran-pengukuran dapat dilaksanakan langsung atau tak langsung. Contoh *pengukuran langsung* misalnya mengukur jarak dengan pita, menempatkan busur-derajat pada sebuah sudut, atau mengukur sudut dengan teodolit atau teodolit kompas.

*Pengukuran tak langsung* dilaksanakan bila tidak mungkin menempatkan atau memakai instrumen ukur langsung pada jarak atau sudut yang diukur. Oleh karenanya, hasil ukuran ditentukan oleh hubungannya dengan suatu harga lain yang diketahui. Jadi jarak ke seberang sungai dapat diketemukan dengan mengukur sebuah jarak di satu sisi, sudut di tiap ujung jarak ini yang diukur ke titik di seberang, dan kemudian menghitung jarak tadi dengan salah satu rumus trigonometri baku. Karena banyak pelaksanaan pengukuran tak langsung dalam pengukuran tanah, maka pengetahuan ilmu ukur dan trigonometri yang mendalam adalah penting sekali.

**2-8. GALAT DALAM PENGUKURAN.** Dapat dinyatakan tanpa syarat bahwa (1) *tidak ada pengukuran yang tepat*, (2) *setiap pengukuran mengandung galat*, (3) *harga sebenarnya dari suatu pengukuran tidak pernah diketahui*, dan karenanya (4) *galat tepat yang ada selalu tak diketahui*. Kenyataan-kenyataan ini dipertunjukkan oleh yang berikut: Bila sebuah jarak diukur dengan penggaris (mistar) yang dibagi sampai persepuluhan inch, jarak hanya dapat dibaca sampai perseratusan (dengan interpolasi). Jika ada mistar yang lebih baik, dengan pembagian skala sampai perseratusan inch, jarak tadi mungkin dapat ditaksir sampai perseribuan inch. Dan dengan mistar berpembagian skala sampai perseribuan inch, pembacaan sampai persepuluhribuan inch adalah mungkin. Jelaslah kiranya bahwa keteliti-

an pengukuran tergantung pada ukuran pembagian skala, kehandalan peralatan yang dipakai, dan batas kemampuan manusia dalam menginterpolasi lebih mendekati daripada kira-kira sepersepuluh dari satu pembagian skala. Peralatan lebih baik yang sedang dikembangkan, akan berakibat pengukuran-pengukuran makin mendekati harga-harga sebenarnya. Perhatikan bahwa yang dibicarakan di sini adalah *pengukuran*, bukan *penghitungan* (mobil, baut, gedung, atau obyek-obyek lainnya).

**Kesalahan** (mistake) terjadi karena salah mengerti permasalahan, kelalaian, atau pertimbangan yang buruk. Kesalahan besar sering disebut *blunder* dan tidak dibahas dalam pembicaraan berikut mengenai galat. Kesalahan dapat diketemukan dengan mengecek secara sistematis seluruh pekerjaan, dan dihilangkan dengan jalan mengulang sebagian atau bahkan seluruh pekerjaan. Sangat sukar untuk mengetahui kesalahan kecil karena bergabung dengan galat. Oleh karena itu, bila tak dapat diperlihatkan, kesalahan kecil ini harus diperlakukan sebagai galat dan akan mencemari berbagai jenis galat.

**2-9. SUMBER-SUMBER GALAT DALAM MENGUKUR.** Galat-galat dalam pengukuran berasal dari tiga sumber dan diklasifikasikan sesuai dengan sumbernya.

**Galat Alamiah.** Galat ini disebabkan oleh perubahan-perubahan dalam angin, suhu, kelengasan udara, biasan, gaya berat, dan deklinasi magnetik. Sebagai contoh, panjang pita baja berubah karena perubahan suhu.

**Galat Instrumental.** Galat ini timbul dari ketaksempurnaan konstruksi atau penyediaan instrumen dan dari gerakan bagian-bagian secara individual. Sebagai contoh, pengecatan warna-warna pembagian skala rambu mungkin tidak sama jaraknya, atau rambu itu sendiri mungkin bengkok. Pengaruh banyak galat instrumental dapat dikurangi bahkan dihilangkan dengan memakai prosedur pengukuran yang benar atau memberikan koreksi yang dihitung.

**Galat Pribadi.** Galat ini terutama timbul dari keterbatasan kemampuan manusia dalam merasa, melihat dan meraba. Sebagai contoh, ada galat kecil dalam hasil pengukuran sudut bila benang silang vertikal tidak terarah tepat pada titik yang dibidik, atau jika ujung atas anjir menyimpang dari garis unting-unting.

**2-10. JENIS-JENIS GALAT.** Ada dua jenis galat dalam pengukuran, yaitu galat sistematis dan galat acak (random error).

**Galat Sistematis.** Galat ini tunduk pada kaidah-kaidah matematika dan fisika. Besarnya bisa tetap bisa variabel (berubah) tergantung kondisi. Galat sistematis, juga dikenal sebagai *galat kumulatif*, dapat dihitung dan pengaruhnya dihilangkan dengan jalan melakukan koreksi. Sebagai contoh, sebuah pita baja 100-ft yang terlalu panjang 0,02 ft, berakibat adanya galat sebesar 0,02 ft setiap kali dipakai bila tak dilakukan koreksi. Perubahan panjang sebuah pita baja karena perubahan suhu tertentu dapat dihitung dengan rumus sederhana, dan koreksinya dengan mudah diterapkan.

**Galat Acak.** Ini adalah galat yang tetap ada setelah kesalahan dan galat sistematis dihilangkan. Galat ini disebabkan oleh faktor faktor di luar kekuasaan si pengamat, tunduk pada kaidah kementakan (probability), dan kadang-kadang disebut *galat insidental*. Galat ini ada pada semua pengukuran tanah.

Besar dan tanda aljabar galat ini adalah masalah kemungkinan. Tidak ada cara mutlak untuk menghitung maupun menghilangkannya. Galat acak juga disebut *galat pampasan* (compensating error), karena cenderung saling menghilangkan sebagian, dalam serangkaian pengukuran. Sebagai contoh, seseorang menginterpolasi sampai perseratusan ft pada sebuah pita yang pembagian skalanya hanya sampai persepuluhan ft, atau membaca rambu sipat

datar bertanda smpat perseratusan barangkali akan membuat perkiraan terlalu tinggi pada beberapa harga pembacaan, dan terlalu rendah pada pembacaan yang lain. Tetapi sifat khas pribadi seseorang, dapat memadakan pampasan sebagian semacam itu, karena sebagian orang mempunyai kecenderungan menginterpolasi tinggi, sebagian orang lainnya menginterpolasi rendah, dan banyak orang yang menyukai angka tertentu - sebagai contoh lebih suka 7 daripada 6 atau 8, lebih suka 3 daripada 2 atau 4, dan khususnya ada yang lebih suka 0 daripada 9 atau 1.

**2-11. BESARNYA GALAT.** Jika satu kuantitas yang diukur dua kali menghasilkan dua harga yang berbeda, maka perbedaan ini disebut *selisih*. Selisih yang kecil menunjukkan bahwa mungkin tak ada kesalahan dan galat acaknya kecil. Tetapi selisih kecil tidak mencegah adanya galat sistematis.

*Kesaksamaan* (precision) adalah derajat kehalusan atau kepanggahan (consistency) sekelompok pengukuran. Jika dilaksanakan pengamatan berganda atas sebuah kuantitas dan terjadi selisih-selisih kecil, ini menunjukkan kesaksamaan tinggi. Derajat kesaksamaan yang dapat dicapai tergantung pada kepekaan instrumen dan ketrampilan si pengamat. Dalam pengukuran tanah, kesaksamaan tak boleh dikacaukan dengan *ketelitian* (accuracy) yang menyatakan kedekatan mutlak kuantitas terukur dari harga sebenarnya. Sebuah pengukuran dapat saja saksama tetapi tidak teliti. Sebagai gambaran, bila dipakai metode yang halus dan pembacaan dikerjakan dengan penuh perhatian misalnya sampai 0,001 ft, tetapi ada galat instrumental (instrumental error) dalam alat ukur dan tidak dikoreksi, maka pengukuran tidak teliti. Sebagai sebuah contoh numeris, dua pengukuran sebuah jarak dengan pita yang dianggap panjangnya 100.000 ft padahal sebenarnya 100,020 ft, dapat menghasilkan harga jarak sebesar 453,270 dan 453,272 ft. Kedua harga ini saksama tetapi tidak teliti karena ada galat sistematis kira-kira sebesar 0,090 ft dalam masing-masing pengukuran. *Kesaksamaan nampak* (apparent precision) yang diperoleh dinyatakan sebagai  $0,002/453,271 = 1/220.000$ , yang berarti amat baik, tetapi ketelitian jarak hanya  $0,09/453,271 = 1/5000$ . Lagi pula, sebuah pengukuran dapat nampak teliti walaupun dikerjakan secara kasar. Sebagai contoh, sudut-sudut poligon mungkin dibaca pada kompas sampai  $\frac{1}{4}^\circ$  terdekat, tetapi menghasilkan galat penutup sebesar nol. Dalam pengukuran yang baik, kesaksamaan dan ketelitian selalu panggah (consistent) secara menyeluruh.

**2-12. MENGHILANGKAN KESALAHAN BESAR DAN GALAT SISTEMATIK.** Seluruh pekerjaan lapangan dan hitungan kantor diatur menghindari kesalahan dan menghilangkan galat sistematis. Kesalahan besar hanya bisa diatasi bila ditemukan. Membandingkan beberapa pengukuran satu kuantitas adalah salah satu cara terbaik untuk menemukan kesalahan besar. Cara lainnya adalah dengan membuat perkiraan dan analisa atas dasar pikiran sehat. Anggaplah ada lima pengukuran sebuah garis dan tercatat sebagai berikut: 567,91; 576,95; 567,88; 567,90; dan 567,93. Harga kedua yang tidak sesuai dengan yang lain, nampaknya disebabkan karena ada pertukaran angka dalam membaca atau mencatat. Kesalahan ini dapat dilenyapkan dengan jalan (a) mengulangi pengukuran atau (b) membuang harga yang meragukan.

Jika sebuah kesalahan ditemukan, biasanya paling baik adalah mengulang pengukuran. Tetapi bila jumlah pengukuran cukup banyak dan saling sesuai seperti pada contoh tadi, hasil yang menyimpang jauh dapat dibuang. Harus ada pertimbangan masak terhadap pengaruh harga rata-rata sebelum membuang suatu harga. Merubah angka yang tercatat jarang dianggap baik, walaupun nampak ada pertukaran angka-angka. Mengotak-atik data fisis selalu merupakan praktek buruk dan pasti akan menimbulkan kesulitan walaupun hanya kadang-kadang dikerjakan.

Galat sistematis dapat dilitung dan koreksi seperlunya dapat diterapkan pada hasil pengukuran, atau prosedur lapangan tertentu yang sekaligus menghilangkan galat ini dapat dipakai. Sebagai contoh, galat karena kelendutan pita (sag of a tape) yang ditahan kedua ujungnya, hanya dapat dihitung dan dikurangkan dari tiap pengukuran. Tetapi bila pita ditopang seluruh panjangnya atau pengukuran diperpendek intervalnya, galat ini bisa nol atau diabaikan. Sebuah alat sipat datar yang tidak diatur menyebabkan pembacaan yang salah, tetapi bila semua jarak ke rambu dibuat sama, dalam sipat datar memanjang galat menjadi hilang.

**2-13. KEMENTAKAN (PROBABILITY).** Kita semua pasti pernah mengalami permainan kemungkinan, seperti pelemparan mata uang logam, permainan kartu, atau dadu, yang melibatkan kementakan (probability). Dalam pelajaran-pelajaran matematika dasar, diperkenalkan kaidah-kaidah kombinasi dan permutasi. Dalam kaidah itu ditunjukkan bahwa segala sesuatu yang terjadi secara acak atau atas dasar kemungkinan, tunduk pada prinsip matematis yang dikenal dengan kementakan (probability). Teori-teori ini dapat diterapkan dalam banyak pengukuran sosiologis dan ilmiah. Dalam paragraf 2-11 ditunjukkan bahwa galat acak ada di dalam segala pekerjaan pengukuran tanah. Frekuensi dan besarnya tunduk juga pada prinsip umum kementakan.

Untuk mudahnya, istilah galat dalam seluruh sisa bab ini hanya dipakai untuk galat acak. Semua kesalahan besar dan galat sistematis dianggap sudah dihilangkan sebelum membicarakan galat acak. Cara-cara untuk menghitung dan mengoreksi galat sistematis akan dibicarakan kemudian.

**2-14. TERJADINYA GALAT ACAK (RANDOM ERRORS).** Bila kita melaksanakan pengukuran fisis, maka perlu dicatat pembacaan dari pembagian skala, cakra angka (dials), meteran (gauges), atau alat semacam itu. Sifat khas pengukuran adalah *tak dapat dicapai harga tepat* sehingga akan selalu mengandung galat acak. Besarnya galat dapat dikurangi dengan jalan memperhalus peralatan dan prosedur yang dipakai.

Untuk menguraikan prinsip bagaimana terjadinya galat acak, dimisalkan bahwa ada sebuah pengukuran jarak 10,4 in dengan mistar yang dapat dibaca sampai perkiraan 0,1 dan benar sampai  $\pm 0,05$ . Dalam kasus ini harga sebenarnya dari pengukuran adalah di antara 10,35 dan 10,45; dan sampai sepersetarusan terdekat, harga itu mungkin 10,35; 10,36; 10,37; 10,38; 10,39; 10,40; 10,41; 10,42; 10,43; 10,44 atau 10,45. Jadi ada 11 harga yang mungkin benar. Untuk pembicaraan ini dianggap bahwa semua pembacaan ini mempunyai kemungkinan sama untuk benar. Oleh karena itu, kementakan satu pembacaan untuk benar adalah  $\frac{1}{11}$  atau 0,0909.

Misalnya kita ambil sebuah jarak yang memerlukan dua pengukuran berturut-turut dengan mistar ini, masing-masing dengan kemungkinan galat yang sama. Hasilnya, yaitu jumlah kedua pengukuran, dapat merupakan jumlah sembarang pasangan dari 11 kemungkinan tiap pengukuran terpisah, semua mempunyai kemungkinan benar yang sama. Dari matematika, jika satu peristiwa dapat terjadi dengan  $n$  cara dan peristiwa lain dapat terjadi dengan  $r$  cara, kedua peristiwa bersama dapat terjadi dengan  $nr$  cara. Untuk contoh tadi, maka ada  $(11)(11) = 121$  kemungkinan. Selisih antara jumlah pengukuran-pengukuran dengan harga sebenarnya akan terletak di antara  $-0,10$  dan  $+0,10$ . Hanya satu pasangan dari harga-harga yang memungkinkan dapat menghasilkan selisih sebesar  $-0,10$ ; yaitu pasangan yang selisihnya dalam pengukuran masing-masing adalah  $-0,05$ . Galat sebesar  $-0,09$  dapat diperoleh dalam dua cara; selisih  $-0,05$  di pembacaan pertama dan selisih  $-0,04$  di pembacaan kedua, atau selisih  $-0,04$  di pembacaan pertama dan selisih  $-0,05$  di pembacaan kedua. Analisa ini dapat diteruskan untuk memperoleh hasil seperti ditunjukkan dalam Tabel 2-1.



**TABEL 2-1. KEMENTAKAN UNTUK DUA PENGUKURAN**

HARGA GALAT	JUMLAH KEMUNGKINAN	KEMENTAKAN	KEMENTAKAN, SEBAGAI DESIMAL
-0,10	1	$\frac{1}{121}$	0,0083
-0,09	2	$\frac{2}{121}$	0,0165
-0,08	3	$\frac{3}{121}$	0,0248
-0,07	4	$\frac{4}{121}$	0,0331
-0,06	5	$\frac{5}{121}$	0,0413
-0,05	6	$\frac{6}{121}$	0,0496
-0,04	7	$\frac{7}{121}$	0,0579
-0,03	8	$\frac{8}{121}$	0,0661
-0,02	9	$\frac{9}{121}$	0,0744
-0,01	10	$\frac{10}{121}$	0,0826
0,00	11	$\frac{11}{121}$	0,0909
0,01	10	$\frac{10}{121}$	0,0826
0,02	9	$\frac{9}{121}$	0,0744
0,03	8	$\frac{8}{121}$	0,0661
0,04	7	$\frac{7}{121}$	0,0579
0,05	6	$\frac{6}{121}$	0,0496
0,06	5	$\frac{5}{121}$	0,0413
0,07	4	$\frac{4}{121}$	0,0331
0,08	3	$\frac{3}{121}$	0,0248
0,09	2	$\frac{2}{121}$	0,0165
0,10	1	$\frac{1}{121}$	0,0083
<b>Jumlah:</b>			<b>1,000</b>

**TABEL 2-2. KEMENTAKAN UNTUK TIGA PENGUKURAN**

HARGA GALAT	JUMLAH KEMUNGKINAN	KEMENTAKAN
±0,15	1 masing-masing, atau 2	0,0008*
±0,14	3 masing-masing, atau 6	0,0023
±0,13	6 masing-masing, atau 12	0,0045
±0,12	10 masing-masing, atau 20	0,0075
±0,11	15 masing-masing, atau 30	0,0113
±0,10	21 masing-masing, atau 42	0,0158
±0,09	28 masing-masing, atau 56	0,0210
±0,08	36 masing-masing, atau 72	0,0270
±0,07	45 masing-masing, atau 90	0,0338
±0,06	55 masing-masing, atau 110	0,0413
±0,05	66 masing-masing, atau 132	0,0496
±0,04	75 masing-masing, atau 150	0,0563
±0,03	82 masing-masing, atau 164	0,0616
±0,02	87 masing-masing, atau 174	0,0654
±0,01	90 masing-masing, atau 180	0,0676
0,00	91	0,0684
<b>Jumlah:</b>		<b>1,0000**</b>

\*  $\frac{1}{1331} = 0,0008$   
 \*\* Jumlah ini sama dengan 2 kali 15 angka pertama dalam kolom ke 3, ditambah angka terakhir.

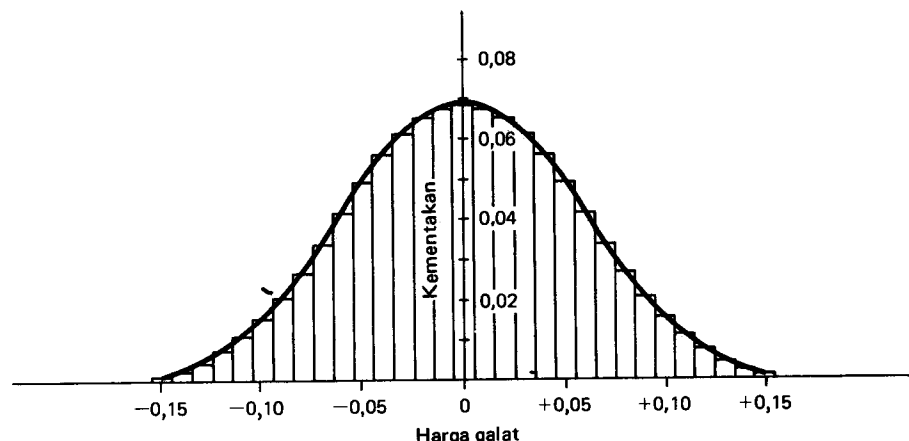
Jika tiga pengukuran berturut-turut ditambahkan dengan cara sama, dengan selisih maksimum -0,05 (dan +0,05), ketiganya harus mempunyai selisih -0,05 (atau +0,05) untuk memperoleh galat -0,15 (atau +0,15). Juga, dengan prinsip matematika, jumlah angka kemungkinan adalah  $(11)(11)(11) = 11^3 = 1331$ . Uraian lengkap ditunjukkan dalam Tabel 2-2.

Harga-harga dalam kolom pertama dan ketiga Tabel 2-2 digambar sebagai grafik batang (bar graph) yang disebut *histogram* dalam Gambar 2-3 dan menunjukkan secara grafis bagaimana galat itu teragih (distributed). Setiap batang mempunyai lebar, atau *interval kelas*, sama dengan kenaikan galat sebesar 0,01 dan tingginya adalah kementakan galat sesuai harga absisnya; sebagai contoh, batang untuk galat 0,00 tingginya 0,0684. Jika jumlah galat yang dibicarakan banyak, seperti dalam kasus ini, dengan jalan menghubungkan titik-titik pusat puncak batang tergambar, diperoleh *kurve kementakan* (probability curve) yang halus dan sinambung. Bentuk genta kurve ini merupakan sifat khas kelompok galat *teragih normal* (normally distributed) dan sering disebut sebagai *kurve agihan galat normal* (normal error distribution curve). Para ahli statistik sering menyebutnya *kurve kerapatan normal* (normal density curve), karena menunjukkan kerapatan galat dari berbagai ukuran. Dalam pengukuran tanah, agihan galat normal atau sangat mendekati normal hampir selalu terjadi, dan untuk selanjutnya di dalam buku ini dianggap dalam kondisi demikian.

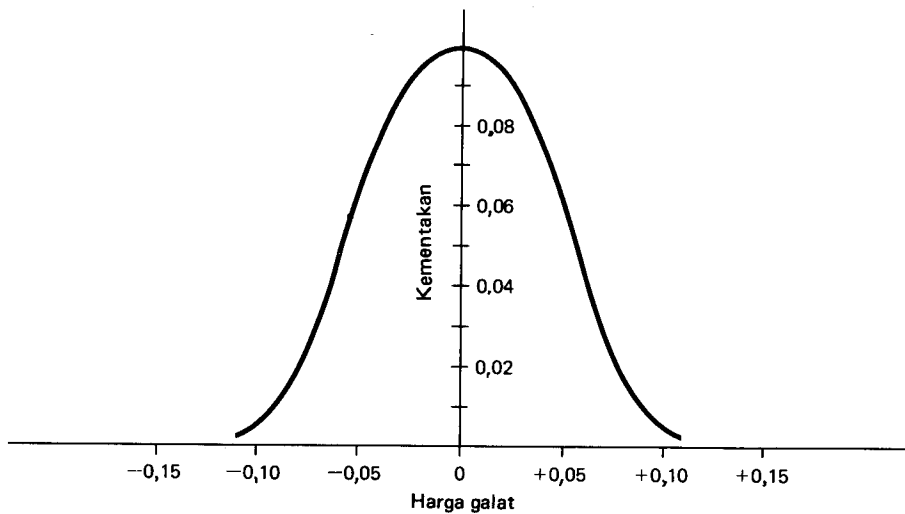
Luas bagian di bawah seluruh kurve kementakan merupakan jumlah seluruh kementakan dalam kolom ketiga Tabel 2-2, atau 1 (satu). Juga, seluruh luas di bawah kurve di antara sembarang dua ordinat sama dengan kementakan bahwa ukuran galat sebenarnya dalam sembarang gabungan tiga pengukuran akan benar-benar terjadi antara galat-galat yang ditentukan pada ordinat-ordinat tadi.

Jika pengukuran-pengukuran yang sama pada contoh terdahulu dilaksanakan dengan kemungkinan galat yang lebih kecil (yaitu lebih saksama), kurve kementakannya akan serupa Gambar 2-4. Kurve ini menunjukkan bahwa sebagian besar harga-harga mempunyai galat kecil, dan lebih sedikit pengukuran mengandung galat-galat besar. Untuk pengukuran yang dilaksanakan dengan kesaksamaan lebih rendah, pengaruh kebalikannya dihasilkan dalam Gambar 2-5, yang menunjukkan bahwa sebagian besar mempunyai galat-galat besar. Namun demikian, dalam ketiga kasus, kurvenya tetap berbentuk genta yang khas.

Dalam paragraf ini, peralatan yang dipakai dianggap sederhana dan galat-galat terutama disebabkan kurangnya kesaksamaan dalam mengira pembacaan. Tentu saja banyak lagi sumber galat acak, tetapi pada dasarnya mempunyai kurve kementakan yang sama.



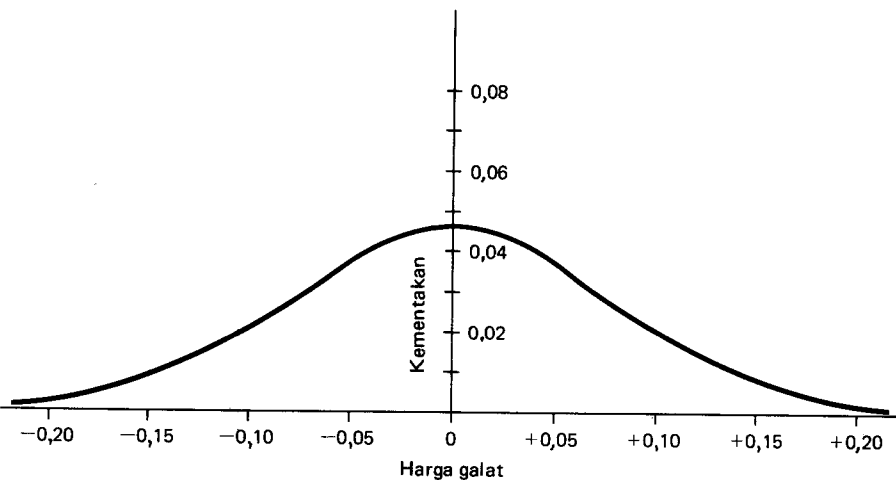
**Gambar 2-3. Histogram dan kurve kementakan galat untuk tiga pengukuran, dengan galat maksimum ± 0,05 satuan masing-masing.**



Gambar 2-4. Kementakan khas bila kesaksamaan ditingkatkan.

**2-15. KAJIDAH-KAJIDAH UMUM KEMENTAKAN.** Dari analisa data dalam paragraf terdahulu dan kurve-kurve dalam Gambar 2-3, 2-4, dan 2-5, dapat dinyatakan beberapa kaidah umum kementakan:

1. Galat-galat kecil lebih sering terjadi daripada galat-galat besar; yaitu, lebih mentak atau lebih mungkin (probable).
2. Galat-galat besar jarang terjadi dan oleh karenanya kurang mentak (less probable), untuk galat-galat teragih normal, galat yang besarnya luar biasa mungkin lebih merupakan *kesalahan* daripada galat acak.
3. Galat positif dan negatif yang besarnya sama, sama sering terjadinya; yaitu sama mentak.



Gambar 2-5. Kementakan khas bila kesaksamaan dikurangi.

**2-16. HARGA PALING MENTAK.** Dalam pengukuran fisis, harga sebenarnya dari kuantitas apa saja tidak pernah diketahui. Namun *harganya yang paling mentak* dapat dihitung, jika dibuat pengamatan lebih. Pengamatan lebih (redundant measurements) adalah pengamatan selebihnya dari minimum yang diperlukan untuk menentukan suatu kuantitas. Untuk sebuah anu (unknown) tunggal, misalnya panjang sebuah garis, yang telah diukur langsung dan tersendiri beberapa kali memakai satu alat dan prosedur yang sama,<sup>3</sup> pengukuran pertama menetapkan harga untuk kuantitas itu dan seluruh pengukuran berikutnya adalah pengamatan lebih. Harga paling mentak dalam kasus ini tak lain adalah harga pukul rata, atau

$$\bar{M} = \frac{\sum M}{n} \quad (2-1)$$

di mana  $\bar{M}$  adalah harga kuantitas paling mentak,  $\sum M$  jumlah pengukuran-pengukuran individual  $M$ , dan  $n$  jumlah kali pengamatan. Persamaan (2-1) dapat dijabarkan memakai prinsip kuadrat terkecil, yang berdasar pada teori kementakan. Tetapi ini juga dapat disimpulkan berdasarkan intuisi menurut kaidah umum kementakan dalam Paragraf 2-15, *bahwa galat positif dan negatif yang besarnya sama, sama sering terjadinya*.

Dalam soal-soal yang lebih rumit di mana pengamatan tidak dilakukan dengan instrumen dan prosedur yang sama, atau jika beberapa kuantitas yang saling berkaitan sedang ditentukan melalui pengukuran-pengukuran tak langsung, harga-harga paling mentak dihitung memakai metode-metode kuadrat terkecil. Prosedur untuk hitungan kuadrat terkecil adalah di luar cakupan buku ini, dan hitungan di sini menyangkut pengamatan ganda langsung dari satu kuantitas memakai satu peralatan.

**2-17. RESIDUAL.** Setelah menentukan harga paling mentak suatu kuantitas, maka dapat ditentukan besarnya *residual*. Residual tak lain adalah selisih antara sembarang harga terukur dengan harga paling mentak suatu kuantitas, atau

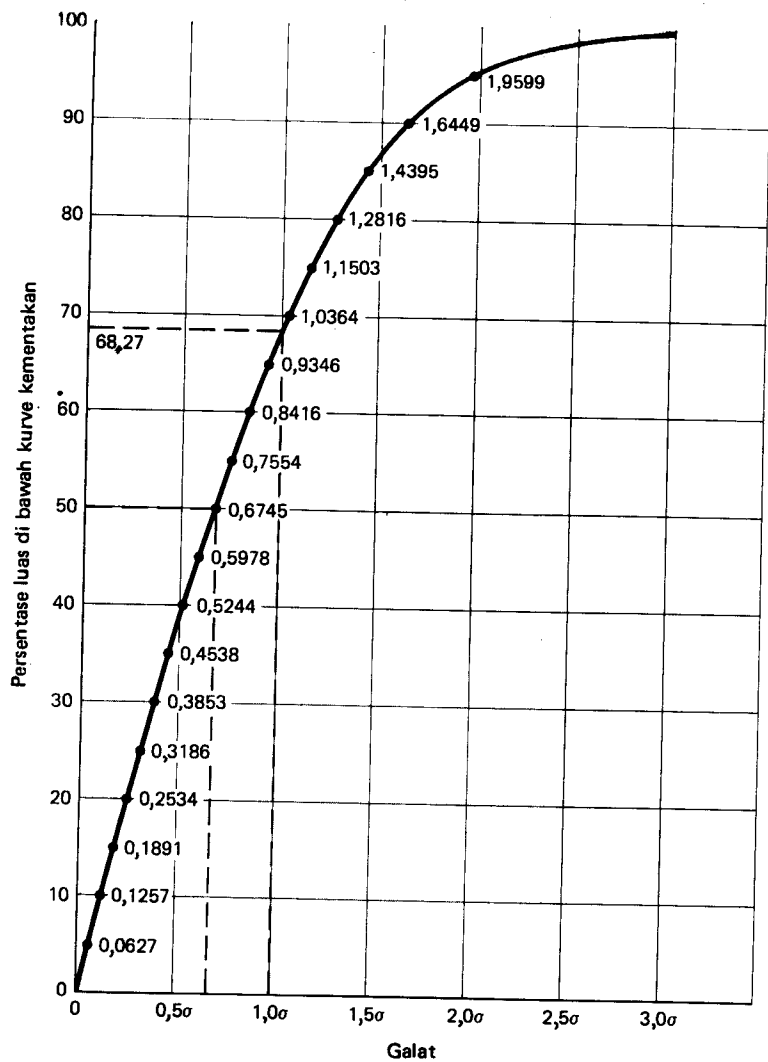
$$v = M - \bar{M} \quad (2-2)$$

di mana  $v$  adalah residual sembarang pengukuran  $M$ , dan  $\bar{M}$  adalah harga paling mentak untuk kuantitas itu. Secara teoritis residual adalah sama dengan galat kecuali bahwa residual dapat dihitung sedangkan galat tidak, karena harga sebenarnya tak pernah diketahui. Jadi, harga-harga yang dipersoalkan dalam analisa dan perataan pengukuran-pengukuran adalah residual dan bukan galat.

**2-18. UKURAN-UKURAN KESAKSAMAAN.** Dengan mengacu pada Gambar 2-3, 2-4, dan 2-5, walaupun kurve-kurve mempunyai bentuk serupa, ada perbedaan penting dalam *penebaran* galatnya (dispersions); yaitu lebar absisnya berbeda. Besarnya penebaran adalah indikasi kesaksamaan pengukuran. *Deviasi standar* (standard deviation) (sering saling-tukar dengan sebutan *galat standar*) dan *varian* adalah istilah-istilah statistis yang biasa dipakai untuk menyatakan kesaksamaan kelompok-kelompok pengukuran. Persamaan untuk deviasi standar adalah

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum v^2}{n - 1}} \quad (2-3)$$

<sup>3</sup>Pentingnya memakai alat dan prosedur yang sama adalah bahwa pengukurannya menghasilkan kehandalan atau *bobot* yang sama. Masalah ketidaksamaan bobot dibicarakan dalam Paragraf 2-26.



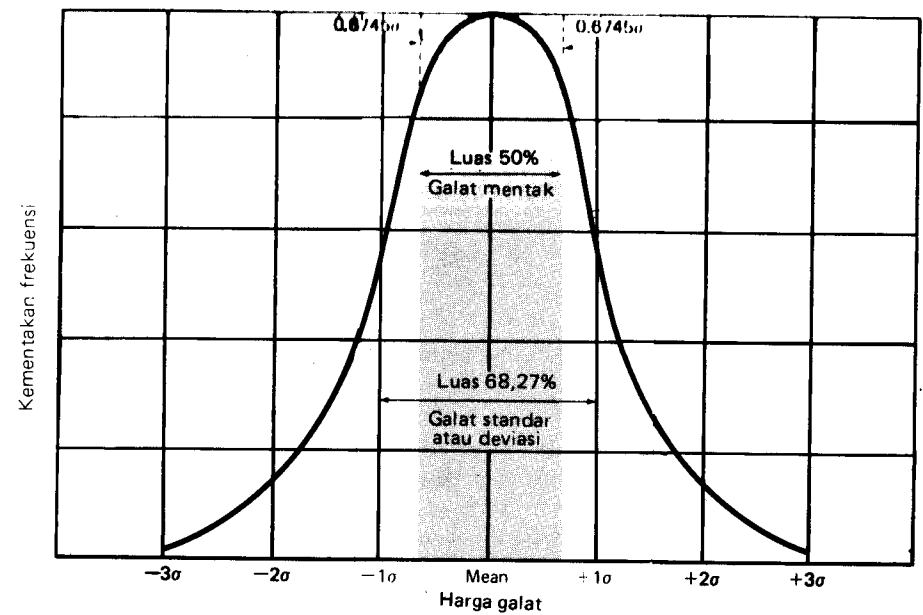
Gambar 2-6. Hubungan antara galat dan persentase luas di bawah kurve kementakan.

Dalam Pers. (2-3),  $\sigma$  adalah deviasi standar sekelompok pengukuran dari satu kuantitas,  $v$  adalah residual pengamatan individual,  $\sum v^2$  adalah jumlah kuadrat residual individual, dan  $n$  adalah banyak kali pengamatan.

Varian adalah sama dengan  $\sigma^2$ , kuadrat deviasi standar. Jika harga rata-rata adalah harga tepat (exact), seperti halnya untuk data yang bukan pengukuran nyata, maka  $(n - 1)$  diganti  $n$ . Ini juga dapat dikerjakan bila  $n$  sangat besar. Karena keduanya cenderung tidak dijumpai dalam pengukuran tanah, maka dipakai  $(n - 1)$ .

Dalam pengukuran tanah, deviasi dianggap sebagai galat, dan karenanya maka istilah deviasi standar tidak akan dipakai dalam huku ini, dan dipakai istilah galat standar.

Gambar 2-6 adalah grafik yang menunjukkan persentase luas kurve kementakan sesuai dengan jangkau (range) galat antara harga-harga positif dan negatif yang sama. Jadi luas antara galat-galat  $+\sigma$  dan  $-\sigma$  merupakan 68,27% dari seluruh luas di bawah kurve kementakan, dan karenanya memberi batas-batas galat yang dapat diharapkan 68,27% terjadi. Hubungan ini ditunjukkan lebih jelas pada kurve kementakan khas dalam Gambar 2-7.



Gambar 2-7. Kurve kementakan khas menunjukkan galat standar dan galat mentak.

Dengan cara yang sama persentase galat untuk sembarang bagian kurve kementakan dapat diperoleh dari Gambar 2-6. Sekali galat standar telah ditemukan, seluruh kurve kementakan dapat dievaluasi.

**2-19. PENAFSIRAN GALAT STANDAR.** Telah ditunjukkan bahwa galat standar menetapkan batas-batas dalam mana pengukuran-pengukuran yang diharapkan 68,27% terjadi. Dengan kata lain, jika sebuah pengukuran diulang sepuluh kali, akan diharapkan bahwa kira-kira tujuh dari hasilnya akan ada dalam batas-batas galat yang ditentukan oleh galat standar, dan sebaliknya kira-kira tiga dari padanya akan berada di luar batas-batas ini. Penafsiran lain adalah bahwa satu pengukuran tambahan akan mempunyai kemungkinan sebesar 68,27% berada dalam batas-batas yang ditentukan oleh galat standar. Kesimpulan ketiga adalah bahwa harga sebenarnya mempunyai kementakan 68,27% untuk berada dalam batas galat standar.

**2-20. GALAT 50, 90 DAN 95%.** Dari data yang diberikan dalam Gambar 2-6, kementakan galat dari sembarang persentase kemungkinan dapat ditentukan. Persamaan umumnya adalah

$$E_p = C_p \sigma \quad (2-4)$$

di mana  $E_p$  adalah galat persentase dan  $C_p$  adalah faktor numeris yang diambil dari Gambar 2-6.

Penggunaan Pers. (2-4) yang berikut ini adalah rumus-rumus untuk galat-galat yang mempunyai kesempatan terjadi 50,90 dan 95%:

$$E_{50} = 0,6745\sigma \quad (2-5)$$

$$E_{90} = 1,6449\sigma \quad (2-6)$$

Galat 50%, atau  $E_{50}$ , adalah yang dikenal dengan galat mentak (probable error). Galat ini menetapkan batas-batas di mana 50% pengukuran akan berada. Dengan kata lain, sebuah pengukuran akan mempunyai kemungkinan sama berada di dalam maupun di luar batas-batas ini. Batas-batas 50% ditunjukkan secara grafis dalam Gambar 2-7. Di waktu lampau galat mentak dipakai secara luas dalam membicarakan galat acak, tetapi sekarang jarang dipakai.

Sumbu  $x$  adalah sebuah asimtot kurve kementakan, sehingga galat 100% tak dapat dievaluasi. Ini berarti berapapun galat ditemukan, selalu mungkin ada yang lebih besar. Berdasar alasan ini maka galat 90 atau 95% sering dianggap harga maksimum yang praktis.

### CONTOH 2-1

Untuk menjelaskan definisi-definisi dan pemakaian persamaan-persamaan yang diberikan dalam Paragraf 2-16 sampai dengan 2-20, misalkan sebuah garis telah diukur 10 kali dengan hasil seperti pada kolom (1) tabel berikut. Pengukuran-pengukuran ini dianggap telah diberi koreksi untuk semua galat sistematis. Hitunglah harga paling mentak untuk panjang garis, galat standarnya, dan galat-galat dengan kementakan 50, 90, dan 95%.

(1) PANJANG (ft)	(2) RESIDUAL $v$ (ft)	(3) $v^2$
1000,57	+0,12	0,0144
1000,39	-0,06	0,0036
1000,37	-0,08	0,0064
1000,39	-0,06	0,0036
1000,48	+0,03	0,0009
1000,49	+0,04	0,0016
1000,32	-0,13	0,0169
1000,46	+0,01	0,0001
1000,47	+0,02	0,0004
1000,55	+0,10	0,0100
$\Sigma = 10.004,49$	$\Sigma = -0,01$	$\Sigma v^2 = 0,0579$

Dengan Pers. (2-1),  $\bar{M} = \frac{10.004,49}{10} = 1000,45$  ft

Dengan Pers. (2-2), residual dihitung. Hasilnya masuk dalam kolom (2) dan kuadratnya masuk dalam kolom (3).

Dengan Pers (2-3),  $\sigma = \pm \sqrt{\frac{\Sigma v^2}{n-1}} = \pm \sqrt{\frac{0,0579}{9}} = \pm 0,08$  ft

Dengan Pers. (2-5),  $E_{50} = \pm 0,6745\sigma = \pm 0,6745(0,08) = \pm 0,05$  ft

Dengan Pers. (2-6),  $E_{90} = \pm 1,6449(0,08) = \pm 0,13$  ft

Dengan Pers. (2-7),  $E_{95} = \pm 1,9599(0,08) = \pm 0,15$  ft

Berkenaan dengan contoh ini dapat ditarik kesimpulan-kesimpulan sebagai berikut:

1. Panjang paling mentak adalah 1000,45 ft.
2. Galat standar sebuah pengukuran tunggal adalah  $\pm 0,08$  ft.
3. Ada harapan normal sebesar 68%, bahwa sebuah panjang tercatat akan terletak antara 1000,37 dan 1000,53 ft; yaitu, kira-kira tujuh harga akan terletak dalam

batas-batas ini. (Dalam kenyataannya ada tujuh)

4. Galat mentak ( $E_{50}$ ) adalah  $\pm 0,05$  ft. Oleh karena itu dapat diduga bahwa setengah dari pengukuran, atau lima, akan terletak dalam interval 1000,40 sampai 1000,50 ft. (Ternyata ada empat harga.)
5. Ada kemungkinan sembilan puluh persen dari sebuah jarak terukur tak akan mengandung galat lebih besar daripada  $\pm 0,13$  ft, dan harganya akan terletak di antara 1000,32 dan 1000,58 ft.
6. Galat 95% akan sebesar  $\pm 0,15$  ft, dan panjangnya akan terletak di antara 1000,30 dan 1000,60 ft dengan kemungkinan 95%. (Perhatikan bahwa semua pengukuran benar-benar berada dalam batas-batas kedua galat 90 dan 95%.)

**2-21. GALAT SEBUAH JUMLAH.** Rumus yang berikut ini, dijabarkan dari kaidah umum perambatan galat acak, dipakai untuk menghitung galat dalam jumlah kuantitas-kuantitas yang masing-masing mengandung galat acak:

$$E_{\text{jumlah}} = \sqrt{E_a^2 + E_b^2 + E_c^2 + \dots} \quad (2-8)$$

Dalam Pers. (2-8),  $E$  merupakan sembarang galat yang ditentukan, dan  $a$ ,  $b$ , dan  $c$  adalah pengukuran-pengukuran terpisah.

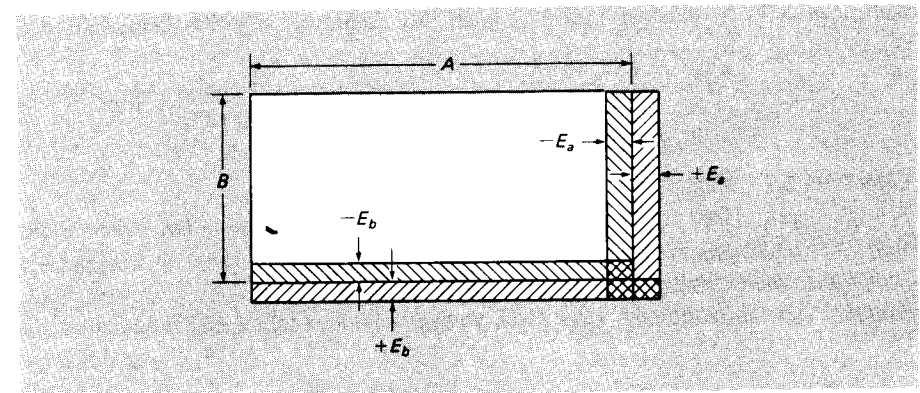
### CONTOH 2-2

Anggaplah sebuah garis diukur dalam tiga bagian, dengan galat bagian-bagian individual adalah berturut-turut  $\pm 0,012$ ,  $\pm 0,028$ , dan  $\pm 0,020$  ft. Maka galat panjang total adalah

$$E_{\text{jumlah}} = \pm \sqrt{0,012^2 + 0,028^2 + 0,020^2} = \pm 0,036$$
 ft

Hitungan serupa dipakai untuk galat perkalian, misalnya galat suatu luas. Dalam Gambar 2-8 galat pada sisi  $A$  petak tanah empat persegi panjang adalah  $E_a$ ; pada sisi  $B$  galat itu  $E_b$ . Karenanya, galat pada luas karena  $E_a$  adalah  $BE_a$ , dan karena  $E_b$  adalah  $AE_b$ . Persamaan untuk galat dalam luas  $A \times B$ , yang juga dapat dijabarkan dari kaidah umum perambatan galat acak, adalah

$$E_{\text{perkalian}} = \sqrt{A^2 E_b^2 + B^2 E_a^2} \quad (2-9)$$



Gambar 2-8. Galat luas.



### CONTOH 2-3

Untuk sebuah petak empat persegi panjang  $50,00 \pm 0,01 \times 100,00 \pm 0,02$  ft, hitunglah galat dalam luas.

Dengan Pers. (2-9),

$$E = \pm \sqrt{50^2(0,02)^2 + 100^2(0,01)^2} = 1,41 \text{ ft}^2$$

Luas yang dihitung mungkin  $(50,00)(100,00) = 5000,0000 \text{ ft}^2$ . Tetapi, ketentuan mengenai angka-angka terpakai (lihat Paragraf 2-5) menyatakan bahwa tidak boleh ada angka-angka terpakai dalam hasil kali yang lebih banyak daripada angka-angka terpakai dalam sembarang faktor individualnya. Dengan demikian luas harus dibulatkan menjadi  $5000 \text{ ft}^2$  (empat angka terpakai). Dari hitungan, diperoleh galat itu sebesar  $\pm 1,41 \text{ ft}^2$ , angka terakhir pada 5000 meragukan, dan banyaknya angka terpakai dalam hasil kali yang dipakai pada hasil akhir (empat) telah terbukti.

**2-22. GALAT SEBUAH SERI.** Kadang-kadang suatu rangkaian (seri) kuantitas yang serupa, seperti sudut-sudut sebuah poligon, dibaca dengan galat yang hampir sama besar pada tiap pengukuran. Galat keseluruhan dalam jumlah semua kuantitas terukur dari seri demikian disebut *galat seri*, dengan notasi  $E_{\text{seri}}$ . Jika dalam tiap pengukuran dianggap ada galat yang sama sebesar  $E$  dan dipakai Pers. (2-8), maka galat seri adalah

$$E_{\text{seri}} = \sqrt{E^2 + E^2 + E^2 + \dots} = \sqrt{nE^2} = E\sqrt{n} \quad (2-10)$$

di mana  $E$  adalah galat dalam sembarang pengukuran individual dan  $n$  banyaknya pengukuran.

Persamaan ini menunjukkan bahwa jika pelaksanaan yang sama diulang, galat acak cenderung untuk menyetimbangkan dan galat seri yang tersisa berbanding lurus dengan akar pangkat dua jumlah pengukuran. Persamaan ini mempunyai pemakaian yang luas, misalnya untuk menentukan galat penutup sudut yang dibolehkan pada sebuah poligon yang akan dibicarakan dalam Bab 12.

### CONTOH 2-4

Anggaplah bahwa sembarang jarak 100 ft dapat diukur dengan pita dan galatnya adalah  $\pm 0,02$  ft bila dipakai teknik-teknik tertentu, dan galat dalam pengukuran dengan pita untuk 5000 ft yang memakai ketrampilan ini dibutuhkan.

Kelipatan 100 ft dalam 5000 ft adalah 50, sehingga  $n = 50$ , kemudian dengan Pers. (2-10):

$$E_{\text{seri}} = \pm E\sqrt{n} = \pm 0,02\sqrt{50} = \pm 0,14 \text{ ft}$$

### CONTOH 2-5

Sebuah jarak 1000 ft akan diukur dengan pita dan galatnya tak boleh melebihi 0,10 ft. Yang diinginkan adalah ketelitian mengukur tiap panjang 100 ft agar terjamin alat tidak akan melebihi batas yang dibolehkan.

Karena  $E_{\text{seri}} = E\sqrt{n}$  dan  $n = 10$ , galat  $E$  yang dibolehkan dalam 100 ft adalah

$$E = \frac{E_{\text{seri}}}{\sqrt{n}} = \frac{0,10}{\sqrt{10}} = \pm 0,03 \text{ ft}$$

### CONTOH 2-6

Misalkan dalam pengukuran jarak 2500 ft dengan pita, galat tak boleh lebih dari 0,10 ft

Jika 100 ft dianggap satuan panjang lagi, maka  $n = 25$  dan dengan Pers. (2-10), galat  $E$  yang dibolehkan dalam 100 ft adalah

$$E = \frac{0,10}{\sqrt{25}} = \pm 0,02 \text{ ft}$$

Analisa ini menunjukkan bahwa jumlah kemungkinan yang lebih besar juga menyebabkan galat mempunyai kemungkinan lebih besar untuk saling menghilangkan.

**2-23 GALAT HARGA MENENGAH.** Paragraf 2-16 menyatakan bahwa harga paling mentak dari sekelompok pengukuran terulang adalah harga pukul rata, dan harga pukul rata itu sendiri terkena galat. Meskipun demikian, dalam banyak jenis pengukuran, galat harga pukul rata biasa dipakai untuk perbandingan-perbandingan.

Dengan memakai Pers. (2-10), yang merupakan bentuk khusus Pers. (2-8), dimungkinkan menemukan galat untuk jumlah satu seri pengukuran yang masing-masing mempunyai galat sama. Karena jumlah hasil pengukuran dibagi dengan banyaknya pengukuran menghasilkan harga pukul rata, galat harga pukul rata (menengah) dicari dari hubungan

$$E_m = \frac{E_{\text{jumlah}}}{n}$$

daripadanya diperoleh

$$E_m = \frac{E\sqrt{n}}{n} = \frac{E}{\sqrt{n}} \quad (2-11)$$

di mana  $E$  adalah galat tertentu dari sebuah pengukuran tunggal,  $E_m$  suatu galat tertentu dari harga menengah, dan  $n$  banyaknya pengukuran.

Galat harga menengah pada sembarang persentase kementakan dapat ditentukan dan diterapkan pada seluruh kriteria yang telah dikembangkan. Galat standar harga menengah,  $(E_{68})_m$  atau  $\sigma_m$ , adalah

$$(E_{68})_m = \sigma_m = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum v^2}{n(n-1)}} \quad (2-12)$$

Galat 90% harga menengah adalah

$$(E_{90})_m = \frac{E_{90}}{\sqrt{n}} = 1,6449 \sqrt{\frac{\sum v^2}{n(n-1)}} \quad (2-13)$$

Persamaan-persamaan ini menunjukkan bahwa galat harga menengah berubah berbanding terbalik dengan akar kuadrat banyaknya pengulangan. Jadi, untuk melipat-duakan ketelitian — yaitu mengurangi galat dengan setengahnya — pengukuran harus dilaksanakan empat kali lipat.

### CONTOH 2-7

Hitunglah galat standar harga menengah dan galat 90% harga menengah untuk peng-

Dengan Pers. (2-12).

$$\sigma_m = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{\pm 0,08}{\sqrt{10}} = \pm 0,025 \text{ ft}$$

Juga, dengan Pers. (2-13):

$$(E_{90}) = (1,6449) \pm 0,025 = \pm 0,04 \text{ ft}$$

Harga-harga ini menunjukkan batas-batas galat kementakan 68 dan 90% untuk panjang garis. Dapat dikatakan bahwa harga tepat panjang garis mempunyai kemungkinan 68% terletak dalam  $\pm 0,025$  dari harga menengah dan kemungkinan 90% terletak tidak lebih dari  $\pm 0,04$  ft dari harga menengah.

**2-24. PENERAPAN-PENERAPAN.** Dalam soal-soal contoh telah ditunjukkan bahwa persamaan-persamaan kementakan diterapkan dalam dua cara:

1. Untuk menganalisa pengukuran-pengukuran yang telah dilaksanakan, untuk perbandingan dengan hasil-hasil lain atau dengan persyaratan-persyaratan spesifikasi.
2. Untuk menetapkan prosedur dan spesifikasi agar diperoleh hasil-hasil yang di-syaratkan.

Penerapan berbagai persamaan kementakan harus didukung dengan pertimbangan dan perhatian. Harap diingat bahwa anggapan dasar yang dibuat adalah bahwa yang dibicarakan itu galat yang banyaknya tak berhingga. Seringkali dalam pengukuran tanah hanya dilaksanakan beberapa – sering dari 4 sampai 10 – pengamatan. Jika hasil-hasil ini khas dan berifat mewakili, maka jawaban yang diperoleh dengan memakai persamaan-persamaan kementakan akan handal; kalau tidak, maka kesimpulan-kesimpulannya dapat menyesatkan.

**2-25. PERATAAN PENGUKURAN-PENGUKURAN.** Dalam Paragraf 2-8 ditekankan bahwa harga sebenarnya dari sembarang kuantitas terukur itu tak pernah diketahui. Tetapi dalam beberapa jenis persoalan, jumlah beberapa pengukuran harus sama dengan suatu harga tertentu; sebagai contoh, jumlah sudut-sudut-dalam pada sebuah poligon harus sebesar  $(n - 2)(180^\circ)$ . Oleh karena itu dalam praktek, sudut-sudut terukur pada poligon diratakan agar terpenuhi syarat itu. Untuk menyesuaikan, jarak-jarak – baik horisontal maupun vertikal – dapat diubah sedikit untuk memenuhi persyaratan tertentu. Metode-metode yang dipakai akan dijelaskan dalam bab-bab berikut di mana pelaksanaan dibicarakan secara terperinci. Dalam mengadakan perataan, prinsip-prinsip kementakan adalah paling penting.

**2-26. BOBOT PENGUKURAN.** Sudah jelas bahwa beberapa pengukuran adalah lebih sakral daripada yang lain dikarenakan peralatan yang lebih baik, teknik yang bertambah baik, dan keadaan lapangan yang unggul. Oleh karena itu dalam melaksanakan perataan, diperlukan adanya pemberian *bobot nisbi* (relative weights) terhadap pengukuran-pengukuran individual. Dapat ditunjukkan bahwa bobot nisbi berbanding terbalik dengan varian, atau

$$W_a \propto \frac{1}{\sigma_a^2} \quad (2-14)$$

Dalam Pers. (2-14),  $W_a$  adalah bobot sebuah pengamatan  $a$ , yang mempunyai varian  $\sigma_a^2$ . Jadi, makin tinggi kesaksamaan (makin kecil varian), harus makin besar bobot nisbi harga terukur yang diatakan. Dalam beberapa kasus, varian tidak diketahui sejak semula dan pemberian bobot terhadap harga terukur harus berdasarkan perkiraan kesaksamaan nisbinya. Jika suatu kuantitas diukur berulang dan pengamatan-pengamatan individualnya berbobot tak sama maka harga menengah berbobot dapat dihitung dari rumus:

$$\bar{M}_w = \frac{\sum WM}{\sum W} \quad (2-15)$$

di mana  $\bar{M}_w$  adalah harga menengah berbobot,  $\sum WM$  jumlah hasil kali bobot dan pengamatan yang bersangkutan, dan  $\sum W$  jumlah bobot.

#### CONTOH 2-8

Misalkan empat pengukuran sebuah jarak tercatat 482,16; 482,17; 482,20; dan 482,18 dan oleh kepala regu pengukuran diberi bobot berturut-turut 1, 2, 2, dan 4. Tentukan harga menengah berbobot.

Dengan Pers. (2-15):

$$\bar{M}_w = \frac{482,16 + 482,17(2) + 482,20(2) + 482,18(4)}{1 + 2 + 2 + 4} = 482,18 \text{ ft}$$

Dalam menghitung peralatan yang melibatkan pengukuran-pengukuran tak berbobot sama, koreksi-koreksi yang diberikan kepada harga-harga terukur harus dibuat berbanding terbalik dengan bobot nisbinya.

#### CONTOH 2-9

Misalkan sudut-sudut terukur sebuah segitiga tertentu adalah:  $A = 49^\circ 51' 15''$ , bobot 1;  $B = 60^\circ 32' 08''$ , bobot 2;  $C = 69^\circ 36' 33''$ , bobot 3. Hitunglah perataan sudut-sudut berbobot.

Perataan sudut-sudut dibuat dengan berbanding terbalik terhadap bobotnya seperti dalam tabel berikut. Sudut C dengan bobot terbesar (3) mendapat koreksi terkecil,  $2x$ ; B mendapat  $3x$ ; dan A,  $6x$ .

	SUDUT	BOBOT	KOREKSI	KOREKSI NUMERIS	KOREKSI DIBUATKAN	SUDUT-SUDUT TERATAKAN
A	49° 51' 15"	1	6x	+2,18"	+2,2" (atau 2")	49° 51' 17"
B	60° 32' 08"	2	3x	+1,09"	+1,1" (atau 1")	60° 32' 09"
C	69° 36' 33"	3	2x	+0,73"	+0,7" (atau 1")	69° 36' 34"
Sum	179° 59' 56"	6	11x	+4,00"	+4,0" (atau 4")	180° 00' 00"
$11x = 4''$ dan $x = +0,36''$						

Harus ditekankan lagi bahwa hitung perataan berdasar teori kementakan hanya berlaku bila galat sistematik dan kesalahan (mistakes) telah dihilangkan dengan memakai prosedur, peralatan dan hitungan yang tepat.

#### SOAL-SOAL

2-1. Konversikan jarak-jarak berikut dalam meter menjadi feet:

- (a) 4129,57 m (b) 738,29 m (c) 1129,30 m

- 2-2. Konversikan menjadi meter:  
 (a) 537,52 ft (b) 13.280,75 ft (c) 4123,8 ft
- 2-3. Hitunglah panjang dalam feet dari ukuran dengan rantai Gunter:  
 (a) 15 cm 45 lk (b) 74 ch 23 lk (c) 41 ch 5 lk
- 2-4. Nyatakan 174.538 ft<sup>2</sup> dalam:  
 (a) acres (b) rantai persegi (Gunter)
- 2-5. Konversikan 4,735 hektar menjadi:  
 (a) acres (b) rantai persegi (Gunter)
- 2-6. Nyatakan dalam feet dan desimal jarak-jarak pada cetak biru gedung seperti di bawah ini  
 (a) 27 ft 4<sup>3</sup>/<sub>8</sub> in (b) 52 ft 1<sup>3</sup>/<sub>4</sub> in
- 2-7. Hitunglah luas petak tanah empat persegi panjang dalam acres, dengan sisi tercatat dalam rantai Gunter dari ukuran:  
 (a) 79 ch 17 lk dan 51 ch 39 lk (b) 16 ch 10 lk dan 12 ch 82 lk
- 2-8. Hitunglah luas petak tanah dalam peta berbentuk segitiga dinyatakan dalam acres bila diketahui sisi siku-siku terukur:  
 (a) 153,72 ft dan 438,50 ft (b) 3 ch 8 lk dan 1 ch 95 lk
- 2-9. Sebuah jarak dinyatakan sebagai 135.285,19 feet pengukuran A.S. Berapakah panjangnya dinyatakan dalam ft standar A.S.?
- 2-10. Nyatakan sudut-sudut dalam grad ini menjadi dalam radial dan derajat-menit-sekon:  
 (a) 57 grad (b) 36,2 grad (c) 163,71 grad
- 2-11. Jawablah soal-soal di bawah ini dengan angka-angka terpakai yang benar:  
 (a) jumlah 91,72; 0,00154; 156; dan 9,7  
 (b) jumlah 1,2354; 0,052; 11,30; dan 483,6  
 (c) hasil kali 1128,95 dan 1,29  
 (d) 4930,27 dibagi 5,9
- 2-12. Nyatakanlah harga atau hasilnya dalam pangkat dari 10 dan angka-angka terpakai yang benar:  
 (a) 11.432  
 (b) 4520  
 (c) kuadrat dari 11,291  
 (d) jumlah dari (11,285 + 0,5 + 146,1) dibagi 7,2
- 2-13. Konversikan sudut-sudut teratak pada sebuah segitiga menjadi radial dan berikan sebuah hitungan pengecekan:  
 (a) 48°27'13", 81°11'48", dan 50°20'59"  
 (b) 29°58'04", 64°32'00", dan 85°29'56"
- 2-14. Jelaskan perbedaan antara galat sistematis dan galat acak.
- 2-15. Uraikan perbedaan antara kesaksamaan dan ketelitian.

Sebuah jarak  $AB$  diukur berulang dan hasilnya dalam feet, ditabelkan dalam Soal 16 sampai dengan 2-19. Hitunglah (a) panjang garis paling mentak, (b) galat standar sebuah pengukuran tunggal, dan (c) galat standar harga menengah tiap rangkaian hasil.

16. 728,89; 728,92; 728,91; 728,87; 728,90; 728,95; 729,04; 728,86; 728,92 dan 728,79.
17. Sama dengan Soal 2-16 kecuali buanglah satu pengukuran, 729,04.
18. Sama dengan Soal 2-16 kecuali buanglah dua pengukuran, 729,04 dan 728,79.
19. Sama dengan Soal 2-16 kecuali tambahkan dua pengukuran, 728,86 dan 728,88.

Dalam Soal 2-20 sampai dengan 2-23, tentukan jangkau dalam mana terletak (a) 50% pengukuran dan (b) 90% pengukuran. Tuliskan persentase harga yang benar-benar masuk dalam jangkau.

20. Untuk data Soal 2-16.  
 21. Untuk data Soal 2-17.  
 22. Untuk data Soal 2-18.  
 23. Untuk data Soal 2-19.

Dalam Soal 2-24 sampai dengan 2-26, hitunglah harga sudut paling mentak, galat standar untuk sebuah pengukuran tunggal, dan galat standar harga menengah.

- 2-24. 49°23'10", 49°23'00", 49°23'30", 49°22'50", 49°23'20", dan 49°23'10".
- 2-25. Sama dengan Soal 2-24 dengan dua pengukuran tambahan 49°23'10" dan 49°23'20".
- 2-26. Sama dengan Soal 2-24 dengan empat pengukuran tambahan 49°23'10", 49°23'20", 49°23'20" dan 49°23'10".
- 2-27. Sebuah regu lapangan mampu mengukur dengan pita mencapai galat standar  $\pm 0,015$  ft tiap panjang pita 100-ft. Berapa galat standar yang bisa diharapkan jika regu ini mengukur jarak 5000 ft dengan pita tadi?
- 2-28. Ulangi Soal 2-27, kecuali galat standar tiap 20-m panjang pita adalah  $\pm 0,008$  m dan jarak yang diukur 1200 m. Berapa galat 90% yang diharapkan dalam 1200 m?
- 2-29. Sebuah jarak 4000 ft harus diukur memakai pita dengan cara yang menjamin galat standarnya kurang dari  $\pm 0,10$  ft. Berapa seharusnya galat standar tiap pita 100-ft agar tercapai kesaksamaan yang diinginkan?
- 2-30. Jalur sipat datar diatur memerlukan  $n$  buah pemasangan instrumen. Jika tiap pembacaan rambu belakang dan rambu depan mempunyai galat standar, berapa galat-galat standar dalam masing-masing jalur sipat datar berikut ini?  
 (a)  $n = 24$ ,  $\sigma = \pm 0,005$  ft  
 (b)  $n = 18$ ,  $\sigma = \pm 0,5$  mm
- 2-31. Garis  $AD$  diukur dalam tiga bagian,  $AB$ ,  $BC$ , dan  $CD$ , dengan panjang dan galat standar di bawah ini. Berapa galat standar dalam seluruh garis  $AD$ ?  
 (a)  $AB = 835,21$ ,  $\pm 0,06$  ft;  $BC = 1278,43$ ,  $\pm 0,13$  ft;  $CD = 492,87$ ,  $\pm 0,05$  ft  
 (b)  $AB = 129,856$  m,  $\pm 0,021$  m;  $BC = 295,300$  m,  $\pm 0,290$  m;  $CD = 246,205$  m,  $\pm 0,025$  m
- 2-32. Jarak  $AB$  diukur empat kali menghasilkan 577,83, 577,81, 577,85, dan 577,84. Oleh pengamat berturut-turut diberi bobot 2, 3, 1, dan 2. (a) Hitunglah harga menengah berbobot untuk jarak  $AB$ . (b) Apakah perbedaan yang terjadi bila pertimbangan belakang mengubah bobot menjadi 3, 2, 1, dan 3?
- 2-33. Tentukan harga menengah berbobot untuk sudut-sudut dan bobot sebagai berikut:  
 (a) 59°21'48", bobot 2; 59°21'40", bobot 1; 59°21'51", bobot 3; 59°21'42", bobot 1  
 (b) 65°38'20", bobot 2; 65°38'16", bobot 1; 65°38'23", bobot 3; 65°38'21", bobot 2
- 2-34. Spesifikasi untuk pengukuran sudut-sudut sebuah bangun bersisi- $n$  membatasi kesalahan penutup sudut keseluruhan sampai sebesar  $E$ . Berapa ketelitian mengukur tiap sudut untuk harga  $n$  dan  $E$  seperti berikut?  
 (a)  $n = 6$ ,  $E = 30''$   
 (b)  $n = 12$ ,  $E = 1'$
- 2-35. Berapakah luas lapangan empat persegi panjang dan galatnya untuk harga-harga terukur berikut ini:  
 (a) 468,10,  $\pm 0,08$  ft kali 620,56,  $\pm 0,10$  ft  
 (b) 86,25,  $\pm 0,012$  m kali 140,80,  $\pm 0,020$  m
- 2-36. Ratakan sudut-sudut segitiga  $ABC$  untuk harga sudut-sudut dan bobot sebagai berikut:  
 (a)  $A = 49°27'31''$ , bobot 2;  $B = 61°42'18''$ , bobot 1;  $C = 68°50'19''$ , bobot 4  
 (b)  $A = 80°14'05''$ , bobot 1;  $B = 38°37'47''$ , bobot 2;  $C = 61°07'58''$ , bobot 3
- 2-37. Tentukan bobot-bobot nisbi dan buatlah perataan berbobot untuk sudut-sudut segitiga datar  $A$ ,  $B$  dan  $C$  (sampai sekon terdekat), bila diberikan pengamatan-pengamatan sebagai berikut:

SUDUT A PENGAMATAN		SUDUT B PENGAMATAN		SUDUT C PENGAMATAN	
NO.	HARGA	NO.	HARGA	NO.	HARGA
1	52°12'	1	67°20'	1	60°22'
2	52°13'	2	67°18'	2	60°21'
3	52°13'	3	67°24'	3	60°23'
4	52°12'	4	67°22'	4	60°24'

2-38. Sebuah jalur sipat datar mulai dari titik-tetap duga (bench mark) *A* ke *B*, *B* ke *C*, dan *C* ke *D*. Beda elevasi yang diperoleh antara titik-titik-tetap duga dengan galat standarnya, tercantum di bawah ini. Berapa beda elevasi dari titik-tetap duga *A* ke *D* dan galat standarnya?

(a) *A* ke *B* = +73.87, ±0.09 ft; *B* ke *C* = -113.05, ±0.17 ft; *C* ke *D* = -48.90, ±0.12 ft

(b) *A* ke *B* = -30.281, ±0.015 m; *B* ke *C* = +49.378, ±0.022 m; *C* ke *D* = +61.805, ±0.018 m

#### DAFTAR PUSTAKA

- Aguilar, A.M. 1973. "Prinsip-prinsip Analisa Galat dan Perataan Pengukuran". *ASCE Journal of the Surveying and Mapping Division* 99(no. SUI):107.
- Barry, B.A. 1978. *Galat-galat pada pengukuran Praktis dalam Ilmu, Rekayasa dan Teknologi*. New York: Wiley.
- Mikhail, E. 1976. *Pengamatan dan Kuadrat Terkecil*. New York: Harper & Row.
- Mikhail, E.M., dan G. Gracie. 1981. *Analisa dan Perataan Pengukuran-pengukuran Survey*. New York: Van Nostrand.
- Jotila, U.A. 1973. "Statistik yang Bermanfaat untuk Para Juru Ukur". *Surveying and Mapping* 33 (no. 1): 67.
- Whitten, C.A. 1974. "Sistem Matrik dan Juru Ukur Persil". *Bulletin. American Congress on Surveying and Mapping*, no. 44, hal. 9.
- Whitten, C.A., dkk. 1980. "Perencanaan Metrikasi untuk Pengukuran dan Pemetaan". *Bulletin. American Congress on Surveying and Mapping*, no. 70, hal. 37.
- Wolf, P.R. 1980. *Hitung Perataan: Kuadrat Terkecil Praktis untuk Juru Ukur*. edisi kedua. Madison, Wis.: P.B L. Publishers.

# 3

## CATATAN LAPANGAN PENGUKURAN

**3-1. PENGANTAR.** Catatan lapangan pengukuran, baik dalam buku maupun pada pencatat data elektronik, adalah satu-atunya catatan permanen dari pekerjaan di lapangan. Jika tak lengkap, tak benar, hilang atau hancur, maka sia-sialah sebagian besar atau seluruh waktu dan biaya yang diinvestasikan untuk pembuatan catatan-catatan yang teliti tadi. Karenanya pekerjaan penyimpanan data seringkali merupakan yang terpenting dan tersulit dalam sebuah regu pengukuran. Buku lapangan berisi informasi yang terkumpul dalam beberapa minggu berharga ribuan dollar karena mahalnya pembiayaan lapangan untuk regu dua, tiga orang atau lebih. Oleh karena itu harus dijaga baik-baik dan pada sampul maupun di dalamnya ada nama dan alamat pemiliknya yang ditulis dengan tinta cina.

Data dalam catatan lapangan biasanya dipakai oleh petugas kantor untuk membuat gambar dan melaksanakan hitungan. Dengan demikian perlu sekali bahwa catatan itu jelas bagi siapapun tanpa keterangan lisan. Sistem tulisan miring Reinhardt biasanya dipakai karena jelas dan cepat; tulisan ini terbentuk dengan coretan minimum dan sederhana.

Dalam keadaan-keadaan tertentu pengukuran tanah milik menjadi bahan pemeriksaan perkara, sehingga catatan lapangan menjadi faktor penting dalam proses pengadilan. Juga karena mungkin dipakai sebagai acuan dalam peralihan hak atas tanah dalam kurun waktu amat lama, perlu disusun secara urut dan disimpan dengan baik. Keberhasilan usaha seorang juru-ukur, sangat tergantung pada baiknya pelayanan yang dapat diberikan oleh pustaka buku-buku lapangan di kantornya. Kuitansi dapat disimpan di laci tak terkunci, tetapi buku-buku lapangan disimpan dalam peti besi tahan api!

Catatan-catatan asli adalah yang dibuat di saat pengukuran dilaksanakan. Lainnya yang berupa salinan harus diberi tanda. Catatan kuitinan mungkin ditolak dalam pengadilan kare-



na menimbulkan keraguan mengenai kemungkinan salah misalnya angka-angka tertukar dan penghapusan. Harga sebuah jarak atau sudut yang ditulis dalam buku berdasarkan ingatan, 10 menit setelah pengamatan, adalah sama sekali tidak handal.

Para warga belajar terdoda untuk menuliskan catatan di secarik kertas dengan maksud nanti ditulis dengan rapi di buku lapangan. Praktek ini dapat berakibat hilangnya sebagian atau seluruh data asli dan bertentangan dengan sebuah tujuan pendidikan pengukuran tanah — menyediakan pengalaman mencatat dalam keadaan kerja sebenarnya. Dalam keadaan kerja sebenarnya, seorang juru-ukur tak mungkin di waktu malam mengutip catatan dari secarik kertas tadi. Pemberi tugas tidak akan membayar bukti ketakcakapan ini.

Catatan harus ditulis dengan pensil tajam paling sedikit 3-H kerasnya sehingga mem-bekas pada kertas. Buku yang ditulis demikian akan tahan udara lembab (atau bahkan basah) dan masih dapat dibaca, sedangkan grafit pensil lunak atau tinta pena dalam ke-adaan demikian akan membuat tulisan menjadi kabur.

Penghapusan data ukuran tak diizinkan dalam buku lapangan. Jika ada angka tercatat salah, maka dicoret dengan garis tetapi angka salah tadi masih jelas dan angka yang benar ditulis di atasnya (lihat Gambar D 3, halaman kiri<sup>1</sup>). Jika seluruh halaman dibatalkan, di-coretkan garis-garis diagonal menyilang dari sudut ke sudut dan dituliskan kata BATAL yang jelas disertai alasan-alasannya.

**3-2. PERSYARATAN CATATAN YANG BAIK.** Butir-butir di bawah ini menjadi pertim-bangan dalam penilaian sekumpulan catatan lapangan.

**Ketelitian.** Ini merupakan kualitas paling penting dalam seluruh kegiatan pengukuran.

**Kejujuran.** Sebuah pengukuran atau detail tunggal yang dihilangkan dapat menghilang-kan manfaat catatan untuk penggambaran dan hitungan. Jika proyeknya jauh dari kantor, kembali ke lapangan untuk mengulang pengukuran adalah mahal dan makan waktu. Catatan harus dicek benar-benar mengenai kelengkapannya sebelum mening-galkan lapangan pengukuran dan janganlah sekali-kali "membuat pemalsuan" agar baik kesalahan penutupnya.

**Kemudahan untuk dibaca.** Catatan hanya dapat dipakai bila mudah dibaca. Catatan yang nampak profesional mungkin sekali profesional pula kualitasnya.

**Susunan.** Formulir catatan yang sesuai untuk sesuatu pengukuran tertentu akan men-dukung ketelitian, kejujuran dan kejelasan.

**Kejelasan.** Perencanaan sebelumnya dan prosedur lapangan yang cocok adalah perlu untuk menjamin kejelasan sketsa dan tabulasi, serta membuat kesalahan dan peng-hapusan menjadi lebih jelas. Janganlah menuliskan catatan dengan berdesakan ka-rena kertas cukup murah. Kesalahan yang mahal dalam penggambaran dan hitungan adalah akibat akhir dari catatan yang tidak jelas.

**3. JENIS-JENIS BUKU LAPANGAN.** Karena buku lapangan itu berisi data berharga, mendapat perlakuan keras dan sifatnya permanen, sebaiknya gunakanlah yang terbaik untuk pekerjaan praktis. Berbagai jenis buku lapangan tersedia, tetapi yang paling banyak dipakai adalah jenis yang dijilid dan jenis lembaran lepas.

Buku terjilid, yang baku dipakai selama bertahun-tahun, dijilid dengan dijahit, sam-pai tebal dari kulit buatan, polietilen, atau harboard terbungkus, berisi 80 lembar. Pema-nannya menjamin diterimanya kesaksian secara maksimum untuk catatan pengukuran milik atas tanah di pengadilan.

at Apendiks D untuk gambar jenis-jenis catatan lapangan.

Buku kutipan terjilid mempermudah pembuatan kutipan dengan kertas karbon lang-sung di lapangan. Untuk memudahkan pengambilan, tiap selang satu halaman diberi lubang sobek-lurus (perforasi).

Buku-buku dengan lembaran lepas dipakai secara luas karena mempunyai beberapa kebaikan antara lain (a) permukaannya bisa benar-benar datar waktu dipakai, (b) catatan-catatan proyek individual dapat diarsipkan dengan sederhana, (c) secara bertahap berkas catatan dapat dikirim ke kantor, (d) mudah menyediakan tempat untuk halaman-halaman tabel tercetak, diagram-diagram, rumus-rumus dan contoh-contoh formulir, (e) kemungkin-an memakai penggarisan yang berbeda dalam sebuah buku, dan (f) penghematan lembar halaman (karena tak ada pemborosan menyimpan buku yang berisi sebagian) sehingga me-nekan biaya keseluruhan. Kelemahannya adalah kemungkinan hilangnya lembaran dan mungkin sekali dipakai kertas yang murah dan berkualitas rendah.

Buku-buku yang dijilid dengan jepret kawat, dijahit atau pegas, tidak cocok untuk pekerjaan praktis. Buku semacam ini mungkin cukup baik untuk kursus singkat pengukur-an tanah yang hanya sebentar di lapangan, karena tujuan pendidikan yang terbatas dan biaya rendah.

Penggarisan kolom dan halaman disediakan khusus untuk keperluan tertentu dalam sipat datar, pekerjaan teodolit dan teodolit kompas, pengukuran topografik, pembuatan profil melintang, dan seterusnya.

Sistem baru pembacaan dan pencatatan otomatis telah dikembangkan untuk peng-ukuran tanah, tetapi sketsa lapangan dan beberapa informasi tulisan tangan lainnya masih harus dibuat. Teodolit elektronik, satuan-satuan ukur jarak, dan sistem-sistem "stasiun kotah" ("total station") memberikan pengunjukan yang terlihat berbentuk digital. Ini dapat direkam pada pita kaset atau pemroses-renik (microprocessor) dengan berbagai daya tampung, dan dirangkai dengan instrumen-instrumen dan komputer-komputer yang ber-beda berlanjut lewat proses lengkap dari pengukuran lapangan sampai hasil-cetak dan mesin penggambar peta. Biaya pengumpul data dan satuan-satuan perangkat mungkin sebanding dengan atau melebihi biaya untuk beberapa teodolit saksama atau instrumen ukur jarak elektronik (EDM).

Sebuah "instrumen" yang berguna untuk pencatatan adalah kamera (alat pemotret). Sebuah kamera yang ringan, handal dan berharga sedang dapat menghasilkan potret-potret rekaman gambar tugu yang dipasang atau ditemukan dan bukti-bukti lapangan yang sah lainnya.

**3-4. JENIS-JENIS CATATAN.** Dalam praktek ada empat jenis catatan yang dipakai, (1) sketsa, (2) tabulasi, (3) penjelasan gambaran, dan (4) kombinasi ketiganya. Jenis yang paling umum adalah bentuk kombinasi tetapi seorang pencatat yang berpengalaman akan memilih versi mana yang paling cocok dengan pekerjaan yang dihadapi. Apendiks D berisi jenis-jenis formulir catatan yang menggambarkan beberapa masalah lapangan yang dicakup dalam teks ini.

Untuk pengukuran sederhana seperti mengukur jarak antara patok-patok pada se-rangkaian garis, sebuah sketsa menunjukkan panjang-panjang garis sudah cukup. Dalam mengukur panjang garis maju dan mundur, cukup disusun tabulasi yang sesuai dalam kolom-kolom, seperti pada Gambar D-2 dalam Apendiks D. Untuk pencatat, kiranya ber-laku peribahasa sebuah gambar sama dengan arti sepuluh ribu kata.

Lokasi sebuah titik acuan mungkin sulit untuk dikenali tanpa sketsa, tetapi seringkali dengan beberapa kalimat penjelasan telah cukup. Titik-titik tetap duga biasanya digambar-kan demikian, seperti dalam Gambar D-3.

Dalam pencatatan, ketentuan ini selalu berlaku: Jika ada keraguan tentang perlu tidak-

nya ada informasi, buatlah informasi itu dan buatlah sketsanya. Lebih baik kelebihan dari pada kekurangan data.

**3-5. SUSUNAN CATATAN.** Gaya dan susunan catatan tergantung pembakuan instansi dan selera perseorangan. Instansi jalan raya, badan pemetaan, dan instansi lain yang mempunyai kegiatan mengukur tanah menyediakan contoh-contoh bentuk formulir catatan untuk petugas lapangan, serupa dengan yang tercantum dalam Apendiks D, membantu pembuatan catatan menjadi seragam dan lengkap yang dapat dicek dengan cepat.

Adalah sangat baik bila warga belajar menggunakan formulir catatan yang dirancang secara ahli dalam tugas lapangan yang pertama sebagai pedoman untuk mencapai mutu tinggi dan menghemat waktu. Bentuk formulir catatan seperti dalam Apendiks D adalah gabungan dari beberapa model. Bentuknya menekankan gaya terbuka khususnya berguna untuk pemula, di mana beberapa garis dan ruang dilewati agar jelas. Jadi sudut-sudut yang diukur di titik *A* (lihat Gambar D-8) ditempatkan di hadapan *A* pada halaman itu, tetapi jarak-jarak yang diukur antara patok *A* dan *B* di tanah, dicatat pada garis antara *A* dan *B* di buku lapangan.

Halaman kiri biasanya dibagi menjadi enam kolom diatur hanya untuk tabulasi saja. nomor sama. Judul lengkap harus ditulis di bagian atas halaman kiri dan boleh berlanjut ke halaman kanan. Judul boleh disingkat pada halaman-halaman berikutnya untuk satu proyek pengukuran. Lokasi dan jenis pekerjaan ditulis di halaman kiri atas dan halaman kanan atas disediakan untuk tanggal, anggota regu, cuaca dan hal-hal lainnya. Rancangan ini diubah bila seluruh halaman kanan harus disediakan untuk sketsa dan penjelasan gambar titik-tetap duga. Susunan seperti dalam Apendiks D adalah sangat memuaskan dan menunjukkan kepada para mahasiswa kemudahan-sesuai (flexibility) formulir catatan.

Halaman kiri biasanya dibagi menjadi enam kolom diatur hanya untuk tabulasi saja. Judul kolom ditempatkan di antara dua garis horisontal pertama di bagian paling atas halaman dari kiri ke kanan dalam perkiraan urutan pembacaan dan pencatatan. Bagian atas halaman kanan atau kiri harus memuat empat hal.

1. *Nama proyek, lokasi, tanggal, jam (pagi atau sore), serta saat mulai dan selesai.* Isi ini perlu untuk dokumentasi catatan dan melengkapi jadwal, serta mengaitkan berbagai pengukuran. Kesaksamaan, kesulitan yang dijumpai, dan fakta-fakta lain dapat disimpulkan bertahap dari waktu yang diperlukan untuk sebuah pengukuran.

2. *Cuaca.* Kecepatan angin, suhu, dan keadaan cuaca buruk seperti hujan, salju, sinar matahari, dan kabut mempunyai pengaruh yang menentukan pada ketelitian dalam pekerjaan pengukuran. Juru ukur tak mungkin bekerja sebaik-baiknya pada suhu 15°F atau dalam keadaan keuhujan. Karenanya detail cuaca itu penting dalam peninjauan kembali catatan lapangan, menerapkan koreksi panjang pita akibat perbedaan suhu dan untuk penggunaan-penggunaan lain.

3. *Regu* Nama-nama dan singkatan nama (inisial) anggota regu serta tugas-tugasnya diperlukan untuk dokumentasi dan acuan di belakang hari. Tugas-tugas dapat digambarkan dengan simbol-simbol misalnya  $\nabla$  untuk pengamat,  $\phi$  untuk pemegang rambu, N untuk encatat dan HT untuk pengukur depan jarak dengan pita. Tak jarang kepala regu bertugas sebagai pencatat.

4. *Jenis dan nomor instrumen.* Jenis instrumen yang dipakai (dengan merk dan nomor serinya) dan tingkat pengaturannya mempengaruhi ketelitian pengukuran. Nyata-diri peralatan tertentu yang dipakai dapat membantu memisahkan beberapa galat – sebagai contoh, sebuah pita dengan panjang sebenarnya yang belakangan ketahuan tak sesuai dengan rak yang tercatat antara ujung-ujung pembagian skala.

Untuk menyatakan suatu lokasi telah dicatat datanya, tiap buku lapangan harus mem-

punyai daftar isi yang diperbaharui setiap hari. Dalam praktek, para juru-ukur memberi tanda catatan mereka pada hari-hari bila pekerjaan lapangan tak mungkin dilakukan.

**3-6. SARAN-SARAN UNTUK PENULISAN CATATAN.** Dengan memperhatikan saran-saran di bawah ini akan menghilangkan beberapa kesalahan yang biasa terjadi dalam penulisan catatan.

1. Pakailah sistem tulisan Reinhardt.<sup>2</sup> Huruf-huruf besar khusus disediakan untuk penekanan.
2. Tulislah nama dan alamat pemilik pada sampul buku dan halaman dalam pertama dengan tinta cina. Berilah nomor pada semua buku lapangan untuk tujuan pencatatan.
3. Pakailah pensil keras, paling tidak 3-H atau 4-H, dan jagalah selalu tetap runcing.
4. Mulailah hari baru dengan halaman baru. Untuk pengukuran hak milik atas tanah dengan sketsa yang rumit, ketentuan ini bisa diabaikan.
5. Pakailah jenis formulir lapangan yang teratur, baku dan dikenal umum, tetapi bila perlu rancanglah susunan khusus yang cocok dengan proyeknya.
6. Segera setelah pengukuran, selalu catatlah langsung di buku lapangan dan bukan di secarik kertas untuk dikutip kemudian.
7. Sertakan pernyataan-pernyataan, detail-detail dan pengukuran-pengukuran tambahan yang bersifat menerangkan, jika sekiranya hal itu memperjelas catatan bagi petugas lapangan maupun petugas kantor.
8. Catatlah apa yang terbaca tanpa menghitung apapun dalam kepala. Tulislah apa yang Anda baca!
9. Jangan menghapus data yang telah tercatat. Coretkan satu garis pada harga yang salah (tetapi masih jelas terbaca) dan tuliskan angka yang benar di atas atau di bawahnya. Untuk *membatalkan* seluruh halaman, tariklah garis diagonal menyilang dari sudut ke sudut halaman. Nyatakan tertulis di situ alasannya.
10. Bawalah penggaris untuk menarik garis dan busur derajat kecil untuk menggambar sudut.
11. Catatan dibuat dari atas ke bawah, kecuali pada pengukuran jalur lintas di mana biasanya dari bawah ke atas untuk menyesuaikan dengan sketsa yang dibuat sambil melihat ke arah depan. (Lihat Gambar D-13).
12. Jika anda ragu-ragu, janganlah memakai tabulasi tetapi gunakan sketsa.
13. Buatlah gambar menurut perbandingan umum, bukan tepat menurut skala atau tanpa rencana sama sekali. Perlu dipahami bahwa biasanya perkiraan awal tentang kebutuhan ruang itu terlalu kecil. Tulisan dibuat sejajar atau tegak lurus detail yang bersangkutan, menunjukkan dengan jelas tulisan itu terpakai untuk apa. Garis-garis ukuran seperti yang digunakan dalam gambar cetakan, jarang diperlukan.
14. Buatlah sketsa dan detail dengan ukuran berlebihan jika sekiranya menambah kejelasan, atau buatlah diagram terpisah.
15. Urutkan penjelasan dan gambar lurus segaris dengan data numeris yang bersangkutan. Sebagai contoh, awal penjelasan sebuah titik-tetap duga ditempatkan segaris dengan elevasinya, seperti dalam Gambar D-3.
16. Hindarkan terjadinya pencatatan yang berdesakan. Jika memang diperlukan, pakai beberapa halaman kanan untuk sketsa dan penjelasan bagi satu tabulasi di

<sup>2</sup>Gaya tulisan coretan-tunggal dijelaskan dalam buku teks gambar rekayasa dan dipakai dalam formulir catatan Apendiks D.

halaman kiri. Demikian pula dapat dibuat tabulasi beberapa halaman untuk sebuah gambar.

17. Kertas itu murah dibanding dengan nilai waktu yang mungkin tersedia karena petugas kantor salah tafsir mengenai catatan lapangan yang terlalu padat, atau karena harus kembali ke lapangan untuk penjelasan.
18. Pakailah catatan-catatan penjelasan bila ada hubungannya, selalu mengingat tujuan pengukuran dan keperluan petugas kantor. Buatlah catatan-catatan ini di ruang-ruang terpisah untuk mencegah percampuran dengan bagian-bagian sketsa lainnya.
19. Agar ringkas pakailah simbol-simbol dan tanda-tanda yang konvensional.
20. Arahkan agar utara di sebelah atas atau sebelah kiri pada semua sketsa bila mungkin. Panah arah meridian adalah penting sekali digambar.
21. Tulislah tabulasi angka-angka selalu dalam batas dan tidak kena garis-garis kolom, dengan koma tanda desimal dan angka-angka ditulis ke bawah lurus segaris.
22. Buatlah perkiraan dalam pikiran semua pengukuran sebelum menerima pembacaan dan mencatatnya agar supaya terhindar dari kesalahan besar.
23. Ulangi dengan ucapan, harga-harga yang diberikan untuk dicatat. Sebagai contoh, sebelum menuliskan jarak 124,68, ucapkan "satu dua empat koma enam delapan" untuk pencocokan oleh pengamat yang memberikan harga tadi.
24. Tuliskan angka nol di muka tanda desimal untuk angka kurang dari 1; jadi tulislah 0,37 bukan ,37.
25. Tunjukkan kesaksamaan pengukuran dengan cara angka-angka terpakai. Sebagai contoh, catatlah 3,80 dan bukan 3,8 bila memang angka pembacaan sampai perseratusan.
26. Jangan menuliskan angka dengan menimpa angka lain atau menuliskan angka pada garis-garis sketsa, dan jangan mencoba merubah sebuah angka menjadi angka lain, misalnya angka 3 diubah menjadi 5 dengan menimpakan angka 5 pada angka 3.
27. Sejauh mungkin diadakan semua pengecekan hitungan terhadap catatan dan catatlah hasilnya sebelum meninggalkan lapangan.
28. Bandingkan semua kesalahan penutup dan semua rasio galat sewaktu masih di lapangan. Pada proyek-proyek besar di mana ada pembagian tugas untuk beberapa regu, pekerjaan yang selesai ditunjukkan dengan koreksi penutup yang memuaskan.
29. Aturilah agar hitungan-hitungan penting dilaksanakan di lapangan sehingga dapat dicek kemudian.
30. Berilah judul, indeks dan acuan silang tiap pekerjaan baru atau lanjutan dari pekerjaan sebelumnya oleh organisasi pemberi kerja, pemegang hak milik, dan gambaran penjelasan.
31. Tandatanganilah dengan nama dan inisial di pojok kanan bawah halaman kanan semua catatan asli. Ini menyatakan tanggungjawab seperti menandatangani sebuah cek.
32. Tulislah SALINAN dengan cukup besar menyilang halaman-halaman catatan yang bukan asli, tetapi tulisan itu jangan sampai mengaburkan atau menyinggung sketsa atau gambar apapun.

#### DAL-SOAL

1. Dalam seberkas catatan lapangan yang baik, informasi apa sajakah yang biasanya harus dimasukkan?

- 3-2. Mengapa pena tidak boleh digunakan dalam membuat catatan lapangan?
- 3-3. Jelaskan alasan untuk ketentuan no. 26 dalam paragraf 3-6 waktu membuat catatan.
- 3-4. Jika ada, penghapusan apa yang diizinkan dalam buku lapangan?
- 3-5. Mengapa harus ditempatkan sebuah nol di muka koma tanda desimal dalam mencatat harga-harga misalnya 0,73?
- 3-6. Nyatakan pendapat Anda sebagai butir keenam (lihat Paragraf 3-2) yang cukup baik untuk dipertimbangkan dalam meninjau seberkas catatan lapangan.
- 3-7. Mengapa buku lapangan yang dijepret kawat dan dijilid pegas tak cukup baik untuk pekerjaan praktis?
- 3-8. Berikan dua alasan mengapa garis-garis melintang dan membujur itu perlu pada halaman-halaman buku lapangan.
- 3-9. Apakah kemungkinan keburukan sebuah pencatat data elektronik bagi juru-ukur persil yang mempunyai usaha kecil?
- 3-10. Mengapa sketsa di dalam buku lapangan biasanya tidak digambar tepat menurut skala?
- 3-11. Kapan harus dibuat sketsa di samping mencatat data?
- 3-12. Jika, seperti sering terjadi, sebuah sketsa ternyata terlalu kecil, apa yang harus diperbuat?
- 3-13. Berilah sebuah contoh ketidakpanggaan (inconsistency) dalam mencatat elevasi pada sebuah sketsa.
- 3-14. Mengapa tulisan harus selalu ditempatkan sejajar dengan, atau tegak lurus terhadap detail yang bersangkutan?
- 3-15. Utara biasanya ditempatkan di bagian atas atau sebelah kiri dan sketsa disusun agar terbaca dari bawah dan bagian kanan halaman. Mengapa?
- 3-16. Uraikan dua masalah yang mungkin timbul dari tak adanya nama-nama dan inisial regu lapangan pengukuran dalam buku lapangan.
- 3-17. Mengapa ada persyaratan untuk menuliskan dalam buku lapangan merk dan nomer seri pita, teodolit kompas, teodolit, alat sipat datar, dan instrumen ukur jarak elektronik (EDMI) yang dipakai pada pengukuran?
- 3-18. Informasi atau catatan lain apakah yang di samping keempat hal utama, tersebut dalam Paragraf 3-5, mungkin bermanfaat di halaman kanan buku lapangan?
- 3-19. Sebuah pengukuran ulang dilaksanakan pada sebuah petak dalam kaplingan berumur 50 tahun tetapi tanggalnya tak ada karena kelalaian dalam buku lapangan. Apakah pengaruh yang mungkin terjadi pada Anda sebagai pembeli petak tanah tersebut?
- 3-20. Jika suatu detail sengaja tak dimasukkan dalam buku lapangan (misalnya sebuah pagar lama yang tak teratur) apa yang harus dikerjakan?
- 3-21. Informasi apa yang harus dimasukkan dalam catatan pengukuran untuk pagar, jalan, pohon, dan gedung?
- 3-22. Jelaskan beda catatan yang harus dibuat dari atas ke bawah dan catatan yang secara tradisional ditulis dari bawah ke atas halaman.
- 3-23. Sebuah teodolit dengan pembacaan sudut digital dipakai di wilayah terpencil. Apakah kebaikan dan keburukan yang mungkin terjadi?
- 3-24. Apakah kesamaan antara penandatanganan berkas catatan lapangan dan penandatanganan cek?
- 3-25. Beberapa negara bagian mensyaratkan bahwa orang yang menandatangani peta pengukuran persil harus mengambil bagian secara "aktif" dalam pengukuran lapangan. Mengapa?
- 3-26. Jika ketelitian pengukuran jarak (misalnya sampai 0,01 ft) diragukan, bagaimana ini harus dicatat?
- 3-27. Jika harus ada catatan tambahan atau sisipan pada tanggal belakangan, bagaimana cara menangani hal ini?
- 3-28. Sebutkan jenis atau jenis-jenis catatan lapangan yang masing-masing dipakai pada Gambar D-1 sampai dengan D-13 dalam Apendiks D.

MILIK

## DAFTAR PUSTAKA

- Brinker, R.C., B.A. Barry, dan R. Minnick. 1980. *Formulir Catatan untuk Pengukuran Tanah*, edisi kedua. Landmark Enterprises, Rancho Cordova, CA 95670.
- Pafford, F.W. 1962. *Buku Penuntun Pencatatan Pengukuran*. New York: Wiley.

# 4

## PENGUKURAN JARAK: PENGUKURAN DENGAN PITA

### BAGIAN I METODE-METODE PENGUKURAN LINIER

**4-1. PENGANTAR.** Pengukuran jarak adalah basis seluruh pengukuran tanah. Walaupun sudut-sudut dapat dibaca saksama dengan peralatan yang rumit, paling sedikit ada sebuah garis harus diukur panjangnya untuk melengkapi sudut-sudut dalam penentuan lokasi titik-titik.

Dalam pengukuran tanah datar jarak antara dua titik berarti jarak horizontal. Jika kedua titik berbeda elevasinya, jaraknya adalah panjang garis horizontal antara garis unting-unting di kedua titik itu.

Panjang garis dapat dinyatakan dengan satuan-satuan yang berbeda. Satuan yang biasanya dipakai dalam pengukuran tanah datar di Amerika Serikat adalah foot, dengan pembagian desimal. Dalam pekerjaan-pekerjaan arsitektural dan mesin serta pada beberapa proyek konstruksi, satuannya adalah foot dibagi menjadi inches dan pecahan dari satu inch. Pengukuran Geodetik biasanya memakai meter. Chain (rantai), vara, rod, dan satuan-satuan lain telah dan masih dipakai di beberapa tempat, untuk tujuan-tujuan khusus.

**4-2. METODE MENGUKUR JARAK HORIZONTAL.** Dalam pengukuran tanah, pengukuran linier diperoleh dengan (a) mengukur dengan langkah, (b) pembacaan odometer, (c) pengukur jarak optis, (d) takimetri (stadia), (e) batang-ukur jarak (substense bar), (f) pengukuran jarak dengan pita, dan (g) pengukuran jarak elektronik (EDM). Dari meto-



de-metode ini, pengukuran jarak dengan pita dan EDM adalah yang paling umum dipakai oleh para juru-ukur. Metode (a) sampai dengan (e) dibicarakan secara singkat dalam paragraf-paragraf berikutnya. Pengukuran jarak dengan pita dibahas terperinci dalam Bagian II bab ini dan EDM dicakup dalam Bab 5. Jarak dapat juga ditaksir, suatu teknik yang berguna dalam membuat sketsa catatan lapangan dan mengecek pengukuran mencari kesalahan.

*Triangulasi* adalah sebuah metode untuk menentukan posisi titik-titik dari mana jarak-jarak horisontal dapat dihitung (lihat Bab 20). Dalam prosedur ini, panjang garis dihitung secara trigonometris dari basis (base line) yang diukur panjangnya dan sudut-sudut. Sebuah variasi triangulasi adalah sistem penentuan titik dari udara atau sistem ABC (*Airborne control system*). Sistem ini memakai helikopter dengan unting-unting optis (*oversight*). Dari sebuah titik kontrol tertentu di tanah dilakukan pengukuran jarak elektronik (dan/atau sudut) ke helikopter yang melayang tetap dengan tinggi tertentu di atas titik stasiun di tanah yang belum diketahui posisinya. Metode lain untuk menentukan posisi titik dari mana dapat dihitung jarak horisontal, memakai sistem pengukuran *kelembaman* dan *doppler satelit*. Alat-alat ini, dibicarakan dalam Bab 20, sekarang dipakai terutama untuk menentukan posisi titik-titik yang saling berjauhan letaknya dalam pengukuran titik-titik dasar. *Fotogrametri* dapat pula dipakai untuk memperoleh jarak horisontal. Pokok pembicaraan ini diliput dalam Bab 28.

**4-3. MENGUKUR DENGAN LANGKAH.** Jarak yang diperoleh dengan langkah adalah cukup teliti untuk banyak tujuan dalam pengukuran tanah, rekayasa (engineering), geologi, pertanian, kehutanan dan pembuatan sketsa militer di lapangan. Mengukur dengan langkah juga dipakai untuk menemukan kesalahan besar yang mungkin terjadi dalam pengukuran dengan pita atau pembacaan jarak optis.

Mengukur dengan langkah terdiri atas penghitungan banyaknya langkah pada suatu jarak. Sebelumnya, panjang langkah seseorang harus diukur dulu. Ini paling baik dikerjakan dengan melangkah biasa pergi-pulang sepanjang jarak datar terukur paling sedikit 300 feet, dan membagi jarak tadi dengan jumlah langkah rata-rata. Untuk jarak-jarak pendek diperlukan panjang tiap langkah, tetapi lebih baik diambil jumlah langkah per 100 feet untuk mengecek jarak-jarak panjang Gambar D-1 memperlihatkan catatan untuk pengukuran dengan langkah di lapangan.

Mungkin saja untuk mengatur agar langkah seseorang teratur tepat 3 feet, tetapi seseorang dengan tinggi badan rata-rata akan lelah melangkah demikian bila amat lama. Panjang langkah seseorang berbeda bila mendaki atau menurun dan bila usia bertambah. Untuk jarak panjang, dapat dibawa instrumen saku bernama *pedometer* untuk mencatat jumlah langkah, atau sebuah *passometer* dilekatkan pada badan atau kaki untuk menghitung langkah. Beberapa juru-ukur lebih suka menghitung tiap dua langkah (*stride*).

Mengukur dengan langkah adalah salah satu cara paling berharga untuk dipelajari dalam pengukuran tanah karena pemakaiannya praktis untuk siapa saja dan tak memerlukan peralatan. Pelangkah yang berpengalaman dapat mengukur jarak 100 ft atau lebih dengan ketelitian  $\frac{1}{50}$  atau  $\frac{1}{100}$  bila tanah terbuka dan cukup datar.

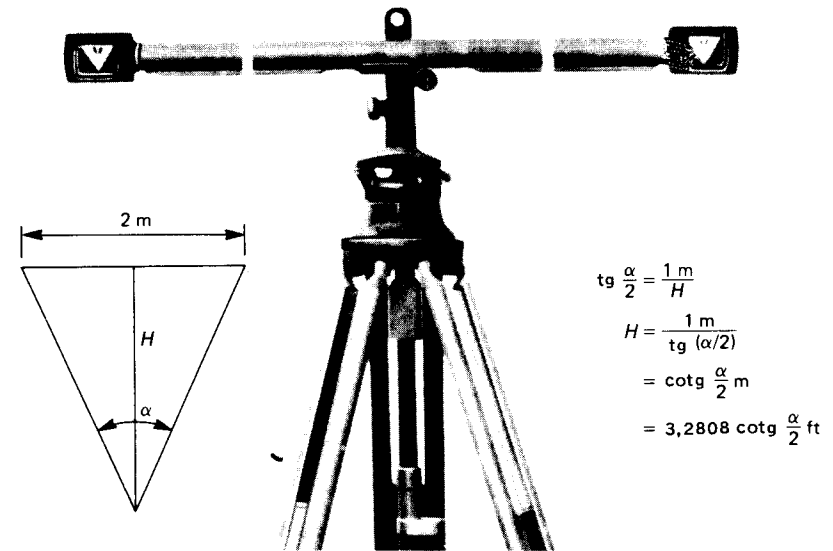
**4-4. PEMBACAAN ODOMETER.** Sebuah odometer mengkonversikan jumlah perputaran sebuah roda dengan keliling diketahui, menjadi jarak. Jarak yang diukur dengan odometer pada sebuah kendaraan cocok untuk beberapa survey awal dalam pekerjaan lokasi jalur lintas. Dapat pula untuk pengecekan kasar pada pengukuran dengan cara lain. Kesaksamaan kira-kira  $\frac{1}{200}$  adalah masuk akal. Ada alat ukur jenis lain dan berguna untuk penentuan jarak pendek, terutama pada garis lengkung. Odometer menghasilkan jarak permukaan yang harus dikoreksi menjadi horisontal bila tanahnya amat miring (lihat Paragraf 4-13).

**4-5. PENGUKUR JARAK OPTIS** Instrumen ini bekerja dengan prinsip sama dengan pengukur jarak pada alat pemotret jenis refleksi lensa tunggal (S.L.R. single lens reflex). Pada dasarnya bila dipumpunkan, diperoleh jarak benda  $f_2$  dalam Pers. (6-6) di mana jarak fokus  $f$  dan jarak bayangan  $f_1$  diketahui. Pengamat melihat lewat lensa dan mengatur pumpunan sampai obyek jauh yang diarah terlihat tajam, sesudah itu didapat pembacaan jarak. Instrumen ini mampu mencapai ketelitian 1 bagian dalam 50 pada jarak sampai 150 ft, tetapi ketelitian berkurang bila jarak bertambah. Alat ini cocok untuk survei-tinjau (*reconnaissance*), pembuatan sketsa, atau pengecekan pengukuran lebih teliti untuk melihat kemungkinan kesalahan.

**4-6 TAKIMETRI.** Takimetri (di Amerika Serikat istilahnya yang lebih umum adalah *stadia*) yaitu suatu metode pengukuran yang dipakai untuk menentukan secara cepat jarak horisontal ke sebuah titik dan elevasi titik itu. Takimetri dilaksanakan dengan membidik melalui teropong yang dilengkapi dengan dua benang silang horisontal atau lebih yang berjarak tertentu. Benang atas dan benang bawah terlihat dan dapat dibawa pada pembagian skala rambu yang dipegang vertikal di titik yang diinginkan. Jarak dari teropong ke rambu didapatkan dengan hubungan perbandingan dalam dua buah segitiga sebangun. Kesaksamaan  $\frac{1}{500}$  dapat dicapai dengan pengukuran yang cukup hati-hati. Penjelasan terperinci metode ini diberikan dalam Bab 15.

**4-7. BATANG-UKUR JARAK (SUBTENSE BAR).** Beberapa metode optis lainnya untuk menentukan jarak tak langsung telah dikembangkan di mana sudut di muka jarak tertentu antara dua tanda-ujung sebuah batang horisontal (misalnya batang-ukur jarak), dibaca pada teodolit kompas atau teodolit saksama.

Batang-ukur jarak dari Invar pada Gambar 4-1 (bersama dengan sebuah diagram geometrik) dipasang pada sebuah kaki-tiga dan diatur tegak lurus garis ukur dengan alat pengincar di bagian atas batang.<sup>1</sup> Sasaran tetap di kedua ujung batang berjarak tepat



Gambar 4-1. Batang-ukur jarak. (Aias kebaikan Kern Instruments Inc.)

<sup>1</sup>Invar adalah logam yang mempunyai koefisien muai rendah, jadi tetap tepat pada panjang sebenarnya walaupun terjadi perubahan suhu (lihat Paragraf 4-15.2).

2 m. Sudut horisontal antara sasaran-sasaran diukur memakai teodolit dengan pembacaan sampai 1 sekon atau kurang, dan jarak horisontal dihitung. Berdasarkan Gambar 4-1, jarak horisontal didapat dengan:

$$H = \cotg \frac{\alpha}{2} \text{ (meter)} \quad (4-1)$$

atau

$$H = 3,2808 \cotg \frac{\alpha}{2} \text{ (feet)} \quad (4-2)$$

di mana  $H$  adalah jarak horisontal dan  $\alpha/2$  adalah setengah sudut terukur di depan jarak antara dua sasaran.

Sifat khas yang penting pada batang-ukur jarak adalah bahwa *selalu dihasilkan jarak horisontal walaupun dengan bidikan miring karena  $\alpha$  adalah sudut horisontal.*

Untuk pembidikan 500 ft (150 m) atau kurang, dan dengan memakai teodolit 1-sekon, dapat dicapai ketelitian satu bagian dalam 3000. Ketelitian berkurang dengan bertambahnya panjang garis, tetapi hal ini dapat diatasi dengan beberapa pengamatan sudut atau membuat dua pengukuran dari kedua ujung garis dan mengambil rata-ratanya. Metode batang-ukur jarak sering dipakai di waktu lampau untuk memperoleh jarak melewati medan yang sulit dicapai misalnya menyeberangi genangan air. Alat EDM sekarang hampir sama sekali menggantikan prosedur ini.

## BAGIAN II PENGUKURAN JARAK DENGAN PITA

**4-8. PENGANTAR PENGUKURAN DENGAN PITA.** Pengukuran jarak horisontal dengan pita terdiri atas penerapan panjang yang diketahui pada pita berpembagian skala langsung pada sebuah garis beberapa kali. Dua jenis masalah yang timbul: (1) mengukur jarak antara dua titik tertentu, misalnya dua patok di tanah, dan (2) memasang sebuah jarak dari satu titik awal saja yang tertentu tempatnya.

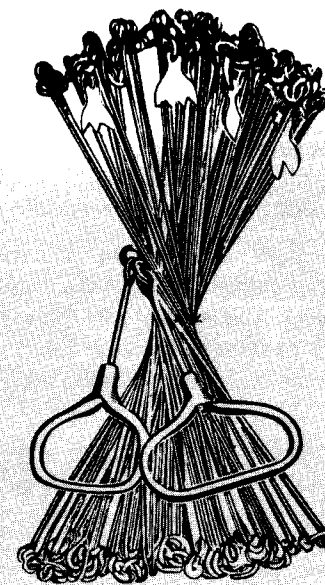
Pengukuran dengan pita dilaksanakan dalam enam langkah: (1) meluruskan, (2) memberi tegangan, (3) penguntingan, (4) menandai panjang pita, (5) membaca pita, dan (6) mencatat jarak. Penerapan langkah-langkah pengukuran dengan pita ini pada tanah datar dan miring dibicarakan terperinci dalam Paragraf 4-11 dan 4-12.

**4-9. PERALATAN MENGUKUR DENGAN PITA.** Berbagai jenis peralatan yang dipakai dalam pengukuran dengan pita di Amerika Serikat di waktu lampau dan sekarang, dibicarakan dalam paragraf ini.

### 4-9-1. PERALATAN HISTORIS

**Tongkat (Pole).** Juru ukur zaman dulu bersusah payah bekerja dengan papan kayu bertopang dan tongkat kayu atau logam. Alat-alat ini melahirkan istilah *pole* sebagai satuan pengukuran. Panjangnya  $16\frac{1}{2}$  ft, sama dengan *rod*.

**Rantai Gunter.** Rantai Gunter merupakan alat ukur terbaik bagi para juru-ukur di Amerika Serikat selama bertahun-tahun dan disebut-sebut dalam catatan lapangan dan akta tanah lama. Panjangnya 66 ft (4 poles) dan mempunyai 100 buah mata rantai (links), tiap link sama dengan 0,66 ft atau 7,92 in. Mata rantainya dibuat dari kawat berat, mempunyai sosok (loop) pada ujung-ujungnya dan dirangkaikan dengan tiga cincin (Gambar 4-2).



Gambar 4-2. Rantai Gunter.

Ujung-ujung luar kedua pegangan yang dirangkaikan dengan kedua mata rantai ujung, adalah tanda 0 dan 66 ft. Kepingan-kepingan logam bergerigi digantungkan untuk menandai tiap mata rantai kesepuluh dari masing-masing ujung berturut-turut dengan satu, dua, tiga dan empat gigi. Kepingan di tengah-tengah berbentuk bulat. Dengan 600 atau 800 bidang sambungan rantai dan cincin yang mengalami aus karena bergesekan, pemakaian dengan kasar memanjangkan rantai, dan panjangnya harus dibetulkan dengan baut-baut di kedua pegangannya.

Jarak yang diukur dengan rantai dicatat dalam chain dan link atau dalam chain dan desimal dari chain — sebagai contoh, 7 ch 94,5 lk atau 7,945 ch. Bagian desimal dari link (mata rantai) ditaksir. Rantai Gunter panjang 66 ft dipilih karena relevansinya dengan mil dan hubungan chain persegi dengan acre. Jadi  $1 \text{ ch} = \frac{1}{80} \text{ mil}$ , dan  $10 \text{ ch}^2 = 10 \times 66^2 = 43,560 \text{ ft}^2 = 1 \text{ acre}$ .

**Rantai Insinyur (Engineer's chain).** Rantai ini mempunyai konstruksi sama dengan rantai Gunter tetapi panjangnya 100 ft dan terdiri atas 100 mata rantai masing-masing 1 ft.

Dewasa ini rantai jarang dipakai, walaupun masih dibuat pita baja dengan pembagian skala seperti rantai Gunter. Meskipun demikian, banyaknya pengukuran dengan rantai tercatat dalam arsip mengharuskan pelaksana modern untuk memahami batas-batas ketelitian yang dimungkinkan oleh peralatan ini dan konversi jarak yang tercatat dalam chain dan link ke dalam feet. Istilah *mengukur dengan rantai* (chaining) terus dipakai saling tukar dengan *mengukur dengan pita* (taping), walaupun khusus dipakai pita saja.

**Kawat (Wires).** Sebelum baja tipis rata, seperti dipakai dalam pita modern sekarang, dapat diproduksi secara efisien, untuk mengukur jarak dipakai kawat. Alat ini masih praktis dalam kasus-kasus tertentu — sebagai contoh, pengukuran hidrografik.

#### 4-9-2. PITA-PITA YANG SEKARANG DIPAKAI

**Pita Juru-Ukur dan Pita Insinyur.** Pita-pita ini dibuat dari baja dengan lebar  $\frac{1}{4}$  sampai  $\frac{1}{8}$  in dan beratnya 2 sampai 3 lb/100 ft. Panjang baku adalah 100, 200, 300, 500 ft dan 30, 50, 60, 100 m. Yang paling umum adalah pita 100 ft. Semua dapat digulung pada kili-kili (reel), atau diringkas dalam ikalan (loop) panjang 5 ft membentuk angka 8, kemudian *dibentuk* ke dalam lingkaran berjari-jari sekira  $9\frac{1}{2}$  in. Untuk pengukuran dengan pita jarak panjang (300 sampai 500 ft), tersedia *rantai pita* (band chains) atau dikenal juga dengan pita rantai (chain tapes) yang mempunyai penampang lebih kecil ( $\frac{1}{8}$  sampai  $\frac{5}{16}$  in kali 0,016 sampai 0,025 in).

Pita mempunyai pembagian skala tiap foot dan ditandai dari 0 sampai 100. Beberapa pita mempunyai pembagian persepuluhan atau persepuluhan dan perseratusan foot, hanya pada foot paling di kedua ujungnya. Ada lagi pita-pita (*pita tambah*) yang mempunyai pembagian skala satu foot tambahan pada bagian selewat tanda nol. Dalam semua kasus, pada tiap ujungnya ada cincin logam atau ikalan untuk kaitan dengan pegangan atau tali kulit.

**Pita-pita Khusus (Special-Purpose Tapes).** Untuk tujuan-tujuan khusus seperti pengukuran basis, pekerjaan rekayasa kota, pemakaian oleh petugas pemboran minyak, dan pengukuran topografik, dibuat pita-pita yang cocok penampang, panjang, komposisi dan susunan pembagian skalanya.

**Pita-pita Pemborong Bangunan (Builder's Tapes).** Pita-pita ini mempunyai penampang yang lebih kecil dan lebih ringan daripada pita juru ukur. Karena kebanyakan rencana bangunan yang disiapkan oleh insinyur dan arsitek memakai satuan foot dan inch, maka pita inipun diberi pembagian skala dalam satuan itu.

**Pita-pita Invar.** Pita Invar dibuat dari baja nikel khusus (35% nikel dan 65% baja) untuk mengurangi variasi panjang yang diakibatkan oleh beda suhu. Koefisien muai dan menyusut hanya kira-kira  $\frac{1}{30}$  atau  $\frac{1}{60}$  dari pita baja biasa. Logam ini lunak dan agak tak stabil. Kelemahan pita Invar ini disertai harganya yang mungkin 10 kali harga pita biasa, menyebabkan hanya cocok untuk pekerjaan geodetik saksama dan sebagai pembakuan untuk perbandingan dengan pita kerja.

**Pita-pita Lovar.** Versi yang agak baru, pita Lovar, mempunyai sifat-sifat dan harga antara pita baja dengan pita Invar.

**Pita-pita Cita.** Pita cita (atau metalik) sebenarnya dibuat dari linen (linen) kualitas tinggi selebar  $\frac{5}{8}$  in dengan kawat tembaga halus dijalin memanjang untuk memberi kekuatan tambahan dan mencegah pemanjangan berlebihan. Pita metalik yang umum dipakai panjangnya 50, 100 dan 200 ft dan dikemas dalam kili-kili tertutup. Walaupun tak cocok untuk pekerjaan saksama, pita metalik praktis dan cocok untuk banyak tujuan tetapi *tidak boleh* dipakai dekat arus listrik.

**Pita-pita Serat Gelas. (Glass-Fiber Tapes).** Pita-pita serat gelas dapat dipakai pada jenis-jenis pekerjaan yang sama dengan pada pita metalik dan aman dipakai dekat alat-alat listrik.

#### 4-9-3. ALAT-ALAT TAMBAHAN PENGUKURAN DENGAN PITA

**Paku Lapangan (Taping Pins).** Kadang-kadang disebut panah juru-ukur, dipakai untuk menandai panjang pita. Kebanyakan paku lapangan dibuat dari kawat baja nomor 12, satu

ujung diruncingkan dan ujung lainnya membentuk cincin, dicat merah putih berselang-seling. Satu rangkaian baku pada cincin baja biasanya berisi 11 buah paku lapangan.

**Alat Sipat Datar Tangan** Instrumen sederhana ini, dijelaskan dalam Paragraf 6-16, dipakai untuk menjaga agar ujung-ujung pita sama tingginya pada waktu mengukur jarak pada tanah berbukit.

**Pengatur Tegangan (Tension Handles).** Alat ini mengatur pemakaian tegangan baku yang tepat atau tegangan yang diketahui. Perlengkapannya terdiri dari pegangan dari kawat, sebuah penjepit untuk cincin ujung pita, dan timbangan pegas terbaca sampai 30 lb dalam peneraan  $\frac{1}{2}$ -lb.

**Pegangan Jepit (Clamp Handles).** Pegangan ini untuk memberikan tegangan dengan genggamannya yang pasti dan cepat memakai gerakan seperti gunting di sembarang bagian pita baja tanpa merusakkan pita atau melukai tangan.

**Termometer Saku.** Termometer untuk dipakai di lapangan panjangnya kira-kira 5 in, mungkin dengan pembagian skala dari  $-30$  sampai  $+120^{\circ}\text{F}$  dalam pembagian 1 atau  $2^{\circ}$  dan disimpan dalam kotak pelindung dari logam.

**Kotak Perbaikan Pita.** Kotak perbaikan pita berisi pipa penyambung untuk ditempatkan pada dua bagian pita yang putus, ditempa dan dikaitkan dengan lubang tali sepatu memakai alat gabungan pelubang dan pengeling.

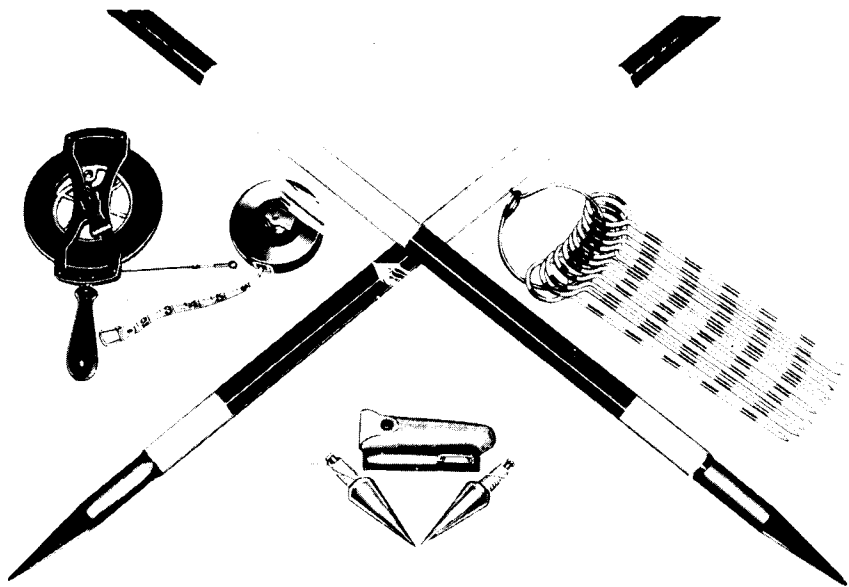
**Anjir.** Anjir (tongkat bendera atau tongkat pelurus) dibuat dari kayu, baja atau aluminium besarnya sekitar 1 in dan panjangnya 6 sampai 10 ft. Penampangnya bulat atau segi enam dicat selang-seling merah dan putih masing-masing 1 ft yang dapat dipakai untuk pengukuran kasar. Pada anjir dari kayu, ujung bawahnya diperkuat dengan logam. Kegunaan utama anjir adalah untuk menandai pelurusan.

**Bandul Unting-unting.** Bandul unting-unting untuk pengukuran dengan pita harus mempunyai berat minimum 8 oz dan berujung runcing. Paling sedikit diperlukan tali-kail sepanjang 6 ft yang bebas simpul. Ujung bandul unting-unting sekarang sudah dibakukan untuk memudahkan penggantian.

Peralatan lengkap pengukuran jarak dengan pita terdiri dari sebuah pita 100-ft, sebuah pita metalik 50-ft, dua buah anjir, 11 buah paku lapangan dalam cincin perangkai, dua bandul unting-unting, sebuah alat sipat datar tangan atau klinometer, krayon berwarna untuk kayu dan buku lapangan. Sebagian dari perlengkapan ini terlihat dalam Gambar 4-3.

**4-10. PEMELIHARAAN PERALATAN PENGUKURAN DENGAN PITA.** Butir-butir di bawah ini berkaitan dengan pemeliharaan pita dan anjir:

1. Mengingat luas penampang rata-rata pita baja juru-ukur dan tegangan yang dibolehan, sebuah tarikan sebesar 100 lb. tak akan merusakkannya. Tetapi bila pita itu terpuntir, tarikan kurang dari 1 lb akan membuatnya putus. Karenanya, selalu harus dicek agar tak ada puntiran atau ikalan sebelum dikenakan tegangan padanya.
2. Jika pita basah, sekalah lebih dulu dengan kain kering, kemudian dengan kain berminyak.



Gambar 4-3. Peralatan mengukur dengan pita untuk sebuah regu lapangan. (Atas kebaikan W & L.E. Gurley).

3. Pita harus disimpan pada kili-kili atau "dilempar" menjadi ikalan melingkar tetapi tidak kedua-duanya.
4. Tiap pita harus mempunyai nomor sendiri-sendiri atau diberi kartu pengenalnya.
5. Pita yang putus dapat disambung dengan kelingan dan/atau memasang pipa penyambung, tetapi pita sambungan tak boleh digunakan pada pekerjaan penting.
6. Anjir dibuat dengan ujung logam dan runcingnya tepat pada sumbu bagian atasnya. Pelurusan ini dapat terganggu jika anjir digunakan secara tidak semestinya.

**4-11. PENGUKURAN DENGAN PITA PADA TANAH DATAR.** Subparagraf berikut ini menjelaskan enam langkah dalam pengukuran dengan pita pada tanah datar.

**4-11.1. MELURUSKAN.** Garis yang diukur harus jelas ujung pangkalnya dengan tanda tertentu, dan di mana perlu diberi tanda di antaranya, untuk menjamin garis pandangan tak terhalang. Anjir cocok sekali untuk maksud ini. Petugas (pita) depan diluruskan oleh petugas belakang (atau dengan teodolit atau teodolit kompas agar lebih teliti). Aba-aba dapat diberikan dengan suara atau isyarat tangan.

**4-11.2. MEMBERI TEGANGAN.** Ujung pita bertanda 100-ft dipegang petugas belakang tepat di titik pertama (belakang), sedangkan petugas depan memegang ujung bertanda nol, diluruskan. Untuk mendapat hasil yang teliti, pita harus lurus dan kedua ujungnya sama tinggi. Tegangan tertentu diberikan, umumnya 10, 12, 15, 20 atau 25 lb. Untuk menjaga agar tarikan tetap (steady), petugas-petugas membalutkan tali kulit di ujung pita ke tangan, lengan melekat ke badan dan menghadap tegak lurus garis. Dalam posisi ini, mereka tidak berada pada garis pandangan. Juga, untuk bertahan, menambah atau mengurangi beban, tinggal memiringkan tubuh saja. Menjaga tegangan tetap dengan tangan merupakan masalah sulit, atau tak mungkin, untuk tarikan sebesar 15 lb atau lebih. Komunikasi

yang baik antara kedua petugas tadi mencegah sentakan pada pita, menghemat waktu dan memperoleh hasil lebih baik.

**4-11.3. PEMAKAIAN BANDUL UNTING-UNTING.** Rumput, semak, penghalang dan permukaan tak rata dapat menyebabkan tidak baik untuk meletakkan pita di tanah. Dalam keadaan demikian, pita dipegang di atas tanah dalam kedudukan horisontal. Masing-masing ujung pita ditandai dengan menempatkan tali bandul unting-unting pada pembagian skala yang bersangkutan dan ditahan dengan ibu jari. Petugas belakang masih terus memegang unting-unting dengan ibu jari pada titik tertentu sedang petugas depan menandai pembacaan panjangnya. Dalam mengukur jarak yang lebih pendek dari panjang pita, petugas depan menggerakkan tali bandul sampai titik tertentu pada pita tepat di atas titik di tanah.

**4-11.4. MENANDAI PANJANG PITA.** Bila pita telah diluruskan dengan benar, tegangan telah diberikan dan petugas belakang sudah di atas titik, maka ada teriakan dari petugas belakang "sudah". Petugas depan kemudian menancapkan paku lapangan tepat pada tanda nol pita dan berteriak "sudah". Jika tanahnya lunak, bandul unting-unting dapat dilepaskan agar ujungnya yang runcing membekas dan pada bekas inilah ditarcapkan dengan hati-hati paku lapangan. Paku harus ditancapkan tegak lurus pita tetapi membentuk sudut  $45^\circ$  dengan tanah. Titik masuknya paku ke tanah harus dicek dengan mengulangi pengukuran hingga kepastian letaknya yang benar dapat dijamin.

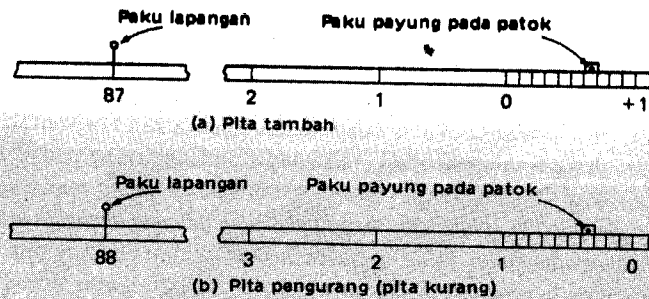
Setelah mengecek pengukuran, petugas depan memberi tanda bahwa titiknya telah beres, petugas belakang mencabut paku lapangan belakang dan mereka maju ke depan. Petugas depan menarik pita, melangkah kira-kira 100 ft dan berhenti. Sesaat sebelum ujung pita 100 ft mencapai paku yang masih tertancap, petugas belakang berteriak "berhenti" untuk memberi tahu petugas depan bahwa mereka telah menempuh 100 ft. Proses seperti tadi dikerjakan lagi sampai panjang sebagian pita diperlukan pada potongan ujung garis.

Jika juru ukur bekerja di kaki lima, bandul diturunkan perlahan-lahan dan bekas ujungnya dapat digores sebagai tanda, dengan paku, ujung unting-unting, paku ditutup botol atau cara-cara lainnya.

**4-11.5. MEMBACA PITA.** Ada dua corak pembagian skala yang umum pada pita-pita juru ukur. Perlu untuk mengenal jenis yang sedang dipakai sebelum memulai kerja untuk menghindari kesalahan 1-ft berulang-ulang.

Jenis pita yang lebih umum, ditera dari 0 sampai 100 foot penuh, dalam satu arah, dan ada tambahan satu foot di sebelah ujung nolnya dan mempunyai pembagian skala dari 0 sampai 1 ft dalam persepuluhan (atau dapat pula perseratusan) dalam arah yang lain, yang menyebabkan panjang pita seluruhnya menjadi 101 ft. Dengan tanda pembagian skala satu foot bulat ditepatkan oleh petugas belakang pada paku lapangan terakhir [seperti tanda 87-ft dalam Gambar 4-4(a)], pembagian skala antara nol dan ujung pita berhadapan dengan titik penutup. Petugas depan membaca panjang tambahan 0,68 ft selewat tanda nol. Untuk menjamin pencatatan yang benar, petugas belakang berteriak "87". Petugas depan mengulangi dan menambahkan pembacaan pecahan foot, berteriak "87,68". Karena pecahan foot telah ditambahkan, maka jenis pita ini dikenal sebagai *pita tambah*.

Jenis pita lain yang terdapat dalam praktek, ditera dari 0 sampai 100 dengan foot bulat, dan foot pertama pada kedua ujungnya (dari 0 ke 1 dan dari 99 ke 100) diberi pembagian skala dalam persepuluhan (dan mungkin perseratusan). Jadi panjang pita seluruhnya adalah 100 ft. Dengan angka foot bulat pembagian skala ditepatkan pada tancapan paku terakhir, bagian pita dengan pembagian skala antara tanda nol dan tanda 1-ft harus berhadapan dengan titik penutup, seperti ditunjukkan pada Gambar 4-4(b), di mana tanda



Gambar 4-4. Pembacaan panjang bagian pita.

88-ft diletakkan pada paku terakhir dan tanda pada ujung akhir garis menunjuk angka pembacaan 0,32 ft dari ujung nol. Panjang bagian pita berarti  $88,00 - 0,32 = 87,68$  ft. Kuantitas 0,32 ft dikatakan *potongan*, dan jenis pita ini disebut *pita kurang* atau *pita potong*. Untuk menjamin pengurangan dari satu foot pada angka pembagian foot bulat yang dipakai, disarankan prosedur lapangan disertai teriakannya seperti berikut: Petugas belakang berseru "88"; petugas depan mengatakan "kurangi nol koma tiga dua"; petugas belakang menjawab "delapan tujuh koma enam delapan"; petugas depan menjawab "ya".

Pengurangan desimal satu foot dapat dihindari jika petugas depan membaca (menghitung) 0,68 ft mundur dari pembagian skala 1-ft. Seruan "88", "0,68", "87,68" dan "ya" dipakai dalam prosedur ini. Satu-satunya pembenaran untuk pita potong, jika ada, nampaknya adalah pemakaiannya dalam "mencari harga plus" (dijelaskan dalam Paragraf 4-14) pada pengukuran jalur lintas. Pita-pita ini dapat mengurangi kemungkinan terjadinya salah hitungan atau kesalahan memakai pita seluruh panjang 101 ft.

Kegiatan rutin yang sama harus dipakai dalam seluruh pengukuran dengan pita oleh suatu regu dan hasilnya diuji dengan segala cara yang memungkinkan. Suatu kelalaian mengurangi 1 ft dalam prosedur seperti yang baru dijelaskan bila memakai pita potong akan merusak kesaksamaan seratus pengukuran lainnya. Atas dasar alasan ini, pita tambah lebih mendekati tanpa-salah (foolproof). Bahaya terbesar timbul bila berubah dari satu cara ke cara lainnya.

Biasanya ujung 100-ft pita kurang diletakkan di muka dalam pengukuran jalur lintas, di mana pemasangan stasiun bersinambungan sepanjang jalur. Beberapa juru-ukur juga lebih suka cara kerja ini dalam pekerjaan lain, pada waktu memasang titik-titik antara atau memakai panjang bagian pita.

**4-11.6. MENCATAT JARAK.** Pekerjaan lapangan yang teliti dapat digagalkan oleh pencatatan yang ceroboh. Setelah panjang bagian pita diperoleh di ujung sebuah garis, petugas belakang menentukan banyaknya kelipatan 100-ft bulat dengan menghitung paku lapangan yang terkumpul dari rangkaian yang semula 11 buah. Untuk jarak yang lebih dari 1000 ft, sebuah catatan ditulis dalam buku lapangan bila petugas belakang telah memegang 10 kali panjang pita dan secara tradisional diserukan "habis". Petugas depan mulai dengan 10 paku dan proses diulang.

Mengukur dengan pita adalah suatu ketrampilan yang sebaiknya diajarkan dan dipelajari dengan peragaan lapangan dan praktek.



Gambar 4-5. Membagi pita.

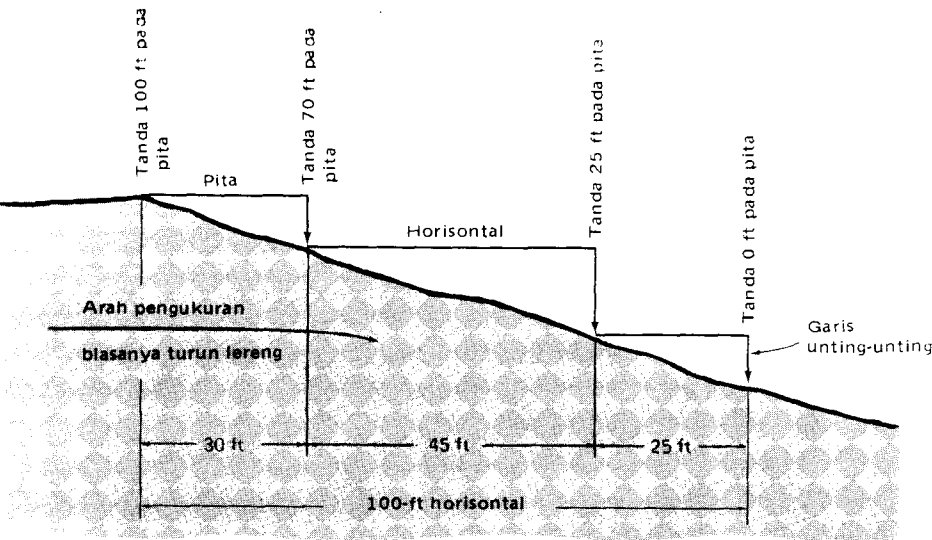
**4-12. PENGUKURAN HORIZONTAL PADA TANAH TAK RATA.** Dalam pengukuran dengan pita di tanah tak rata atau miring, praktek yang baku adalah memegang pita horizontal dan memakai bandul unting-unting pada satu atau kedua ujungnya. Menjaga benang unting-unting agar tenang pada ketinggian di atas dada adalah sulit. Angin akan lebih menambah masalah dan dapat membuat pekerjaan teliti tidak mungkin.

Kalau panjang 100-ft tak dapat direntangkan horizontal tanpa memasang unting-unting lebih tinggi dari bahu, maka diukur jarak-jarak lebih pendek dan dijumlahkan menjadi sepanjang satu pita penuh. Prosedur ini, disebut *membagi pita*, ditunjukkan dalam Gambar 4-5.

Sebagai contoh pelaksanaan ini, misalnya pada waktu ujung pita 100-ft dipegang pada titik belakang, petugas depan hanya dapat maju sejauh 30 ft tanpa harus memasang unting-unting lebih tinggi daripada dada. Karenanya sebuah paku dipasang di bawah tanda 70-ft, seperti dalam Gambar 4-6. Petugas belakang maju ke paku ini dan memegang pembagian skala 70-ft sementara paku lain ditancapkan misalnya pada tanda 25-ft. Kemudian, dengan tanda 25-ft di paku kedua, jarak 100-ft penuh ditandai pada titik pembagian skala nol.

Untuk menghindari puntiran pita, petugas depan menarik sepenuhnya seluruh pita ke depan, yang memang membuang sedikit waktu dalam proses berjalan ke depan dan kemudian kembali. Tetapi panjang bagian-bagian pita dijumlahkan secara mekanis untuk mencapai 100-ft penuh dengan jalan memegangnya pada pembagian skala yang benar. Tak ada hitungan luar kepala yang diperlukan. Petugas belakang mengembalikan rangkaian paku di titik-titik antara kepada petugas depan agar hitungan jelas pada jumlah kelipatan bulat panjang pita dapat dilakukan. Dalam semua kasus pita didatarkan dengan penglihatan mata atau alat sipat datar tangan, dan petugas-petugas tetap ingat adanya kecenderungan





Gambar 4-6. Prosedur untuk membagi peta (bila pita tidak dalam kotak atau pada kili-kili).

amiah untuk menempatkan ujung pita di arah bawah lereng menjadi terlalu rendah. atihan akan memperbaiki kebiasaan memegang pita agar tegak lurus benang bandul unting-unting.

Dalam prosedur lain, hanya bagian panjang 30 ft (lihat Gambar 4-6) ditarik ke depan buah titik ditandai, 45 ft lagi ditarik ke depan, dan akhirnya, setelah menambah harga-ga bagian (yang langkahnya dihilangkan pada cara lainnya tadi), panjang 25-ft mem- ntu harga bulat.

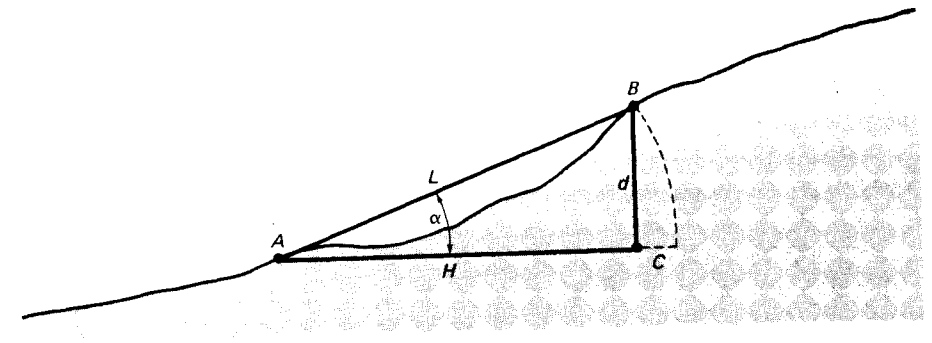
Mengukur turun-lereng lebih disukai daripada menanjak-lereng, karena dalam peng- uran turun-lereng titik belakang ditahan tetap pada obyek tetap sementara ujung lainnya ngan unting-unting. Dalam pengukuran dengan pita menanjak-lereng, titik depan harus etapkan sedangkan ujung lainnya agak terguncang.

**13. PENGUKURAN LERENG.** Dalam mengukur jarak antara dua titik pada lereng ram, mungkin lebih baik meletakkan pita pada lerengnya dan menentukan sudut miring atau beda dalam elevasi  $d$  (Gambar 4-7), daripada melakukan pembagian pita setiap berapa feet. Pita-pita panjang (200 dan 500 ft) lebih menguntungkan untuk pengukuran la lereng (maupun menyeberangi sungai dan jurang), dan dalam beberapa operasi mili-

Dalam Gambar 4-7, jika sudut  $\alpha$  ditentukan, jarak horisontal antara titik-titik  $A$  dan  $B$  at dihitung dari hubungan

$$H = L \cos \alpha \tag{4-3}$$

mana  $H$  adalah jarak horisontal antara titik-titik,  $L$  panjang lereng yang memisahkan ke- nya, dan  $\alpha$  sudut vertikal dari horisontal, biasanya diperoleh dengan sebuah alat sipat ar tangan Abney, klinometer (lihat Gambar 6-16), teodolit kompas, atau teodolit (lihat 6-10)



Gambar 4-7. Pengukuran lereng.

Dalam cara lain mengukur pada lereng, beda elevasi  $d$  antara ujung-ujung pita dikete- mukan dengan sipat datar, dan jarak horisontal dihitung memakai rumus berikut ini yang dijabarkan dari dalil Pythagoras:

$$H = \sqrt{L^2 - d^2} \tag{4-4}$$

Rumus kira-kira lainnya, diperoleh dari suku pertama penderetan binomial dalil Pythagoras, dapat dipakai untuk mereduksi jarak lereng menjadi horisontal:

$$H = L - \frac{d^2}{2L} \text{ (kira-kira)} \tag{4-5}$$

Seperti ditunjukkan dalam Pers. (4-5), suku  $-d^2/2L$  sama dengan  $C$  dalam Gambar 4-7, dan merupakan koreksi yang harus dikurangkan dari panjang jarak miring terukur untuk memperoleh jarak horisontal.

Galat dalam menggunakan rumus kira-kira untuk panjang 100-ft bertambah dengan meningkatnya lereng, tetapi untuk kemiringan sampai 10% hasilnya benar sampai 0,001 ft terdekat. Hasil yang lebih saksama diperoleh untuk lereng yang lebih curam dari 10% dengan memasukkan suku kedua penderetan binomial; jadi,

$$H = L - \left( \frac{d^2}{2L} + \frac{d^4}{8L^3} \right) \tag{4-6}$$

**4-14. PENEMPATAN STASIUN.** Dalam pengukuran jalur lintas, penempatan stasiun di- laksanakan bersinambungan dari sebuah titik awal yang dinyatakan sebagai stasiun 0 + 00. Istilah *stasiun penuh* dipakai pada tiap panjang 100-ft, di mana biasanya dipancangkan patok. Kedudukan sembarang titik lain dinyatakan dengan jumlah jaraknya dari titik awal. Jadi stasiun 7 + 84,9 adalah titik tunggal yang berjarak 784,9 ft dari tanda permulaan, jarak ini diukur sepanjang jalur ukur. Panjang bagian selewat stasiun *penuh*, dalam contoh ini 84,9 ft disebut *plus*.

Pengukuran dengan pita dalam stasiun-stasiun (dengan sebuah pita-kurang) dilaksana- kan paling mudah dengan membawa ujung 100-ft di depan. Karena patok-patok dipancang- kan pada tiap perubahan sudut (*titik sudut*) sebuah pengukuran jalur lintas, maupun pada tiap stasiun penuh, perlu untuk menyusuli tiap stasiun plus, dengan sebuah stasiun penuh. Untuk menentukan stasiun plus sebuah titik sudut, misalnya pada stasiun 7 + 84,9, ujung

pita 100-ft ditarik melewati titik sudut oleh petugas depan, yang kemudian berjalan kembali dan mengambil suatu harga foot bulat pada patok (dalam hal ini, tanda 85-ft). Sementara itu petugas belakang membaca angka persepuluhan foot dari tanda 1-ft (dalam contoh ini 0,9 ft).

*Mencari harga plus* dan menetapkan stasiun penuh berikutnya, 8 + 00, petugas belakang mengambil harga pembagian skala 84-ft pada stasiun plus, dan petugas depan memasang paku pada 0,9 ft mundur dari tanda 100-ft. Perhatikan bahwa semua pengurangan telah dihilangkan dengan menepatkan tanda foot sesuai dengan harga plus pada stasiun itu dan membaca bagian desimal plus dari pembagian skala 100-ft. Cara ini, seperti cara lain yang akan dibicarakan, menunjukkan contoh keuntungan membuat prosedur lapangan dengan sistematis untuk mengurangi kemungkinan kesalahan.

**4-15. SUMBER-SUMBER GALAT PADA PENGUKURAN DENGAN PITA.** Ada tiga sumber dasar galat dalam pengukuran dengan pita.

1. *Galat instrumental.* Sebuah pita dapat berbeda panjang sebenarnya dengan panjang nominalnya karena cacat dalam pembuatan atau perbaikan, atau sebagai akibat puntiran.
2. *Galat alamiah.* Jarak horisontal antara ujung pembagian skala berbeda karena suhu, angin, dan berat pita itu sendiri.
3. *Galat pribadi.* Petugas pita dapat ceroboh dalam memasang paku lapangan, membaca pita atau memperlakukan peralatan.

Jenis-jenis galat yang umum dalam pengukuran dengan pita diperinci menjadi sembilan judul berikut ini:

1. Panjang pita yang tidak benar.
2. Suhu yang bukan baku.
3. Tarikan yang takpangguh (inconsistent).
4. Lenturan.
5. Pelurusan yang tak baik.
6. Pita tak horisontal.
7. Pemasangan untung-unting yang tak benar.
8. Kesalahan menandai.
9. Salah baca atau interpolasi.

Beberapa dari klasifikasi ini menghasilkan galat sistematis; lainnya, galat acak. Klasifikasi-klasifikasi ini dibicarakan dalam paragraf-paragraf berikut.

**4-15-1. PANJANG PITA YANG TIDAK BENAR.** Panjang pita yang tak benar adalah salah satu galat yang paling penting. Sifatnya sistematis. Pabrik pita tidak menjamin pita paku tepat sesuai panjang nominalnya — sebagai contoh 100,00 ft — atau menyediakan titik-titik pembakuan kecuali diminta dan dibayar biaya tambahan khusus. Panjang sebenarnya diperoleh dengan membandingkannya terhadap sebuah pita atau jarak standar.

The National Bureau of Standards di Gaithersburg, Maryland, akan melaksanakan perbandingan semacam itu dengan biaya tertentu dan menyatakan jarak tepat antara tanda ujung pembagian skala dalam kondisi suhu, tegangan, dan cara menopang yang diberikan.

Sebuah pita 100-ft biasanya dibakukan untuk tiap dua rangkaian kondisi — sebagai contoh 68°F, tarikan 12-lb, dengan pita ditopang seluruhnya; dan 68°F, tarikan 20-lb, dengan pita ditopang hanya pada kedua ujung. Sekolah-sekolah dan kantor-kantor pengukuran biasanya mempunyai paling sedikit sebuah pita yang dibakukan yang hanya dipakai untuk membandingkan pita-pita lain yang berubah karena pemakaian.

Galat karena panjang pita yang tak benar terjadi tiap kali pita dipakai. Jika panjang sebenarnya, diketahui dari pembakuan, tidak tepat sama dengan panjang nominalnya 100,00 ft tercatat untuk tiap kali pemakaian panjang pita sepenuhnya, koreksinya dapat ditentukan dan diterapkan dari rumus-rumus:

$$C_1 = \left( \frac{l - l'}{l'} \right) L \quad (4-7)$$

dan

$$\bar{L} = L + C_1 \quad (4-8)$$

di mana  $C_1$  adalah koreksi untuk diterapkan pada panjang garis terukur (tercatat) untuk memperoleh panjang sebenarnya,  $l$  panjang pita sebenarnya,  $l'$  panjang nominal pita,  $L$  panjang garis terukur (tercatat) dan  $\bar{L}$  panjang garis terkoreksi.

#### CONTOH 4-1

Sebuah pita baja 100-ft bila dibandingkan dengan sebuah standar sebenarnya 100,02 ft panjangnya. Berapakah panjang garis terkoreksi yang diukur dengan pita ini menghasilkan 565,75 ft?

Dengan Pers. (4-7):

$$C_1 = \left( \frac{100,02 - 100,00}{100,00} \right) 565,75 = +0,11 \text{ ft}$$

Dengan Pers. (4-8):

$$\bar{L} = 565,75 + 0,11 = 565,86 \text{ ft}$$

Contoh itu menunjukkan bahwa dalam mengukur jarak yang tak diketahui dengan pita yang terlalu panjang, koreksinya harus ditambahkan. Sebaliknya, jika pita terlalu pendek, koreksinya akan minus berakibat pengurangan ( $C_1$  tetap ditambahkan tetapi mempunyai tanda negatif).

Sebuah cara lain membuat koreksi untuk panjang pita yang tak benar adalah menghitung besarnya kelebihan atau kekurangan dari sebuah pita kemudian mengalikannya dengan kelipatan banyaknya panjang itu terpakai pada garisnya. Jadi, dalam Contoh 4-1, pita terlalu panjang 0,02 ft dan jumlah koreksi adalah  $5,6575 \times 0,02 = 0,11$  ft. Harga ini kemudian ditambahkan pada panjang terukur 565,75 untuk memperoleh 565,86 ft.

*Dari sudut pandangan praktis, pengaruh setiap galat akan menyebabkan panjang pita tidak tepat.* Perhatikan bahwa panjang sebenarnya (senyatanya) sama dengan jarak terukur ditambah sebuah koreksi dan tanda aljabar yang benar untuk Pers. (4-8) bersifat "terpasang tetap" ("built in"). Ini juga berlaku untuk koreksi-koreksi yang dibicarakan dalam paragraf-paragraf berikutnya. Tetapi para mahasiswa masih harus mencoba mempertimbangkan apakah suatu kondisi tertentu "membuat" pita terlalu panjang atau terlalu pendek dan menerapkan koreksi yang sesuai.

**4-15.2. SUHU YANG BUKAN BAKU.** Pita-pita baja dibakukan untuk 68°F (20°C) di Amerika Serikat. Suatu suhu yang lebih tinggi atau lebih rendah daripada harga ini menyebabkan perubahan panjang yang harus diperhitungkan.

Koefisien muai dan susut baja karena panas yang dipakai dalam pita biasa adalah kira-kira 0,000065 per satuan panjang per derajat Fahrenheit, dan 0,000116 per satuan

yang per derajat Celsius. Untuk sembarang pita, koreksi untuk suhu dapat dihitung dan diterapkan memakai rumus-rumus:

$$C_t = k(T_1 - T)L \quad (4-9)$$

$$\bar{L} = L + C_t \quad (4-10)$$

di mana  $C_t$  adalah koreksi panjang garis karena suhu tak baku,  $k$  koefisien muai dan susut pita karena panas,  $T_1$  suhu pita di saat pengukuran,  $T$  suhu pita di saat panjang baku,  $L$  panjang garis terukur (tercatat), dan  $\bar{L}$  panjang garis terkoreksi.

Galat karena perubahan suhu praktis dapat dihilangkan dengan (1) mengukur suhu dan memberi koreksi menurut Pers. (4-9) dan (4-10), atau (2) memakai sebuah pita *Invar* terbuat dari campuran logam baja-nikel. Pengaruh suhu pada panjang pita semacam itu dapat diabaikan untuk kebanyakan pekerjaan praktis. Pita *Lo-var* dengan koefisien kira-kira  $\frac{1}{3}$  koefisien besi juga dapat dipakai untuk mengurangi pengaruh-pengaruh suhu. Pita-pita *Invar* dan *Lo-var* itu mudah putus dan lebih mudah hilang teraannya daripada pita baja, khususnya bila salah perlakuan.

#### CONTOH 4-2

Panjang sebuah garis diukur tercatat pada  $30,5^\circ\text{F}$  dengan pita baja yang panjangnya 100,00 ft pada  $68^\circ\text{F}$  adalah 872,54 ft. Berapa panjang garis terkoreksi?

Dengan Pers. (4-9):

$$C_t = 0,0000065(30,5 - 68)872,54 = -0,21 \text{ ft}$$

Dengan Pers. (4-10):

$$\bar{L} = 872,54 - 0,21 = 872,33 \text{ ft}$$

Galat karena perubahan suhu adalah sistematis dan mempunyai tanda yang sama jika suhu selalu di atas  $68^\circ\text{F}$  atau selalu di bawah suhu baku. Jika suhu di atas  $68^\circ\text{F}$  selama sebagian waktu mengukur sebuah garis, dan di bawah  $68^\circ\text{F}$  selama waktu sisanya, galat-galatnya cenderung saling mengimbangi sebagian satu sama lain, tetapi koreksi masih harus dihitung dan diterapkan.

Pengaruh-pengaruh suhu dalam pengukuran dengan pita itu sulit untuk diperkirakan. Suhu udara yang terbaca dari termometer dapat amat berbeda dengan yang terbaca dari termometer yang menempel pada pita. Sinar matahari, teduhan, angin, penguapan dari pita basah, dan kondisi-kondisi lain menyebabkan suhu pita tidak pasti. Percobaan-percobaan lapangan membuktikan bahwa suhu di tanah atau dalam rumput dapat menjadi 10 atau 5" lebih tinggi atau lebih rendah daripada suhu pada tempat setinggi bahu karena adanya lapisan cuaca" 6-in (microclimate) di atas tanah. Karena beda suhu sebesar  $15^\circ\text{F}$  mengakibatkan perubahan 0,01 ft per panjang pita, jelaslah pentingnya perbedaan-perbedaan suhu yang besar.

Pengukuran-pengukuran dalam pabrik dengan timbangan baja, dan alat-alat serupa dipengaruhi oleh suhu. Kesaksamaan yang diperlukan dalam pembuatan pesawat terbang esau atau kapal dapat hilang karena sebab ini saja.

**4.16.3. TARIKAN YANG TAK PANGGAH.** Jika sebuah pita baja ditarik dengan sebuah tegangan yang lebih besar daripada baku, pita itu memanjang secara elastik. Modulus elastisitas suatu bahan adalah perbandingan antara satuan tegangan dengan satuan pe-

manjangan, atau

$$E = \frac{\text{satuan tegangan}}{\text{permanjangan per satuan panjang}} = \frac{P/A}{e/L}$$

Pemanjangan  $e$  adalah koreksi untuk tarikan dan dihitung serta diterapkan memakai rumus-rumus sebagai berikut:

$$C_p = (P_1 - P) \frac{L}{AE} \quad (4-11)$$

dan

$$\bar{L} = L + C_p \quad (4-12)$$

di mana  $C_p$  adalah seluruh pemanjangan dalam panjang pita karena tarikan, dalam feet;  $P_1$  tarikan baku untuk pita, dalam pounds;  $A$  luas penampang, dalam inches persegi;  $E$  modulus elastisitas baja, dalam pounds tiap inch persegi;  $L$  panjang garis terukur (tercatat); dan  $\bar{L}$  panjang terkoreksi. Harga rata-rata  $E$  adalah 29.000.000 lb/in<sup>2</sup> untuk jenis baja yang dipakai dalam pita. Luas penampang pita baja dapat diperoleh dari pabrik, dengan mengukur lebar dan tebalnya memakai jangka ukur, atau dengan membagi berat seluruh pita oleh panjangnya (dalam feet) kali berat satuan baja (490 lb/ft<sup>3</sup>), dan dikalikan 144 untuk merubah feet persegi menjadi inches persegi.

Persamaan-persamaan (4-11) dan (4-12) juga berlaku bila dipakai sistem metrik. Dalam hal ini, untuk menghasilkan koreksi  $C_p$  dalam meter, satuan-satuan yang sesuai adalah  $P$  dan  $P_1$  dalam kilogram,  $L$  dan  $\bar{L}$  dalam meter,  $A$  dalam sentimeter persegi, dan  $E$  dalam kilogram per sentimeter persegi. Sebuah harga  $E$  rata-rata untuk baja dalam satuan-satuan ini kira-kira adalah 2.000.000 kg/cm<sup>2</sup>.

Galat akibat tegangan tak benar dapat dihilangkan dengan (1) memakai timbangan pegas untuk mengukur dan menjaga tarikan baku, atau (2) memberikan tarikan yang tak baku dan memberi koreksi-koreksi untuk penyimpangan dari baku menurut Pers. (4-11) dan (4-12).

#### CONTOH 4-3

Sebuah pita baja yang panjangnya 100,000 ft di bawah tarikan 12.0 lb jika ditopang seluruhnya, dan mempunyai luas penampang 0,005 in<sup>2</sup>, dipakai yang ditopang secara penuh dengan tarikan 20-lb untuk mengukur sebuah garis yang panjangnya tercatat 686,79 ft. Berapakah panjang garis terkoreksi?

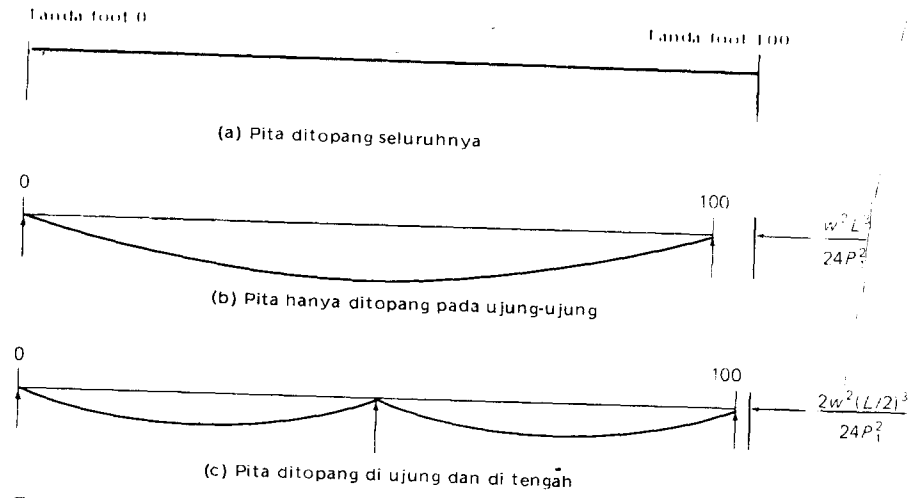
Dengan Pers. (4-11):

$$C_p = \frac{(20 - 12)686,79}{0,005(29.000.000)} = +0,038 \text{ ft}$$

Dengan Pers. (4-12):

$$\bar{L} = 686,79 + 0,038 = 686,83 \text{ ft}$$

Galat karena tarikan tak benar dapat bersifat sistematis atau acak. Tarikan yang sekalipun diberikan oleh petugas berpengalaman kadang-kadang lebih besar atau kurang dari harga yang diinginkan. Seorang yang tidak berpengalaman, terutama yang belum pernah memakai timbangan pegas pada pita, mungkin sekali akan panggah memberikan tegangan yang lebih kecil daripada tegangan baku.



Gambar 4-8. Pengaruh lenturan.

**4-15.4. LENTURAN.** Sebuah pita baja yang tak ditopang seluruh panjangnya, melentur membentuk sebuah likurantai (catenary), contohnya adalah kabel jembatan gantung. Lenturan memendekkan jarak (tali busur) horisontal antara pembagian skala ujung, karena panjang pita tetap sama (Gambar 4-8). Lenturan dapat dikurangi (dengan tegangan lebih besar) tetapi tak dapat dihilangkan kecuali pita ditopang seluruh panjangnya.

Lenturan sebenarnya dari sebuah pita (misalnya 6 in di bawah horisontal) tidaklah penting. Faktor gawat adalah panjang tali busur yang berkurang antara ujung pembagian skala.

Untuk belokan kecil  $v$  di tengah-tengah panjang pita, persamaan sebuah parabola dapat dipakai untuk menyelidiki pengaruh lenturan. Jika  $C_s$  adalah koreksi untuk lenturan (selisih antara panjang kurve dan garis lurus dari satu penopang ke penopang berikutnya), dalam feet;  $L_s$  panjang pita tak ditopang, dalam feet;  $d$  jarak tali busur antara penopang-penopang, dalam feet;  $w$  berat pita per foot panjang, dalam pounds; kedua  $W$  dan  $wL_s$  adalah berat pita antara penopang-penopang, dalam pounds; dan  $P_1$  tarikan pada pita, dalam pounds; kemudian

$$L_s - d = \frac{8v^2}{3d}$$

$$P_1 v = \frac{wd^2}{8}$$

$$C_s = -\frac{L_s}{24} \left( \frac{W}{P_1} \right)^2 = -\frac{W^2 L_s}{24 P_1^2} = -\frac{w^2 L_s^3}{24 P_1^2} \quad (4-13)$$

Sebelum menulis sebuah suku  $\cos^2 \alpha$  (di mana  $\alpha$  adalah sudut vertikal) harus dimasukkan ke dalam Pers. (4-13). Tetapi praktis tak ada artinya kecuali untuk lereng curam dan

pita yang panjang. Persamaan (4-13) memberikan koreksi lenturan, yang selalu negatif, untuk tiap pengukuran yang dilakukan dengan pita tanpa penopang. Satuan sistem Inggris untuk Pers. (4-13) adalah pounds untuk  $W$ ,  $w$  dan  $P_1$  dan feet untuk  $L_s$ . Dalam sistem metrik, kilogram dipakai untuk  $W$ ,  $w$  dan  $P_1$  dan meter untuk  $L_s$ . Setelah diukur sebuah garis dalam beberapa potongan, dan setelah dihitung koreksi lenturan untuk tiap potongan, panjang terkoreksi dihitung dengan

$$\bar{L} = L + \sum C_s \quad (4-14)$$

di mana  $L$  adalah panjang garis tercatat,  $\sum C_s$  jumlah koreksi lenturan individual, dan  $\bar{L}$  panjang garis terkoreksi.

Pengaruh galat karena lenturan dapat dihilangkan dengan (1) menopang pita pada interval-interval pendek atau seluruhnya, atau (2) menghitung koreksi lenturan untuk tiap potongan tak ditopang dan menerapkan jumlahnya pada jarak tercatat menurut Pers. (4-13) dan (4-14).

**CONTOH 4-4**

Sebuah pita baja panjang 100,000 ft beratnya 1,50 lb (0,015 lb/ft) dan dipakai hanya ditopang kedua ujungnya seperti dalam Gambar 4-8(b). Sebuah garis dalam tiga potongan diukur dengan memakai tarikan 12-lb dan tercatat 250.52 ft. Berapakah panjang garis terkoreksi untuk lenturan?

Dengan Pers. (4-13), untuk tiap potongan 100-ft

$$C_s = \frac{-(1,50)^2(100)}{24(12)^2} = -0,065 \text{ ft}$$

dan untuk potongan 50,52 ft

$$C_s = \frac{-(0,015)^2(50,52)^3}{24(12)^2} = -0,008 \text{ ft}$$

Jarak terkoreksi adalah

$$\bar{L} = 250,52 - 2(0,065) - 0,008 = 250,38 \text{ ft}$$

Perhatikan dalam contoh ini berkurangnya koreksi lenturan yang dramatis sampai praktis dapat diabaikan untuk panjang pita 50,52 ft. Jadi, pengaruh lenturan dapat hampir dihilangkan dengan menopang pita di titik tengah jika pita dipakai seluruhnya.

Seperti telah dinyatakan sebelumnya, koreksi-koreksi lenturan selalu negatif, sedangkan koreksi-koreksi untuk tarikan adalah positif bila tegangan yang diberikan melebihi tarikan baku. Faktor-faktor ini dapat diatur sehingga saling mengimbangi. Dengan mengatur Pers. (4-11) sama dengan (4-14) dan menyusun kembali, rumus yang berikut, yang dapat diselesaikan dengan percobaan, diperoleh untuk sebuah tarikan yang menghasilkan koreksi-koreksi imbang:

$$P_1 = \frac{0,2W\sqrt{AE}}{\sqrt{P_1 - P}} \quad (4-15)$$

di mana  $P_1$  adalah jumlah tarikan pada pita, dalam pounds atau kilogram;  $P$  tarikan untuk pita yang dibakukan (ditopang seluruhnya), dalam pounds atau kilogram,  $W$  berat pita

dalam pounds atau kilogram;  $A$  luas penampang pita, dalam inci persegi atau sentimeter persegi; dan  $E$  modulus elastisitas baja, dalam pounds per inch persegi atau kilogram per sentimeter persegi.

Tarikan yang diperlukan untuk mengimbangi lenturan untuk pita yang mempunyai tegangan baku 12,0 lb, luas penampang 0,0050 in<sup>2</sup> dan beratnya 1,7 lb ditemukan dengan percobaan yaitu 30,3 lb. Jadi,

$$30,3 = \frac{0,2(1,7)\sqrt{0,0050 \times 29.000.000}}{\sqrt{30,3 - 12,0}}$$

Tarikan yang diperlukan untuk membuat jarak antara ujung pembagian skala tepat sama dengan panjang nominal (misalnya 100.000 ft atau 300.000 m) dengan pita tak tertopang disebut *tegangan normal*. Tegangan normal tidak biasa dipakai karena mungkin terlalu besar untuk dipakai dengan mudah dan berubah dengan variasi suhu. Teoritis sebuah tegangan yang juga mengimbangi suhu dapat dihitung, tetapi dalam cuaca dingin sering menghasilkan tarikan yang tidak praktis.

**4-15.5. PELURUSAN YANG TAK BAIK.** Jika satu ujung pita menyimpang dari garis atau pita terganggu suatu penghalang, terjadilah galat-sistematik. Koreksi untuk penyimpangan dari pelurusan,  $C_a$ , dapat dihitung dari Pers. (4-4) sampai dengan (4-6) dengan  $d$  dan  $L$  keduanya di bidang horisontal; yaitu,  $d$  adalah jarak penyimpangan pita dan  $L$  panjang pita yang bersangkutan.

Bila paku yang menandai ujung panjang 100-ft menyimpang 1,4 ft dari arah pelurusan, dengan Pers. (4-5) galat dalam pengukuran itu adalah  $1,4^2/200 = -0,01$  ft. Galat serupa ada dalam panjang pita berikutnya jika paku berikutnya terletak benar pada garisnya.

Jika titik tengah pita 100-ft terganggu semak dan menyimpang dari garisnya 1,0 ft, galat yang dihasilkan dalam dua bagian panjang 50-ft adalah  $2(1,0^2/100) = -0,02$  ft.

Galat yang terjadi karena buruknya pelurusan adalah sistematik pengaruhnya dan selalu mengakibatkan panjang terukur lebih besar daripada panjang sebenarnya. Galat-galat ini dapat dikurangi (tetapi tak pernah dapat dihilangkan) dengan hati-hati menempatkan paku, meluruskan dengan benar, dan menjaga agar pita lurus. Menyentak pita pada waktu memberikan tegangan akan meluruskannya. Latihan lapangan sekedarnya dapat membuat petugas belakang mampu mengatur petugas depan (yang membidik sepanjang tanda-tanda pada garis belakang) tetap benar arahnya dengan penyimpangan jauh kurang dari satu foot.

**4-15.6. PITA TAK HORISONTAL.** Galat yang disebabkan oleh pita miring dalam bidang vertikal sama dengan galat akibat penyimpangan di bidang horisontal. Panjang terukur dapat juga ditentukan dengan Pers. (4-4) sampai dengan (4-6), di mana  $d$  adalah selisih elevasi antara ujung-ujung pita dan  $L$  panjang pita.

Galat karena pita tak horisontal adalah sistematik dan selalu menyebabkan panjang terukur lebih besar daripada panjang sebenarnya. Galat-galat ini diperkecil dengan memakai alat sipat datar tangan untuk mengatur elevasi ujung-ujung pita, atau dengan melakukan sipat datar memanjang (lihat Paragraf 7-4) pada titik-titik pengukuran panjang. Galat-galat tak dapat seluruhnya dihilangkan, karena pita pasti akan miring pada beberapa pengukuran walau bagaimanapun baiknya usaha-usaha petugas.

**4-15.7. PEMASANGAN UNTING-UNTING YANG TAK BENAR.** Latihan dan syaraf yang teguh perlu untuk memegang bandul unting-unting cukup lama untuk menandai se-

buah titik atau untuk bidikan instrumen. Bandul unting-unting bergerak putar, walaupun dalam cuaca tenang. Pada lereng yang sangat landai dan pada permukaan halus seperti kaki lima, petugas yang tak berpengalaman memperoleh hasil yang lebih baik dengan meletakkan pita di tanah dan tidak memasang unting-unting. Petugas yang berpengalaman memasang unting-unting dalam kebanyakan pengukuran.

Galat karena pemasangan unting-unting-tak-benar bersifat acak, karena dapat menyebabkan jarak terlalu panjang atau terlalu pendek. Tetapi galat akan menjadi sistematik bila pengukuran langsung menentang angin atau searah dengan angin kuat.

Dengan menyentuh bandul di atas tanah atau menenangkannya dengan satu kaki, mengurangi goyongannya. Latihan memasang unting-unting akan mengurangi galat.

**4-15.8. KESALAHAN MENANDAI.** Paku lapangan harus dipasang tegak-lurus garis yang diukur tetapi miring 45° terhadap tanah. Kedudukan ini memudahkan pemusatan unting-unting pada titik di mana paku masuk ke tanah tanpa gangguan dari sosoknya.

Semak, batu, dan akar membelokkan paku lapangan dan dapat meningkatkan pengaruh penandaan yang tak benar. Galat-galat dari sumber ini cenderung menjadi acak dan dibuat kecil dengan hati-hati menentukan letak titik, kemudian mengeceknya.

**4-15.9. SALAH BACA ATAU INTERPOLASI.** Proses pembacaan sampai perseratusan pada pita yang pembagian skalanya hanya sampai persepuluhan disebut *interpolasi*. Proses ini dengan mudah dipelajari dan dapat diterapkan dalam banyak bidang dalam pengukuran tanah dan rekayasa.

Galat karena interpolasi adalah acak sepanjang suatu garis. Galat ini dapat dikurangi dengan hati-hati dalam membaca, dengan memakai sebuah pembagian skala kecil untuk menentukan angka terakhir, dan dengan mengoreksi kecenderungan ke arah memilih harga tertentu. Membuat daftar berapa kali tiap angka dari 0 sampai dengan 9 diinterpolasi dalam pekerjaan yang dicakup periode beberapa hari dan menggambarkan hasilnya menjadi grafik kutub, akan mengungkapkan ada tidaknya kegemaran memakai beberapa angka.

**4-15.10. RINGKASAN PENGARUH DARI GALAT-GALAT DALAM PENGUKURAN DENGAN PITA.** Suatu galat sebesar 0,01 ft adalah penting dalam banyak pengukuran yang dilaksanakan pada pengukuran tanah. Tabel 4-1 memuat sembilan jenis galat: mengklasifikasikannya menjadi instrumental (I), alamiah (A), atau pribadi (P), dan sistematik (S) atau acak (A); dan memberikan penyimpangan dari normal yang menghasilkan galat 0,01 ft dalam panjang 100-ft. Ringkasan membuktikan pengalaman praktek bahwa panjang garis tercatat lebih sering terlalu panjang daripada terlalu pendek.

Metode yang banyak dipakai untuk mengurangi galat-galat dalam pekerjaan saksama adalah melaksanakan beberapa pengukuran pada sebuah garis dengan berbagai macam pita, pada waktu yang berbeda sepanjang hari dan dari arah berbeda. Suatu ketelitian  $\frac{1}{10.000}$  dapat diperoleh dengan memperhatikan baik-baik detail-detail.

**4-16. MASALAH-MASALAH PITA UKUR** Semua masalah pita ukur berkembang dari kenyataan bahwa pita nominal 100-ft adalah lebih panjang atau lebih pendek dari 100,00 ft karena pembuatan, perubahan suhu, tegangan yang diberikan, atau suatu alasan lain. Hanya ada empat versi masalah. Sebuah garis dapat *diukur* antara dua titik tertentu, atau sebuah jarak *diukurkan* dari sebuah titik tertentu dengan pita yang terlalu panjang atau terlalu



TABEL 4-1. JENIS-JENIS GALAT.

JENIS DAN KELAS GALAT	SISTEMATIK (S) ATAU ACAK (A)		PENYIMPANGAN DARI NORMAL YANG MENGHASILKAN GALAT 0,01-ft UNTUK PITA 100-ft.
Panjang pita	I	S	0,01 ft
Suhu	A	S atau A	15°F
Tarikan	P	S atau A	15 lb
Lenturan	A, P		0,6 ft di tengah pita 100-ft dibakukan dengan topangan seluruhnya
Pelurusan	P	S	1,4 ft pada satu ujung pita 100-ft atau 0,7 ft di tengah-tengah
Pita tak datar	P	S	1,4 ft
Pemasangan unting-unting	P	A	0,01 ft
Penandaan	P	A	0,01 ft
Interpolasi	P	A	0,01 ft

pendek. Pemecahan sebuah masalah tertentu selalu disederhanakan dan dibuktikan dengan menggambar sebuah sketsa.

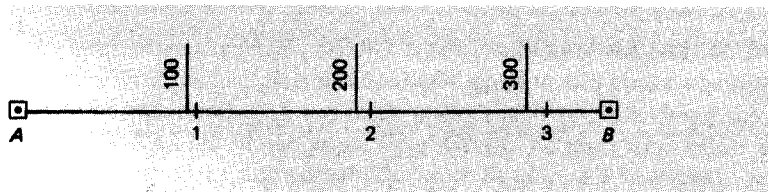
Anggaplah bahwa jarak tertentu  $AB$  dalam Gambar 4-9 diukur dengan pita yang kemudian ternyata 100,03 ft panjangnya. Kemudian (keadaan dalam angka sangat diperbesar) panjang pita pertama akan memanjang sampai titik 1; berikutnya sampai titik 2; dan yang ketiga sampai di titik 3. Karena jarak sisa dari 3 ke  $B$  kurang dari pada jarak yang benar dari  $A$  ke 300-ft ke  $B$ , panjang  $AB$  *tercatat* adalah terlalu kecil daripada jarak terkoreksi karenanya harus ditambah dengan koreksi. Jika pita terlalu pendek, jarak *tercatat* akan menjadi terlalu besar dan koreksinya harus dikurangkan.

Dalam mengukur sebuah jarak yang diperlukan dari satu titik tertentu, terjadi hal yang sebaliknya. Koreksi harus dikurangkan dari panjang yang diinginkan untuk pita yang lebih panjang dari harga nominalnya dan ditambahkan untuk pita yang lebih pendek daripada panjang yang diperkirakan. Sebuah sketsa sederhana seperti Gambar 4-9 membuat jelas apakah koreksi harus ditambahkan atau dikurangkan untuk salah satu dari empat kasus tersebut.

**4-17. KOREKSI-KOREKSI GABUNGAN DALAM MASALAH PENGUKURAN DENGAN PITA.**

Dalam pengukuran dengan pita pada jarak linier, beberapa jenis galat sistematik sering terjadi secara serentak. Sebuah contoh adalah pengukuran saksama dengan pita memakai *penahan rantai* (kaki tiga) untuk menahan ujung-ujung pita (biasanya pada elevasi yang berbeda). Mungkin pita tidak tepat 100,000 ft panjangnya, dan tentu saja pengukuran dilaksanakan dalam suhu lingkungan yang tidak baku. Untuk mudahnya, sebuah tarikan yang seragam dapat diberikan yang bukan baku, dan karena pita hanya ditahan di kedua

Gambar 4-9. Mengukur antara titik-titik tertentu, pita terlalu panjang.



ujungnya, terjadi galat lenturan. Pada tanah tak rata, bagian atas penahan pita tak akan terletak pada elevasi yang sama, tetapi beda elevasi ini dapat diukur. Dalam keadaan ini lima kondisi akan diberi koreksi: (1) panjang pita, (2) suhu, (3) tarikan, (4) lenturan, dan (5) lereng.

**CONTOH 4-5**

Sebuah pita baja dibakukan pada 68°F dan ditopang seluruh panjangnya di bawah tegangan 20 lb ditemukan panjangnya 100,012 ft. Luas penampang pita adalah 0,0078 in<sup>2</sup> dan beratnya 0,0266 lb/ft. Pita ini dipakai dengan hanya ditopang di kedua ujungnya diberi tegangan tetap 15 lb untuk mengukur sebuah garis dari  $A$  ke  $B$  dalam sembilan potongan. Data yang diberikan dalam tabel berikut adalah catatan hasil ukuran. Berikan koreksi-koreksi untuk panjang pita, suhu, tarikan, lenturan dan pita tak horisontal untuk menentukan panjang pita yang benar.

POTONGAN (BAGIAN)	JARAK TERUKUR (TERCATAT) (ft)	SUHU (°F)	BEDA ELEVASI (ft)	KOREKSI KEMIRINGAN (ft)
A-1	100,000	58	1,26	0,008
1-2	100,000	58	0,98	0,005
2-3	100,000	59	0,60	0,002
3-4	100,000	59	0,81	0,003
4-5	100,000	59	1,22	0,007
5-6	100,000	60	2,06	0,021
6-7	100,000	60	2,54	0,032
7-8	100,000	60	2,68	0,036
8-B	70,564	61	1,87	0,025
<b>Jumlah = 870,564</b>				<b>0,139</b>

**PENYELESAIAN**

a. Koreksi panjang pita dengan Pers. (4-7) adalah

$$C_l = \left( \frac{100,012 - 100,000}{100,000} \right) 870,564 = +0,104 \text{ ft}$$

b. Koreksi-koreksi suhu dengan Pers. (4-9) adalah (Catatan: koreksi-koreksi terpisah diperlukan untuk jarak yang diukur pada masing-masing suhu yang berbeda):

$$C_{t_1} = 0,0000065(58 - 68)200,000 = -0,013 \text{ ft}$$

$$C_{t_2} = 0,0000065(59 - 68)300,000 = -0,018 \text{ ft}$$

$$C_{t_3} = 0,0000065(60 - 68)300,000 = -0,016 \text{ ft}$$

$$C_{t_4} = 0,0000065(61 - 68)70,564 = -0,003 \text{ ft}$$

$$\sum C_t = -0,050 \text{ ft}$$

c. Koreksi tarikan dengan Pers. (4-11) adalah

$$C_p = \frac{(15 - 20)870,564}{0,0078(29.000.000)} = -0,019 \text{ ft}$$

- d. Koreksi-koreksi lenturan adalah (Catatan: koreksi-koreksi terpisah diperlukan untuk dua macam panjang potongan tertopang yang berbeda):

$$C_{s1} = 8 \left[ \frac{(0,0266)^2 (100,000)^3}{24(15)^2} \right] = 1,048 \text{ ft}$$

$$C_{s2} = - \left[ \frac{(0,0266)^2 (70,564)^3}{24(15)^2} \right] = -0,046 \text{ ft}$$

$$\sum C_s = -1,094 \text{ ft}$$

- e. Koreksi-koreksi untuk lereng telah dihitung memakai suku koreksi  $-d^2/2L$  dari Pers. (4-5) dan masuk dalam kolom sebelah kanan tabel. Untuk menjelaskan, isi tabel pertama, diperoleh sebagai

$$C = \frac{(1,26)^2}{2(100,000)} = -0,008 \text{ ft}$$

Dari tabel, jumlah koreksi-koreksi lereng adalah  $-0,139 \text{ ft}$ .

- f. Akhirnya, jarak terkoreksi AB diperoleh dengan menambahkan seluruh koreksi pada jarak terukur, atau

$$\begin{aligned} AB &= 870,564 + 0,104 - 0,050 - 0,019 - 1,094 - 0,139 \\ &= 869,366 \text{ ft} \end{aligned}$$

Data lapangan dan koreksi-koreksi untuk contoh ini telah dilaksanakan sampai seperibuan foot. Pengukuran biasa dengan pita tidak beralasan untuk dikerjakan sampai ke esaksamaan ini, namun prosedurnya sama.

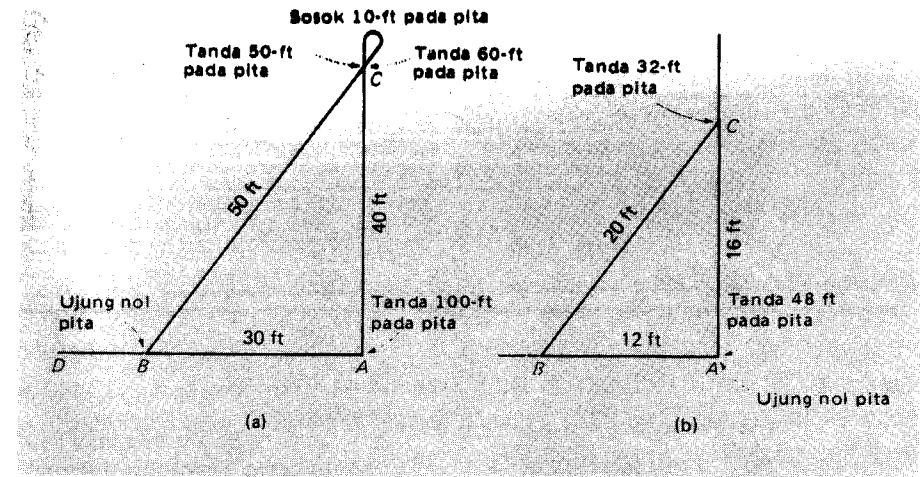
**4-18. PELAKSANAAN LAPANGAN KHUSUS YANG MEMAKAI PITA.** Banyak masalah yang timbul di lapangan dapat dipecahkan dengan pengukuran yang memakai pita. Berikut ini ada beberapa contoh.

**4-18.1. MENGUKURKAN SUDUT SIKU-SIKU DENGAN PITA.** Sebuah sudut siku-siku dengan mudah dapat diukurkan di lapangan dengan metode 3-4-5. Dalam Gambar 4-10(a), untuk memasang garis tegak lurus AD di A, ukurkan 30 ft sepanjang AD dan tandai dengan B. Kemudian dengan tanda nol pita di B dan tanda 100-ft di A, bentuklah sosok dengan pita dengan menempelkan tanda pembagian 50 dan 60 ft dan tariklah tegang tiap pita untuk menentukan letak titik C. Satu orang dapat melaksanakan pekerjaan ini sendiri dengan jalan mengikat tali pita pada patok selewat A dan B.

Jika dipakai pita metalik 50-ft, dalam Gambar 4-10(b) ditunjukkan prosedur yang ditunjukkan. Tanda nol dipegang di A, tanda 12-ft di B, tanda 32-ft di C, dan tanda 100-ft di A. Jarak-jarak sembarang lainnya dalam perbandingan 3, 4 dan 5 dapat dipakai.

**4-18.2. MENGUKUR SUDUT DENGAN PITA YANG MEMAKAI METODE TALI**

**UMUM.** Jika semua sisi segitiga diketahui, sudut-sudutnya dapat diukur. Untuk menemukan sudut A pada Gambar 4-11, ukurlah jarak tertentu sembarang sepanjang AM dan AN, ukurlah AB dan AC. Juga ukurlah BC. Kemudian



Gambar 4-10. Mengukurkan sudut siku-siku dengan pita.

$$\sin \frac{1}{2}A = \sqrt{\frac{(s-b)(s-c)}{bc}} \quad (4-16a)$$

atau

$$\cos A = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc} \quad (4-16b)$$

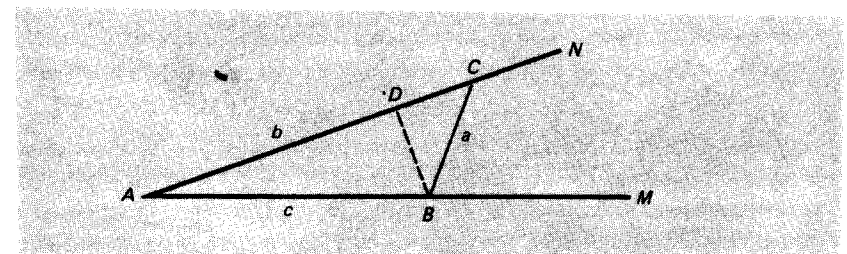
di mana  $a$ ,  $b$  dan  $c$  adalah sisi-sisi segitiga ABC dan  $s = \frac{1}{2}(a + b + c)$

Untuk  $b = 30,0 \text{ ft}$ ,  $c = 25,0 \text{ ft}$ , dan  $a = 12,5 \text{ ft}$ , sudut A dihitung sama dengan  $24^\circ 09'$ . Segitiga samakaki dapat dibentuk dengan membuat AB sama dengan AC. Kemudian

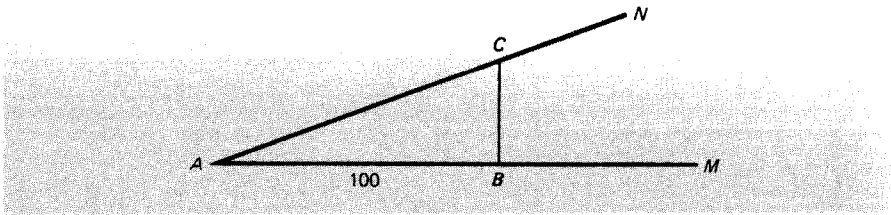
$$\sin \frac{1}{2}A = \frac{a}{2c} \quad (4-17)$$

Dengan memilih  $AB = AC = 50 \text{ ft}$  hitungan menjadi sederhana, Jadi jika  $AB = AC = 50,0 \text{ ft}$  dan  $BC$  terukur  $20,90 \text{ ft}$ ,  $\sin \frac{1}{2}A = 0,2090$  dan sudut  $A = 24^\circ 08'$ .

**4-18.3. MENGUKUR SUDUT DENGAN PITA YANG MEMAKAI METODE TANGEN.** Jika AD dan garis tinggi BD diukur (lihat Gambar 4-11)  $\text{tg } A = BD/AD$ . Dengan membuat AD sebesar 50 atau 100 ft, tangen tadi dapat dihitung dengan mudah. Untuk menggambarkan,



Gambar 4-11. Mengukur sudut dengan pita.



Gambar 4-12. Mengukurkan sudut dengan metode tangen (tg).

menggambarkan; jika  $AD = 100,00$  ft dan  $PD$  terukur  $44,80$  ft, maka  $\text{tg } A = 0,4480$  dan sudut  $A = 24^{\circ}08'$ . Prosedur ini tidak semudah metode tali busur karena memerlukan penentuan garis tinggi di  $D$ .

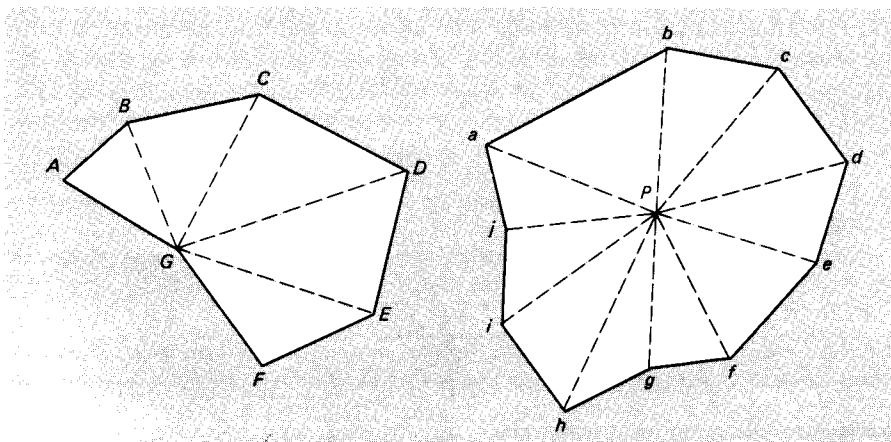
**4-18.4. MENGUKURKAN SUDUT.** Sebuah sudut dapat diukurkan di lapangan dengan kebalikan metode tangen yang baru saja dibicarakan. Sepanjang garis awal sudut, diukurkan satuan jarak sebesar 10, 20, 50 atau 100 ft, seperti  $AB$  dalam Gambar 4-12. Garis tinggi  $BC$  dipasang dan jika  $AB = 100$ , panjangnya dibuat sama dengan  $100 \times \text{tg}$  sudut yang dicari. Titik-titik  $A$  dan  $C$  dihubungkan untuk memperoleh sudut yang diinginkan di  $A$ . Cara ini dipakai baik oleh juru gambar maupun juru ukur di lapangan.

**4-18.5 PENGUKURAN YANG MEMAKAI PITA DI LAPANGAN.** Sebidang tanah dapat diukur lengkap dengan pengukuran yang memakai pita. Sebenarnya, ini adalah metode satu-satunya yang ada sebelum dibuatnya instrumen untuk mengukur sudut. Sekarang peralatan EDM menyebabkan metode ini berguna lagi.

Prosedurnya terdiri atas pembagian areal tanah menjadi serangkaian segitiga dan pengukuran sisi masing-masing. Untuk areal sempit, sebuah titik sudut lapangan dipakai sebagai

Gambar 4-13. Pengukuran lapangan dengan pita.

Gambar 4-14. Pengukuran lapangan dengan titik pusat.



titik pusat dan diukur jarak-jarak ke semua titik sudut lainnya dan diukur juga panjang-panjang sisi keliling. Dalam Gambar 4-13 jika titik sudut  $G$  dipakai sebagai titik acuan, jarak-jarak  $GA, AB, BC, CD, DE, EF$  dan  $FG$  sepanjang keliling areal, dan panjang-panjang diagonal  $GB, GC, GD$  dan  $GE$  menentukan lokasi semua titik sudut di lapangan.

Untuk areal-areal yang lebih besar, lebih baik ditetapkan sebuah titik pusat, misalnya  $P$  dalam Gambar 4-14, dan ukurlah sisi keliling dan semua garis berpangkal di  $P$  ke titik-titik sudut. Areal tanah dapat digambar dan luasnya ditentukan dari data ini. Metode titik pusat kelihatannya mungkin memerlukan lebih banyak pekerjaan, tetapi jarak-jarak yang pendek dari garis-garis di dalam mengimbangi jumlah yang lebih besar. Juga, semua titik sudut amat mungkin kelihatan dari sebuah titik yang dipilih dalam lapangan.

## SOAL-SOAL.

- 4-1. Tulislah enam metode pengukuran jarak horisontal. Sebutkan sebuah keuntungan dan kerugian masing-masing.
- 4-2. Seorang mahasiswa menghitung 172, 173, 172, 171, 174 dan 172 langkah waktu berjalan sepanjang 500 ft di tanah datar. Kemudian 121, 122, 120 dan 122 langkah dihitung dalam menjalani jarak  $AB$  yang tak diketahui. Berapa panjang  $AB$ ?
- 4-3. Pembacaan berikut ini diambil pada batang ukur-jarak 2-m dengan teodolit 1-sekon. Hitunglah jarak horisontal dari teodolit ke batang ukur-jarak,
  - (a)  $0^{\circ}28'14''$ ,  $0^{\circ}28'16''$ ,  $0^{\circ}28'15''$ ,  $0^{\circ}28'15''$
  - (b)  $0^{\circ}13'35''$ ,  $0^{\circ}13'34''$ ,  $0^{\circ}13'35''$ ,  $0^{\circ}13'34''$
- 4-4. Untuk data yang diberikan, hitunglah jarak horisontal untuk jarak miring tercatat  $AB$ .
  - (a)  $AB = 429,37$  ft, sudut miring =  $4^{\circ}35'$
  - (b)  $AB = 258,69$  m, beda elevasi  $A$  ke  $B = 10,7$  m
  - (c)  $AB = 651,45$  ft, gradien =  $4,5\%$
- 4-5. Hitung jarak horisontal antara ujung-ujung sebuah pita 100-ft memakai rumus pendekatan Pers. (4-5) dan rumus tepat Pers. (4-4) untuk perbedaan-perbedaan elevasi 5, 10, 15, 20 dan 25 ft. Laksanakan hitungannya dengan cukup lanjut sehingga terlihat perbedaan hasilnya dan buatlah tabulasi jawaban Anda.

Sebuah pita baja, 100-ft, NBS 420, dengan luas penampang  $0,0030$  in<sup>2</sup>, berat 1 lb, dan dibakukan pada  $68^{\circ}\text{F}$ , adalah  $100,014$  ft antara tanda-tanda ujung bila ditopang seluruhnya dan diberi tarikan 12-lb. Panjangnya  $99,998$  ft bila hanya ditopang kedua ujungnya dengan tarikan 150lb. Berapa panjang sebenarnya jarak terukur  $AB$  untuk kondisi-kondisi yang diberikan dalam Soal 4-6 sampai dengan 4-9? (Anggaplah semua memakai panjang pita sepenuhnya kecuali pada yang terakhir).

	JARAK AB TERCATAT	SUHU RATA-RATA	CARA MENOPANG	TEGANGAN
4-6.	242,90	$68^{\circ}\text{F}$	Seluruhnya	12 lb
4-7.	584,77	$68^{\circ}\text{F}$	Ujung-ujung saja	15 lb
4-8.	420,31	$55^{\circ}\text{F}$	Seluruhnya	12 lb
4-9.	669,55	$92^{\circ}\text{F}$	Ujung-ujung saja	15 lb

Untuk pita NBS 420 Soal 4-6 sampai dengan 4-9, tentukan panjang sebenarnya jarak tercatat  $BC$  untuk kondisi-kondisi seperti dalam Soal 4-10 sampai dengan 4-13. (Anggaplah semua memakai panjang pita sepenuhnya kecuali pada yang terakhir).

	JARAK AB TERCATAT	SUHU RATA-RATA	CARA MENOPANG	TEGANGAN	BEDA ELEV. PER 100 FT.
-10.	200,00	104°F	Seluruhnya	21 lb	2,7 ft
-11.	649,20	90°F	2 ujung saja	18 lb	3,9 ft
-12.	576,18	46°F	Seluruhnya	19 lb	2,3 ft
-13.	837,65	34°F	2 ujung saja	20 lb	2,2 ft

Dalam Soal 4-14 sampai dengan 4-18 tentukan panjang  $CD$  untuk diukurkan memakai pita baja 100-ft, NBS 422, dengan luas penampang  $0,0060 \text{ in}^2$ , berat 2,0 lb, dan dibakukan pada  $68^\circ\text{F}$  menjadi 100,011 ft antara tanda-tanda ujung bila ditopang seluruhnya dengan tarikan 12-lb, dan 99,948 ft bila hanya ditopang di kedua ujungnya dengan tegangan 16-lb.

	JARAK AC DIPERLUKAN	SUHU RATA-RATA	CARA MENOPANG	TEGANGAN	LERENG
-14.	78,00 ft	$68^\circ\text{F}$	Seluruhnya	12 lb	0
-15.	87,68 ft	$97^\circ\text{F}$	2 ujung saja	16 lb	1,5 ft/100 ft
-16.	248,62 ft*	$76^\circ\text{F}$	Seluruhnya	15 lb	3,9 ft/100 ft
-17.	97,00 ft	$35^\circ\text{F}$	2 ujung saja	20 lb	2,8% grade
-18.	622,85 ft*	$104^\circ\text{F}$	2 ujung saja	18 lb	$3^\circ$ slope

\* Anggaplah semua memakai panjang pita sepenuhnya kecuali pada yang terakhir.

Sebuah pita baja 30-m terukur 30,0150 m pada waktu dibakukan tertopang penuh dengan tarikan 7 kg pada suhu  $20^\circ\text{C}$ . Berat pita adalah 0,90 kg dan luas penampangnya  $0,028 \text{ cm}^2$ . Berapa panjang sebenarnya jarak  $AB$  terukur untuk kondisi-kondisi yang diberikan dalam Soal 4-19 sampai dengan 4-21? (Anggaplah semua memakai panjang pita sepenuhnya kecuali pada yang terakhir).

	JARAK AB TERCATAT	SUHU RATA-RATA	CARA MENOPANG	TEGANGAN	BEDA ELEV. PER 100 M
-19.	51,375 m	$28^\circ\text{C}$	Seluruhnya	9 kg	3,0 m
-20.	82,480 m	$10^\circ\text{C}$	2 ujung saja	10 kg	Horisontal
-21.	114,095 m	$12^\circ\text{C}$	2 ujung saja	10 kg	2,5 m

Sebuah pita baja 20-m terukur 19,9895 m pada waktu dibakukan tertopang penuh dengan tarikan 7 kg pada suhu  $20^\circ\text{C}$ . Berat pita 0,65 kg dan luas penampangnya  $0,030 \text{ cm}^2$ . Tentukan panjang  $BC$  untuk diukurkan memakai pita ini untuk kondisi-kondisi yang diberikan dalam Soal 4-22 dan 4-23. (Anggaplah semua memakai panjang pita sepenuhnya kecuali yang terakhir).

	JARAK BC DIPERLUKAN	SUHU RATA-RATA	CARA MENOPANG	TEGANGAN	LERENG
-22.	40,000 m	$11^\circ\text{C}$	Seluruhnya	10 kg	gradien 4,0%
-23.	156,527 m	$39^\circ\text{C}$	2 ujung saja	10 kg	lereng $2^\circ 30'$

24. Berapa beda suhu terhadap pembakuan, jika diabaikan dalam pemakaian pita baja, akan menyebabkan galat sebesar satu bagian dalam 3000? Satu bagian dalam 5000? Satu bagian dalam 10.000?

- 4-25. Sewaktu mengukur jarak  $AB$ , paku lapangan pertama ditempatkan 1,5 ft ke kanan garis  $AB$  dan paku kedua dipasang 1 ft ke kiri garis  $AB$ . Jarak tercatat adalah 251,57 ft. Hitunglah jarak yang benar.
- 4-26. Dalam pengukuran dari  $A$  ke  $B$  dengan pita, sebuah pohon pada garis jarak memaksa pemasangan titik perantara  $C$  dengan pergeseran 6 ft ke samping garis  $AB$ . Kemudian garis  $AC$  diukur sepanjang lereng seragam 4% didapatkan 386,29 ft. Garis  $CB$  di tanah horisontal terukur 185,10 ft. Carilah panjang  $AB$ .
- 4-27. Paku-paku lapangan untuk pengukuran garis dengan pita (tambah) baja 100-ft yang berlebih 1 ft pembagian skalanya, dipasang salah pada tanda 101-ft. Panjang garis tercatat tepat 800 ft. Berapa jarak yang benar?
- 4-28. Jarak antara dua titik tertentu pada lokasi konstruksi, diukur pada suhu  $110^\circ\text{F}$  dengan pita baja yang panjangnya 100,000 ft pada suhu  $68^\circ\text{F}$ . Jarak itu tercatat 2508,06 ft. Hitunglah jarak terkoreksi untuk suhu. Berapa jarak yang mestinya akan tercatat bila suhu di waktu pengukuran adalah  $28^\circ\text{F}$ ?
- 4-29. Sebuah pita dengan penampang  $\frac{5}{16} \times 0,025 \text{ in}$  panjangnya 100,045 ft bila ditopang seluruhnya pada tegangan 15 lb. Berapa panjang antara tanda-tanda ujung jika tegangan yang sama diberikan tetapi pita ditopang di kedua ujung dan titik tengahnya? Bagaimana kalau ditopang di kedua ujung dan titik-titik perempatan?
- 4-30. Sebuah pita baja 100-ft dengan luas penampang  $0,0044 \text{ in}^2$  panjangnya tepat 100,000 ft pada suhu  $68^\circ\text{F}$  pada waktu ditopang sepenuhnya dengan tarikan 12 lb. Berapa tegangan normal untuk pita ini?
- 4-31. Berapa tarikan (tegangan normal) diperlukan untuk membuat pita tepat 100,000 ft antara ujung-ujungnya bila dipakai dengan cara tanpa ditopang, jika luas penampangnya  $0,0056 \text{ in}^2$  dan panjangnya 99,990 ft dalam keadaan ditopang dengan tarikan 15 lb?
- 4-32. Berapa galat dalam sebuah jarak diukur sebagai akibat kondisi-kondisi tercatat di bawah ini?  
 (a) Satu ujung sebuah pita 30-ft dari garis menyimpang 1,0 ft.  
 (b) Satu ujung sebuah pita 80-ft terlalu tinggi 2,4 ft.  
 (c) Satu ujung sebuah pita 100-ft dari garis menyimpang 1,5 ft dan terlalu rendah 1,7 ft.  
 (d) Satu ujung sebuah pita 30-ft dari garis menyimpang 25 cm dan terlalu tinggi 15 cm.
- 4-33. Untuk menentukan sudut  $AOB$  antara dua pagar yang berpotongan tanpa memasang sebuah teodolit kompas, jarak-jarak yang mudah yaitu  $OA = 100,00 \text{ ft}$  dan  $OB = 80,00 \text{ ft}$  diukur dari perpotongan sepanjang kedua pagar. Jika jarak  $AB$  adalah 48,90 ft, berapa sudut perpotongan itu?
- 4-34. Dalam sebuah bangun segi-tujuh serupa Gambar 4-13, dalam pengukuran sisi-sisinya diperoleh panjang sebagai berikut:  $AB = 265,83$ ,  $BC = 421,71$ ,  $CD = 524,09$ ,  $DE = 453,16$ ,  $EF = 375,87$ ,  $FG = 449,98$ ,  $GA = 413,70$ ,  $GB = 432,47$ ,  $GC = 550,26$ ,  $GD = 763,11$ , dan  $GE = 648,52 \text{ ft}$ . Hitunglah sudut-sudut pada tiap pojok.
- 4-35. Sebuah garis basis diukur panjangnya dengan pita memakai penahan tercatat 1483,295 ft. Suhu rata-rata  $87,8^\circ\text{F}$ , tarikan yang diberikan 16 lb dan koreksi kemiringan seluruhnya untuk garis tersebut  $-0,523 \text{ ft}$ . Berat pita 1,50 lb dan panjangnya antara tanda-tanda 0- dan 100-ft adalah 100,017 ft bila ditopang seluruhnya dengan tarikan 16 lb pada suhu  $68^\circ\text{F}$ . Buatlah semua koreksi dan hitunglah panjangnya di permukaan laut bila dianggap elevasi rata-ratanya 4975 ft di atas MSL. [Reduksi permukaan laut rata-rata (MSL) dibicarakan dalam Paragraf 21-5].
- 4-36. Tentukan panjang garis  $AB$  paling mentak, deviasi standar, dan galat 90% sebuah pengukuran tunggal untuk seri pengukuran-pengukuran berikut ini yang dilaksanakan dengan kondisi-kondisi sama: 648,29, 648,33, 648,27, 648,36, 648,32, 648,29.
- 4-37. Deviasi standar pengukuran sebuah jarak 600-ft dengan pita adalah  $\pm 0,08 \text{ ft}$ . Memakai prosedur-prosedur yang sama, berapakah deviasi itu untuk jarak 1800-ft?
- 4-38. Sebuah lapangan tak teratur diukur dengan pita baja 100-ft yang panjangnya

100,06 ft dan luasnya yang salah didapat sebesar 27,956 acres. Berapakah luas sebenarnya?

- 4-39. Dalam mengukur dengan pita ukur 100-ft dibakukan dengan penampang  $0,25 \times 0,025$  in, jika pita ditopang seluruhnya, yang manakah dari galat-galat berikut ini yang paling serius? (a) Sebuah selisih suhu yang tetap  $+10^{\circ}\text{F}$  terhadap pembakuan; (b) galat pelurusan 0,4 ft pada masing-masing panjang pita; (c) pita beda tinggi tiap panjangnya sebesar 0,8 ft; atau (d) perubahan tegangan sebesar 5 lb terhadap pembakuan pada tiap panjang pita.
- 4-40. Sebuah garis panjang 5 mil harus diukur dengan galat standar kurang dari 2 ft. Berapa galat standar per panjang pita yang dibolehkan?
- 4-41. Tentukan luas lapangan untuk data Soal 4-34 dengan menjumlah luas-luas segitiga yang dihitung sendiri-sendiri.
- 4-42. Memakai data pada Soal 4-34, pilihlah skala yang sesuai dan gambarlah areal tanah sehingga tepat pada selembar kertas berukuran  $8\frac{1}{2} \times 11$  in.
- 4-43. Dalam sebuah bangun segi-sembilan serupa Gambar 4-14, terukur jarak-jarak sebagai berikut:  $aP = 286,53$ ;  $bP = 258,19$ ;  $cP = 291,07$ ;  $dP = 303,44$ ;  $eP = 260,30$ ;  $fP = 253,16$ ;  $gP = 248,92$ ;  $hP = 347,00$ ;  $iP = 300,22$ ;  $jP = 237,54$ ;  $ab = 320,21$ ;  $bc = 174,08$ ;  $cd = 179,50$ ;  $de = 159,73$ ;  $ef = 198,84$ ;  $fg = 121,66$ ;  $gh = 150,29$ ;  $hi = 167,13$ ;  $ij = 148,98$  dan  $ja = 147,93$  ft. Hitunglah sudut-sudut pada masing-masing pojok luar areal tanah.
- 4-44. Tentukan luas lapangan untuk data Soal 4-43 dengan menjumlahkan luas-luas segitiga individual yang dihitung.
- 4-45. Memakai data Soal 4-43, pilihlah skala yang sesuai dan gambarlah areal tanah sehingga tepat pada sehelai kertas berukuran  $8\frac{1}{2} \times 11$  inch.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Colcord, J.E., dan F.H. Chick, 1968. "Pengukuran dengan Pita pada Lereng". *ASCE Journal of the Surveying and Mapping Division* 94(no. SU2): 137.
- Smirnoff, M.F. 1952. "Penakaaian Batang Ukur-Jarak" *Surveying and Mapping* 12(no. 4): 390.
- Wagner-Smith, R.W. 1961. "Galat-galat dalam Pengukuran Jarak dengan Simpangan" *Surveying and Mapping* 21(Nno. 1): 73.

# 5

## PENGUKURAN JARAK SECARA ELEKTRONIK

**5-1. PENGANTAR.** Sebuah kemajuan utama dalam pengukuran tanah di tahun-tahun terakhir ini adalah perkembangan instrumen pengukur jarak elektronik (electronic distance measuring instrument – EDM). Alat ini menentukan panjang berdasar pada perubahan fase yang terjadi sewaktu energi elektromagnetik dengan panjang gelombang yang diketahui, merambat dari satu ujung garis ke ujung yang lain dan kembali.

Instrumen EDM yang pertama diperkenalkan pada tahun 1948 oleh seorang ahli fisika Swedia bernama Erik Bergstrand. Alatnya disebut *geodimeter* (sebuah akronim untuk geodetic distance meter), yang dihasilkan dari upaya memperbaiki metode-metode untuk mengukur kecepatan sinar. Instrumen memancarkan sinar tampak dan mampu mengukur dengan teliti sampai kira-kira 25 mil (40 km) di waktu malam. Dalam tahun 1957 alat EDM yang kedua, *tellurometer* dirancang oleh Dr. T. L. Wadley dan diperkenalkan di Afrika Selatan, memancarkan gelombang relik (microwaves) tak tampak dan mampu mengukur jarak sampai 50 mil (80 km) atau lebih, di waktu siang atau malam.

Nilai potensial model-model dini EDM ini terhadap profesi pengukuran tanah, segera diakui; tetapi alat-alat ini mahal dan tidak dengan mudah dapat dipakai untuk pekerjaan lapangan. Lagi pula, prosedur pengukurannya panjang dan reduksi-reduksi matematisnya untuk memperoleh jarak dari hasil pengamatan adalah sulit dan maka waktu. Dan lagi, kegunaan geodimeter yang pertama itu terbatas pada siang hari. Penelitian dan pengembangan yang terus-menerus telah mengatasi segala cacat ini.

Kebaikan utama pengukuran elektronik adalah cepat dan telitinya jarak dapat diukur. Jika ada garis pandangan, jarak panjang atau pendek dapat diukur melewati perairan



atau tanah yang tak terlewati untuk pengukuran dengan pita. Dengan peralatan EDM yang modern, jarak-jarak secara otomatis ditunjukkan dalam bentuk digital dalam feet atau meter, dan banyak di antara alat-alat ini mempunyai komputer mikro terpasang tetap yang memberi hasil tereduksi langsung ke komponen horisontal dan vertikal. Kebaikan penting yang banyak terdapat pada alat ini telah merevolusikan prosedur pengukuran dan menda-pat sambutan baik di seluruh dunia. Pengukuran jarak panjang dimungkinkan dengan per-alatan EDM memakai radio untuk komunikasi, yang merupakan keperluan mutlak dalam praktek modern.

**5-2. KLASIFIKASI INSTRUMEN-INSTRUMEN EDM.** Sebuah sistem untuk mengklasifi-kasikan EDMs adalah berdasar panjang gelombang energi elektromagnetik yang dipancar-kan; kategorinya adalah sebagai berikut:

1. Instrumen-instrumen *elektro-optis*, yang memancarkan laser termodulasi atau sinar infra merah yang panjang gelombangnya di dalam atau sedikit melewati wilayah-tampak pada spektrum.
2. Peralatan *gelombang renik*, yang memancarkan gelombang renik dengan frekuensi berkisar antara 3 sampai 35 CHz sesuai dengan panjang gelombang kira-kira 1,0 sampai 8,6 mm.

Sistem klasifikasi lain untuk EDMi adalah berdasar jangkauan operasionalnya. Inri agak subyektif, tetapi secara umum ada dua bagian masuk dalam sistem ini: jarak *pendek* dan *sedang*. Golongan jarak pendek termasuk alat-alat yang kemampuan maksimumnya tak melebihi kira-kira 5 km. Kebanyakan peralatan dalam golongan ini jenis elektro-optis dan memakai sinar infra merah. Instrumen-instrumen ini kecil, mudah dibawa, mudah mema-kainya, cocok untuk banyak jenis pekerjaan pengukuran lapangan, dan dipakai oleh banyak praktisi.

Instrumen-instrumen dalam kelompok jarak sedang mempunyai kemampuan meng-ukur diperpanjang sampai kira-kira 100 km dan jenisnya elektro-optis (memakai sinar laser) atau gelombang renik. Walaupun sering dipakai dalam pekerjaan geodetik saksama, alat ini cocok pula untuk pengukuran persil dan rekayasa. Alat-alat yang mampu mengukur jarak lebih panjang dari 100 km juga ada, tetapi tidak umum dipakai untuk pekerjaan peng-ukuran biasa. Kebanyakan bekerja dengan memancarkan gelombang-radio panjang, tetapi beberapa di antaranya memakai gelombang renik. Alat-alat ini terutama digunakan dalam pengukuran hidrografik dan oceanografik serta navigasi.

**5-3. PRINSIP PEMAKAIAN INSTRUMEN EDM.** Secara umum, peralatan EDM mengukur jarak dengan jalan membandingkan sebuah garis tak diketahui panjangnya dengan panjang gelombang energi elektromagnetik termodulasi. Ini serupa dengan mencari hubungan jarak yang dicari terhadap panjang pita baja yang ditera.

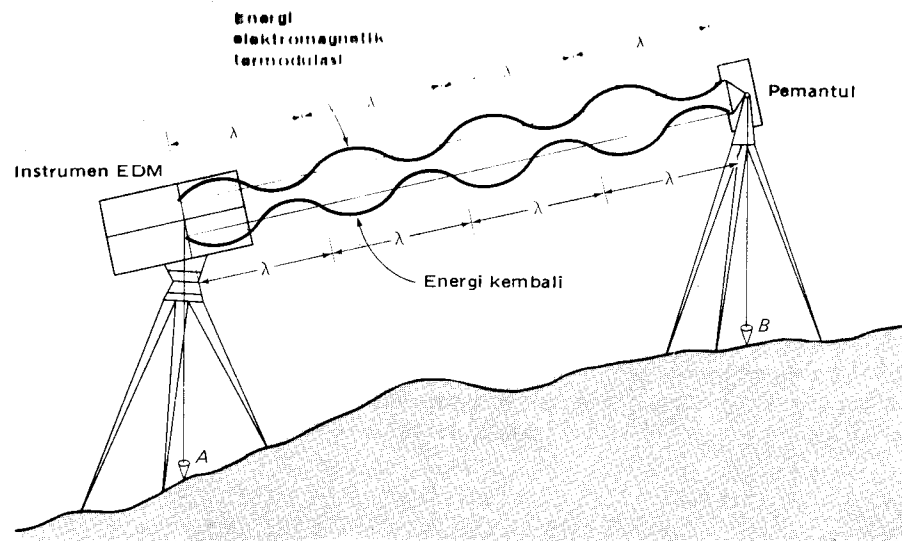
Energi elektromagnetik merambat lewat atmosfer menurut persamaan seperti ber-ikut:

$$V = f\lambda \quad (5-1)$$

di mana  $V$  adalah kecepatan energi elektromagnetik, dalam meter per detik;<sup>1</sup>  $f$  frekuensi energi termodulasi, dalam hertz;<sup>2</sup> dan  $\lambda$  panjang gelombang dalam meter.

<sup>1</sup> Kecepatan energi elektromagnetik dalam vakum adalah 299.729,5 km/detik. Kecepatan agak berkurang dalam atmosfer menurut persamaan  $V = c/n$ , di mana  $c$  adalah kecepatan dalam vakum dan  $n$  adalah *indeks bias* atmosferik, yang berbeda-beda tetapi kira-kira sama dengan 1,0003.

<sup>2</sup> Hertz (Hz) adalah satuan untuk frekuensi sama dengan 1 putaran (cycle)/detik.



Gambar 5-1. Prosedur EDM yang disempurnakan.

Dengan EDMi, frekuensi dapat diatur dengan saksama tetapi kecepatan berubah me-nurut suhu atmosfer, tekanan udara dan kelengasan. Jadi panjang gelombang dan frekuensi harus berubah sesuai dengan Pers. (5-1). Untuk pengukuran jarak elektronik teliti, karna-nya harus ada pengambilan data atmosferik dan dibuat koreksi-koreksi sesuai dengan ke-adaannya.

Prosedur pengukuran jarak elektronik yang disederhanakan, digambarkan dalam Gam-bar 5-1. Sebuah alat EDM dipusatkan dengan bandul unting-unting atau pemusatan optis di stasiun A, memancarkan *tengara pembawa* (carrier signal) energi elektromagnetik di mana ditumpangkan frekuensi acuan atau *dimodulasikan*. Tengara dikembalikan dari stasiun B ke penerima (receiver), jadi melewati jarak lipat dua jarak miring AB. Dalam Gambar 5-1, energi elektromagnetik termodulasi digambarkan dengan serangkaian gelom-bang sinus dengan panjang gelombang  $\lambda$ . Sembarang posisi sepanjang sebuah gelombang tertentu dapat dinyatakan berdasar *sudut fasenya*, yang besarnya adalah  $0^\circ$  di titik awal,  $180^\circ$  di titik tengah, dan  $360^\circ$  di ujungnya.

Alat-alat EDM yang dipakai dalam pengukuran tanah bekerja dengan jalan mengukur *pergeseran fase* (phase shift). Dalam prosedur ini, energi yang kembali mengalami perubah-an fase penuh  $360^\circ$  untuk setiap kelipatan genap dari setengah tepat panjang gelombang yang memisahkan kedua ujung garis. Oleh karena itu, jika jaraknya tepat sama dengan ke-lipatan penuh setengah-panjang-gelombang, perubahan fase yang ditunjukkan akan menjadi nol. Dalam Gambar 5-1, misalnya, stasiun A dan B terpisah tepat delapan setengah-gelom-bang; jadi, perubahan fasenya adalah nol. Jika sebuah garis tidak tepat suatu kelipatan genap dari setengah-panjang-gelombang (biasanya demikian), bagian pecahan diukur oleh instrumen sebagai sudut fase atau perubahan fase tidak-nol. Jika diketahui panjang gelom-bang dengan tepat, maka bagian pecahan dapat dikonversikan menjadi jarak.

EDMs langsung memisahkan pecahan panjang gelombang tetapi tidak menghitung putaran penuh yang dialami energi balik dalam perambatannya pada jalur rangkap. Tetapi kedwitarian (ambiguity) ini dipecahkan dengan jalan memancarkan tengara-tengara tam-bahan dengan frekuensi lebih rendah dan panjang gelombang lebih besar.

**5-4. INSTRUMEN-INSTRUMEN ELEKTRO-OPTIS.** Seperti dikemukakan sebelum-nya, EDMi elektro-optis sekarang memancarkan laser atau sinar infra merah sebagai

tenaga pembawanya. Model lama memakai lampu tungsten atau atraksa. Jangkauan operasionalnya nisbi pendek, khususnya pada siang hari, terutama karena hamburan atmosferik berlebihan dari sinar taksederap (incoherent) ini. Alat-alat ini juga banyak makan tempat dan memerlukan sumber tenaga besar. Sinar sederap yang sekarang dihasilkan oleh laser gas memungkinkan pengukuran jarak panjang di siang hari dengan alat kecil yang mudah dibawa. Rangemaster III dari K&E, terlihat pada Gambar 5-2(c) misalnya, mempunyai kemampuan mengukur lebih dari 60 km.

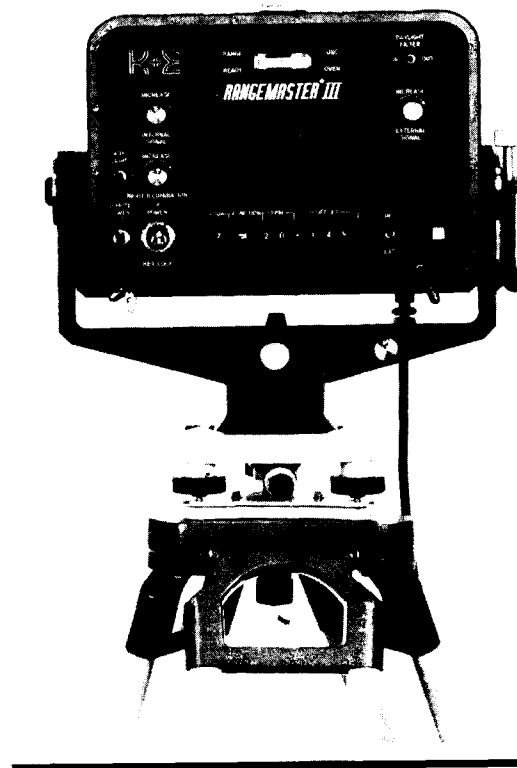
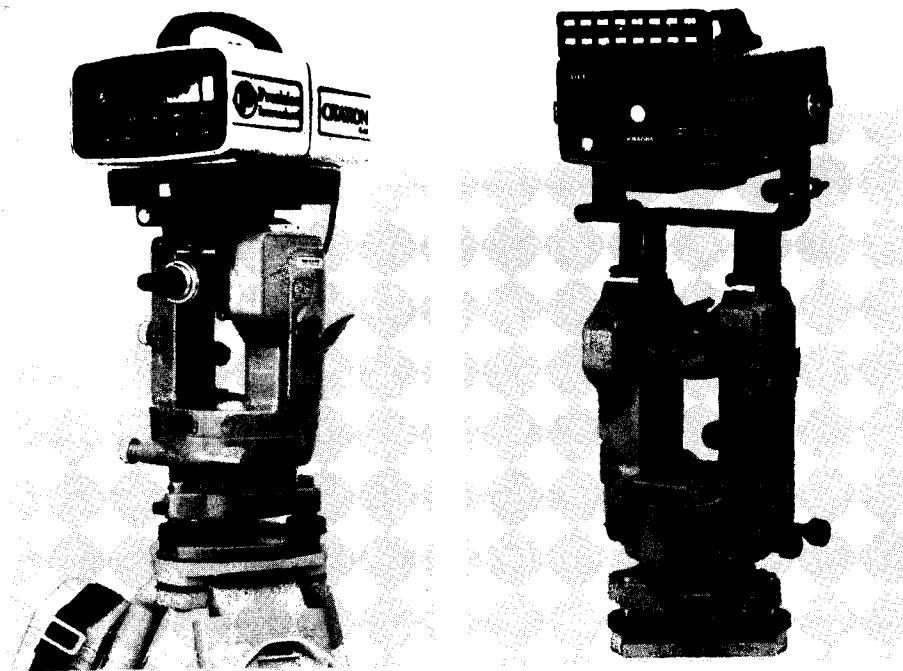
Sekarang ini diproduksi kira-kira 40 model berbeda alat-alat EDM elektro-optis jarak pendek yang memakai pembawa sinar infra merah. Jaraknya terbatas sampai beberapa kilometer karena keterbatasan tenaga diode gallium arsenida (GaAs) yang menghasilkan sinar infra merah, tetapi untuk banyak pengukuran rutin ini sudah cukup. Mungkin kebaikan terbesar dari sinar infra merah sebagai pembawa adalah intensitasnya dapat langsung dimodulasi, sehingga sangat menyederhanakan instrumen yang menggunakan sumber radiasi ini. Instrumen-instrumen ini menjadi demikian kecil (beberapa dari padanya mempunyai berat kurang dari 1 kg) sehingga dapat langsung ditempatkan di atas teodolit. Dengan demikian pengukuran sudut dan jarak dapat dilaksanakan dengan sekali pemasangan instrumen. Gambar 5-2(a) dan (b) adalah dua EDMs elektro-optis infra merah dengan pemasangan ke teodolit secara berbeda; yang pertama dipasang pada teropong, yang kedua dipasang pada penopang. Instrumen pada Gambar 5-2(c) mempunyai pasangan kaki tiga tersendiri. Banyak instrumen yang dibuat sekarang dapat disesuaikan untuk ketiga pemasangan tersebut.

Prinsip pemakaian khusus berbagai instrumen elektro-optis itu berlainan, sehingga tidak praktis untuk menganalisa semuanya dengan terperinci di sini. Untuk tujuan menjelaskan, akan digambarkan dua instrumen Hewlett-Packard yang banyak dipakai di Amerika Serikat: generasi-pertama Model 3800 dan generasi-kedua Model 3805 A (diperlihatkan dalam Gambar 5-3). Keduanya mewakili kebanyakan alat EDM elektro-optis yang dipakai dewasa ini. Pembahasannya akan sangat disederhanakan tanpa memaksakan diri pada gambaran komponen elektronik tertentu.

Gambar 5-4 adalah diagram skematik yang disederhanakan dari ciri-ciri bekerjanya sebuah Hewlett-Packard 3800. Pemancarnya memakai sebuah diode GaAs yang memancarkan *modulasi-amplitudo* (AM) sinar infra merah. Frekuensi modulasinya dikendalikan dengan saksama oleh sebuah pengalun kristal (crystal oscillator). Proses modulasi dapat libayangkan seperti sinar lewat pipa kompor (stove) yang katup pengatur apinya berputar dengan kecepatan atau frekuensi yang diatur saksama. Jika katup pengatur tertutup, tak ada sinar lewat. Ketika katup mulai terbuka, intensitas cahaya meningkat sampai maksimum pada sudut fase  $90^\circ$  pada saat katup terbuka penuh. Intensitas berkurang sampai nol lagi pada saat katup tertutup pada sudut fase  $180^\circ$ , dan seterusnya. Variasi intensitas atau modulasi-amplitudo ini digambarkan secara tepat dengan gelombang sinus.

Tekanan dan suhu atmosferik di tanah setempat ditentukan oleh pengamat di waktu pengukuran, dan dari sebuah grafik diambil faktor koreksi lingkungan berdasar pada tekanan dan suhu tadi. Sebuah faktor koreksi dimasukkan ke dalam pemancar untuk sedikit merubah frekuensi sehingga dapat dipertahankan panjang gelombang yang tetap walaupun ada perubahan atmosferik; dengan demikian belakangan tidak perlu mengadakan perataan matematis terhadap jarak terukur. Perhatikan bahwa pengaruh kelengasan udara dapat diabaikan, dan karenanya tak diukur.

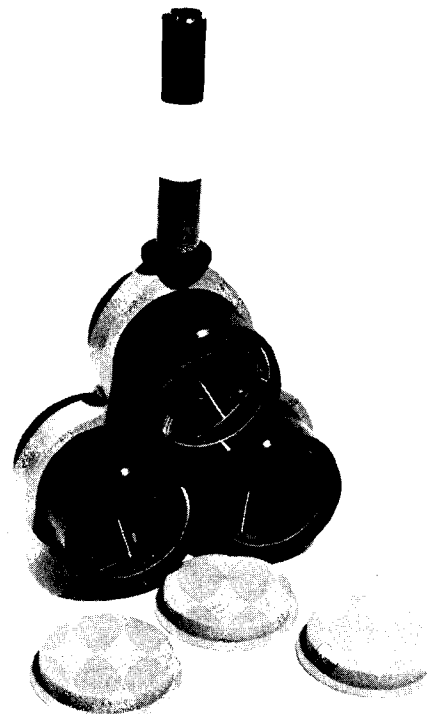
Sebuah alat pemecah (chopper-splitter) memisahkan sinar terpancar dari diode menjadi dua berkas: sebuah berkas-ukur *luar* dan sebuah berkas-acuan *dalam*. Berkas luar dengan aksama diarahkan pada sebuah pemantul-balik (retro-reflector) yang telah dipusatkan pada titik di ujung lain garis. (Gambar 5-5). Pemantul mengembalikan berkas sinar ke penerima receiver). Berkas dalam melewati filter kerapatan variabel (variable density filter) dan



Gambar 5-2. Instrumen-instrumen EDM elektro-optis. (a) Citation CI 450 instrumen infra merah dengan pemasangan pada teropong teodolit. (Atas kebaikan Wild Heerbrugg Instruments, Inc.) (b) RED 2 sistem infra merah dipasang pada penopang teodolit. (Atas kebaikan the Lietz Company.) (c) Rangemaster III instrumen laser dengan pasangan kaki tiga sendiri. (Atas kebaikan Keuffel & Esser.)

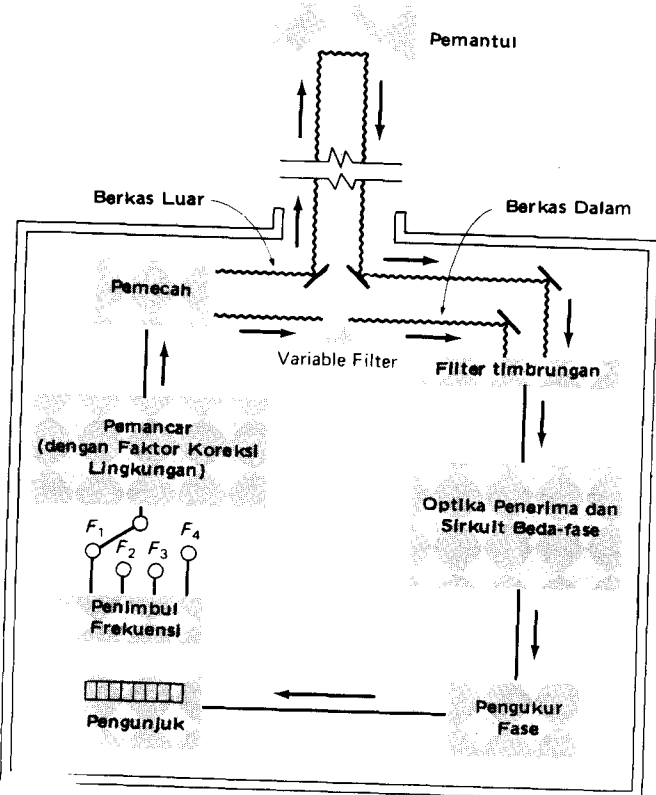


Gambar 5-3. Pengukur jarak Hewlett-Packard 3805A. (Atas kebaikan Hewlett-Packard Co.)



Gambar 5-5. Pemantul-balik rangkap tiga. (Atas kebaikan Hewlett-Packard Co.)

Gambar 5-4. Diagram-kotak bekerjanya Hewlett-Packard 3800 disederhanakan.



berkurang intensitasnya sampai tingkat sama dengan tengara luar yang kembali, menyebabkan dapat dibuatnya pengukuran yang lebih teliti. Kedua tengara dalam dan luar lewat sebuah penyaring timbrungan (interference filter) yang menghilangkan seluruh energi yang tak diinginkan misalnya sinar matahari. Berkas-berkas dalam dan luar kemudian melewati komponen-komponen untuk merubahnya menjadi energi listrik sambil masih mempertahankan kaitan pergeseran fase akibat panjang perjalanan mereka yang berbeda. Sebuah pengukur fase mengubah beda fase ini menjadi arus searah yang besarnya sebanding dengan perbedaan fase. Arus ini dihubungkan dengan sebuah *null meter*, yang secara otomatis mengatur-diri mematikan arus. Panjang gelombang pecahan dikonversi menjadi jarak pada waktu proses pematian arus dan diperlihatkan pada angka-unjuk (dial) instrumen.

Untuk memecahkan kedwiar-tian jumlah putaran penuh dari gelombang yang belum diketahui, Hewlett-Packard 3800 memancarkan empat frekuensi modulasi yang berbeda,  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$ , dan  $F_4$ , seperti ditunjukkan pada diagram skematik Gambar 5-4. Sebuah model yang mengukur dalam feet memakai frekuensi modulasi 24,5 MHz, 2,45 MHz, 245 kHz, dan 24,5 kHz. Panjang gelombang yang bersangkutan adalah berturut-turut 10, 100, 1000, dan 10.000 ft.<sup>3</sup>

<sup>3</sup>Panjang gelombang modulasi sebenarnya pada frekuensi 24,5 MHz adalah 40 ft, tetapi sirkuit pengganda (*doubler circuitry*) melipat-duakan frekuensi modulasi. Lagi pula, gelombang menjalani dua kali jarak yang diukur. Karenanya sebuah perubahan fase 360° mempunyai panjang gelombang "berhasilguna" 10 ft. Panjang gelombang 40 ft dihitung sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{299.792,5 \text{ km/detik} \times 1000 \text{ m/km}}{24.500.000 \text{ put./detik}(\text{Hz}) \times 0,3048 \text{ m/ft}} = 40 \text{ ft/putaran (cycle)}$$

Misalnya sebuah HP 3800 menunjukkan secara digital 3417,14 ft dari pengukuran sebuah jarak. Tiga angka paling kanan, 7,14, diperoleh bila fase-meter dibuat nol sambil memancarkan frekuensi  $F_1$ . Jarak 7,14 setara dengan pergeseran fase  $(7,14/10) \times 360^\circ$  atau  $257^\circ$ . Frekuensi  $F_2$  kemudian dikirimkan dan dimatikan, menghasilkan bagian dari 100 ft untuk angka kedua sesudah koma desimal yaitu 1. Frekuensi  $F_3$  dan  $F_4$  dipancarkan bergiliran untuk memperoleh angka 4 dan 3 berturut-turut. Jelaslah bahwa pemecahan ukuran yang teliti diperoleh dengan memakai panjang gelombang 10 ft; kalau lebih besar hanya memecahkan jumlah yang tak diketahui banyaknya panjang-gelombang yang lebih pendek.

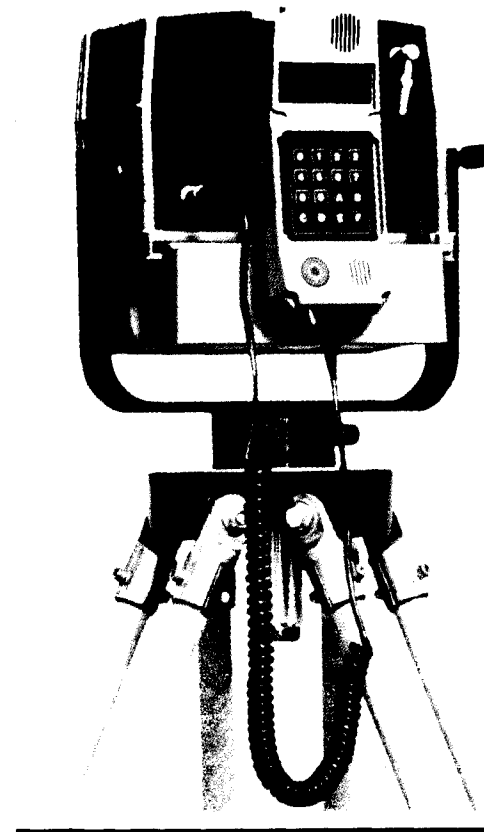
Beberapa kemajuan teknologi yang penting telah dimasukkan untuk memutakhirkan HP3800 menjadi generasi sekarang Model 3805A. Tambahan sebuah pemroses-renik (microprocessor) memungkinkan sebuah cara yang sama sekali baru untuk menentukan pergeseran fase tengara terukur dan menunjukkan hasilnya. Null meter diganti oleh sebuah *peneliti fase* (phase detector) yang merubah beda fase menjadi angka atau hitungan yang besarnya sebanding dengan sudut fase. Hitungan ini dikirim ke pemroses-renik dalam di mana jarak dihitung dan diunjukkan dengan diode pancar-sinar (light-emitting diode, LED). Penting pula dikemukakan bahwa HP 3805A hanya memakai dua frekuensi modulasi yaitu 15 MHz dan 75 KHz. Frekuensi 15 MHz, dengan panjang gelombang 20 m (pergeseran fase  $360^\circ$  sama dengan jarak 10 m), memberikan pemecahan data jarak yang teliti. Frekuensi 75 KHz, dengan panjang gelombang 4000 m (pergeseran fase  $360^\circ$  sama dengan 2000 m), memberikan pemecahan informasi kasar.

Di dalam HP 3805A, tekanan dan suhu atmosferik tidak dikoreksikan untuk frekuensi pancaran yang berbeda. Sebagai gantinya, suatu harga yang merupakan faktor koreksi tabung dimasukkan langsung ke dalam pemroses-renik dari sebuah pengatur pada panel depan instrumen. Harga ini dipakai untuk meratakan jarak secara matematis setelah satu pengukuran. HP 3805A mempunyai jangkauan jarak maksimum 1 mil. Setelah proses awal pengukuran dikerjakan dengan tangan, pergantian frekuensi modulasi dan penelitian fase dikendalikan secara otomatis oleh komputer terpasang-tetap, dan jarak miring diunjukkan dalam 6 detik. Ketelitiannya dikatakan sebesar  $\pm(7 \text{ mm} + 7 \text{ ppm})$ .<sup>4</sup>

Metode pengukuran yang dipakai oleh ketiga instrumen pada Gambar 5-2 pada dasarnya sama dengan metode HP 3805A. Citation CI 450, Gambar 5-2(a) dan RED 2, Gambar 5-2(b) mempunyai jangkauan jarak maksimum kira-kira berturut-turut 4 dan 3 km, dan berguna untuk berbagai proyek pengukuran umum. Keduanya dikatakan mempunyai ketelitian  $\pm(5 \text{ mm} \pm 5 \text{ ppm})$ , akan secara otomatis menghitung dan menunjukkan komponen-komponen jarak miring horisontal dan vertikal setelah sudut vertikal dimasukkan lewat papan-tombol-jari (keyboard), dan dapat dioperasikan dalam cara "pelacakan" (tracking mode). Dalam pelacakan, jarak yang diperlukan (horisontal, vertikal, atau miring) dimasukkan lewat papan tombol jari, dan selisih antara jarak yang diinginkan dan jarak ke pemancar diolah dengan cepat diolah dan diunjukkan. Ciri ini, sangat berguna dalam pemancaran komunikasi, dibicarakan dalam Paragraf 24.2. Rangemaster III (Gambar 5-2(c) mempunyai jangkauan lebih panjang dan ketelitian  $\pm(5 \text{ mm} + 1 \text{ ppm})$ . Alat ini sangat cocok untuk pengukuran titik-titik kontrol khususnya.

**INSTRUMEN-INSTRUMEN GELOMBANG-RENIK.** Tengara pengukuran yang dilakukan oleh alat-alat gelombang-renik terdiri atas modulasi frekuensi (FM) yang ditumpukan pada gelombang pembawa. Seperti instrumen elektro-optis, alat gelombang-renik bekerja atas dasar pergeseran fase dan memakai berbagai frekuensi untuk memecahkan ketelitian dalam banyaknya panjang gelombang penuh yang belum diketahui pada suatu

<sup>4</sup> ppm = parts per million (bagian tiap juta). Dalam jarak 3417 ft, bagian galat ini menjadi sebesar 0,0003 ft.



Gambar 5-6. Instrumen EDM gelombang-renik (microwave) Microfix 100C. (Atas kebaikan Tellurist, Inc.)

jarak. Jangkauan jarak alat-alat gelombang-renik termasuk panjang, dan dapat dipakai dalam kabut atau hujan rintik-rintik. Tetapi pengukuran dalam keadaan cuaca buruk demikian, agak terbatas jaraknya.

Suatu sistem EDM gelombang-renik yang lengkap terdiri atas dua unit yang sama dan mudah dibawa-bawa. Masing-masing mempunyai seluruh komponen yang perlu untuk pengukuran: pemancar, penerima, antena, untai (circuitry), dan susunan komunikasi terpasang tetap. Masing-masing alat dipusatkan dengan bandul unting-unting atau pemusatan optis di atas titik ujung garis, dengan satu instrumen berfungsi sebagai "induk" (master), lainnya sebagai "cabang" (remote). Masing-masing instrumen dapat dioperasikan sebagai induk atau cabang hanya dengan merubah kedudukan sebuah saklar.

Pengukuran dengan alat gelombang-renik memerlukan seorang pengamat di tiap ujung garis untuk mengambil serangkaian pembacaan sewaktu memakai instrumen sebagai induk. Karena kedua unit berisi peneraan panjang gelombang stabil-suhu, prosedur ini menghasilkan dua pengukuran jarak yang mandiri dan pengecekan berharga. Kedua pengamat yang mungkin tidak dapat saling melihat, mengkoordinasi prosedur kerja mereka dengan komunikasi lewat radio telepon yang terpasang tetap.

Microfix 100C yang terlihat pada Gambar 5-6 adalah EDMI gelombang-renik yang ringan dan ringkas. Alat ini dapat disesuaikan dengan teodolit pada umumnya dan mengukur jarak sampai 60 km dengan ketelitian  $\pm(15 \text{ mm} + 3 \text{ ppm})$ . Sistem pengukurannya sepenuhnya otomatis dan setelah terjadi pengarahan, hanya memerlukan waktu 5 detik. Alat ini dapat pula bekerja dalam cara "pelacakan"



Gambar 5-7 Instrumen stasiun-kotah geodimeter Model 140. (Atas kebaikan AGA Geodimeter, Inc.)

**6. INSTRUMEN STASIUN-KOTAH (TOTAL-STATION INSTRUMENTS).** Instrumen stasiun-kotah (disebut juga takimeter elektronik) menggabungkan sebuah instrumen EDM, teodolit digital elektronik, dan komputer dalam satu unit. Teodolit digital elektronik diperincikan lebih terperinci dalam Paragraf 10-14, mengukur dan menunjukkan sudut-sudut horisontal dan vertikal secara otomatis. Instrumen stasiun-kotah mengukur jarak dan sekaligus arah secara serentak, serta memasukkan hasilnya ke komputer dengan otomatis. Sudut horisontal, sudut vertikal dan jarak miring dapat diunjukkan (display); kemudian lewat perintah pada papan tombol jari, komponen jarak horisontal dan vertikal seketika dihitung dan diunjukkan. Jika koordinat stasiun yang diduduki dan azimut acuan dimasukkan ke dalam sistem itu, maka koordinat titik yang diarah segera diperoleh. Informasi ini dapat disimpan dalam pita magnetik atau alat memori tahana-padat (solid-state memory), karenanya tak perlu pencatatan data dengan tangan. Alat-alat ini mempunyai nilai tinggi dalam segala jenis pengukuran tanah.

Instrumen stasiun-kotah Geodimeter Model 140 yang diperlihatkan dalam Gambar 5-7 mempunyai jangkauan jarak kira-kira 6 km dengan ketelitian sebesar  $\pm(5 \text{ mm} + 5 \text{ ppm})$  dan mengukur sudut sampai  $\pm 2$  detik. Gambar 10-14 memperlihatkan instrumen serupa, Hewlett-Packard Model 3820 yang mempunyai jangkauan kira-kira 5 km dengan ketelitian  $\pm(5 \text{ mm} + 5 \text{ ppm})$  dan ketelitian sudut  $\pm 3$  detik.

**7. GALAT-GALAT DALAM PENGUKURAN JARAK ELEKTRONIK.** Sumber-sumber galat dalam pekerjaan EDM dapat bersifat pribadi, instrumental atau alamiah. Galat pribadi

termasuk salah baca, salah pemusatan titik stasiun, dan salah ukur faktor-faktor meteorologis dan tinggi instrumen.

Jika peralatan EDM diatur dengan hati-hati dan ditera dengan saksama, galat instrumental seharusnya sangat kecil. Seperti dikemukakan di depan, pabrik menyatakan ketelitian produk mereka dalam dua bagian: sebuah galat tetap dan sebuah galat yang sebanding dengan jarak yang diukur. Galat yang dicatat berbeda-beda untuk berbagai macam instrumen, tetapi bagian yang tetap biasanya kira-kira  $\pm 5 \text{ mm}$ , sedangkan yang sebanding pada umumnya sekitar 5 bagian tiap juta (ppm). Pada jarak-jarak pendek, yang terpenting adalah galat tetap; sebagai contoh, dengan instrumen yang mempunyai galat tetap  $\pm 5 \text{ mm}$ , pengukuran jarak 50 m kebajikannya hanya sampai  $\frac{5}{50,000}$ ,  $\frac{1}{10,000}$  atau 100 ppm. Untuk jarak-jarak sangat panjang galat tetap menjadi dapat diabaikan, dan bagian yang sebanding menjadi lebih penting.

Peralatan EDM harus dicek terhadap sebuah garis basis orde-pertama pada jangka waktu yang teratur untuk menjamin ketelitian dan keahliannya. Dengan membandingkan panjang garis basis dan jarak yang diperoleh secara elektronik, ditetapkanlah sebuah *tetapan pengukuran*. Koreksi untuk galat sistematik ini kemudian dapat diterapkan terhadap seluruh pengukuran berikutnya. Tetapan yang telah ditentukan tadi merupakan gangguan jumlah pergeseran ke muka atau ke belakang "pusat listrik" instrumen terhadap garis unting-unting, dan untuk peralatan elektro-optis, *tetapan pemantul* (sembarang pergeseran "pusat optis" pemantul).

Walaupun peneraan dengan memakai garis basis orde-pertama itu lebih baik, namun bila tidak ada, tetapan tadi masih dapat diperoleh. Dalam prosedur ini, tiga stasiun *A*, *B*, dan *C* diletakkan pada sebuah garis lurus, dengan jarak *AC* sekitar 1 mil dan *B* kira-kira di tengah antara *A* dan *C*. Ukurlah seluruh jarak *AC* dan kedua bagian *AB* dan *BC*. Untuk pengukuran ini, dapat ditulis persamaan sebagai berikut:

$$AC + K = (AB + K) + (BC + K)$$

dari mana

$$K = AC - AB - BC \quad (5-2)$$

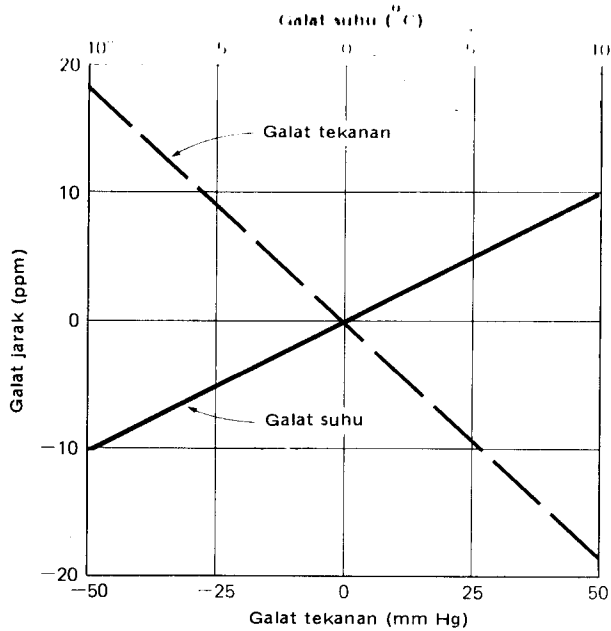
di mana *K* adalah tetapan pengukuran untuk ditambahkan pada jarak terukur. Prosedurnya, termasuk pemusatan instrumen EDM dan pemantul, harus diulang beberapa kali dan dipakai harga *K* rata-rata. Karena berbagai pemantul mempunyai jarak geser yang berbeda, pengujian harus dilakukan terhadap tiap alat yang dipakai dan hasilnya ditempelkan padanya untuk mencegah kecacauan.

Pantulan gelombang-renik berganda dari permukaan tanah atau air dapat menimbulkan kondisi yang disebut *ayunan tanah* (ground swing) yang mempengaruhi ketelitian pembacaan dengan instrumen gelombang-renik. Galat dari sumber ini dapat dikurangi dengan menaikkan unit-unit induk dan cabang setinggi mungkin di atas tanah dan mengambil empat pengukuran, dua dari tiap ujung garis dan mengambil harga rata-ratanya.

Galat-galat alamiah dalam pekerjaan EDM terutama timbul dari perbedaan suhu, tekanan dan kelengasan atmosferik yang mempengaruhi indeks bias dan merubah panjang gelombang energi elektromagnetik. Ketiga variabel ini diukur dan diperhitungkan dalam penentuan jarak gelombang-renik yang teliti, tetapi kelengasan dapat diabaikan jika memakai instrumen elektro-optis.

Kebanyakan EDM memperhitungkan variabel atmosferik langsung sewaktu proses pengukuran, seperti dijelaskan untuk Hewlett-Packard 3805A. Untuk instrumen-instrumen model lebih lama, koreksi-koreksi harus dibuat secara matematis belakangan. Pabrik-pabrik peralatan menyediakan tabel-tabel dan grafik-grafik untuk mencari faktor-faktor koreksi yang diperlukan serta menerangkan proses reduksinya.





Gambar 5-8. Galat-galat dalam EDM dihasilkan oleh galat-galat suhu dan tekanan udara (berdasarkan suhu dan tekanan atmosferik 15°C dan 760 mm air raksa).

Besarnya galat dalam pengukuran jarak elektronik karena pengaruh suhu dan tekanan atmosferik ditunjukkan dalam Gambar 5-8. Perhatikan bahwa perubahan 10°C dan beda tekanan 25 mm air raksa, masing-masing menghasilkan galat jarak kira-kira 10 ppm. Kelembapan (humidity) ditentukan dengan sebuah psikrometer yang memberikan suhu-suhu pentolan basah dan kering. Galat (kesalahan) sebesar 1,5°C dalam beda kedua pentolan adalah kira-kira sama dengan 10 ppm dalam jarak yang ditetapkan dengan instrumen gelombang-renik.

**5-8. MENGHITUNG JARAK HORIZONTAL DARI JARAK MIRING.** Semua peralatan EDM mengukur jarak miring (slope distance) antara stasiun-stasiun. Beberapa instrumen dapat mereduksi jarak ini menjadi komponen horizontalnya secara otomatis jika sudut vertikal diberikan sebagai masukan. Banyak model yang tidak dapat melakukan hal ini, sehingga reduksinya harus dikerjakan dengan hitungan tangan. Tentu saja jarak miring harus dikoreksi dulu untuk kondisi instrumental dan atmosferik.

Reduksi jarak miring menjadi horizontal dapat didasarkan pada perbedaan elevasi atau pada sudut vertikal. Jika dipakai beda elevasi, sewaktu di lapangan diukur dan dicatat tinggi instrumen EDM  $h_e$  dan tinggi pemantul  $h_r$  di atas titik stasiun masing-masing (lihat Gambar 5-9). Jika elevasi-elevasi stasiun  $A$  dan  $B$  dalam Gambar 5-9 diketahui, dengan salah satu Pers. (4-4) sampai dengan (4-6) dapat direduksi jarak miring menjadi jarak horizontal dengan harga  $d$  (beda elevasi antara EDM dan pemantul) didapat dari:

$$d = (\text{elevasi } A + h_e) - (\text{elevasi } B + h_r) \quad (5-3)$$

#### CONTOH 5-1

Sebuah jarak miring 165,360 m (dikoreksi untuk kondisi meteorologis) diukur dari  $A$  ke  $B$ , yang elevasinya adalah 447,401 dan 445,389 m berturut-turut di atas datum. Hitunglah jarak horizontal  $AB$  jika tinggi EDM dan pemantul berturut-turut di atas stasiun adalah 1,417 dan 1,615 m.

#### PENYELESAIAN

Dengan Pers. (5-3):

$$d = (447,401 + 1,417) - (445,389 + 1,615) = 1,813 \text{ m}$$

Dengan Pers. (4-5):

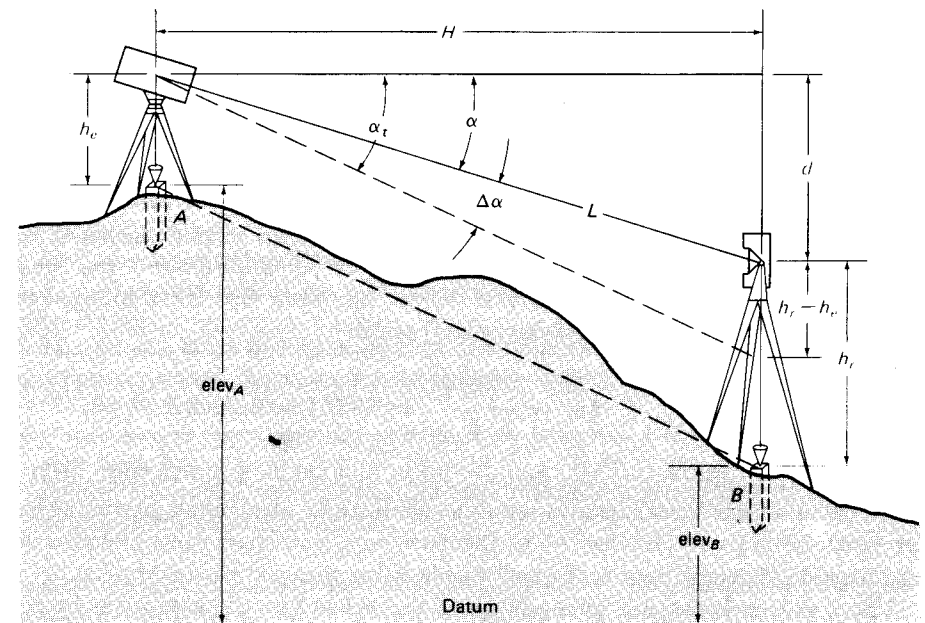
$$H = 165,360 - \frac{(1,813)^2}{2 \times 165,360} = 165,350 \text{ m}$$

Jika sudut vertikal  $\alpha$  antara jalan miring energi terpancar dan bidang horizontal (lihat Gambar 5-9) diperoleh pada waktu pengukuran jarak miring  $L$ , maka Pers. (4-3) dapat diterapkan untuk mereduksi panjangnya ke komponen horizontal. Untuk kebanyakan pekerjaan saksama, khususnya untuk jarak-jarak yang lebih panjang, sudut vertikal harus diukur dengan kedudukan teropong biasa, luar biasa dan diambil harga rata-ratanya. Juga, harga rata-rata yang didapat dari kedua ujung garis, akan memampas (compensate) untuk kelengkungan bumi dan biasan.

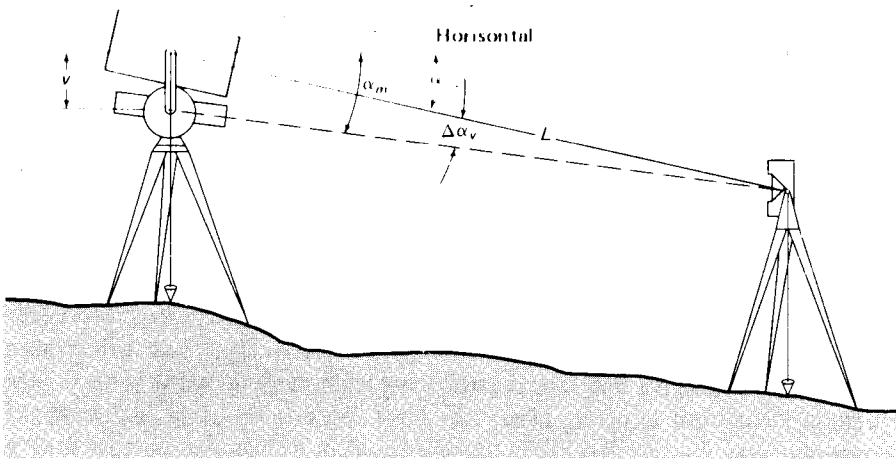
Dalam beberapa kasus, tidak diukur sudut  $\alpha$  yang diperlukan, melainkan sudut vertikal sebenarnya  $\alpha_1$  pada Gambar 5-9 antara titik  $A$  dan  $B$  bisa diukur dalam pekerjaan terpisah memakai teodolit dan rambu. Dalam keadaan demikian, jika ada beda tinggi yang berarti antara EDM dan pemantul seperti ditunjukkan pada Gambar 5-9, sudut  $\alpha$  dalam Pers. (4-3) dapat diperoleh dengan jalan menambahkan  $\Delta\alpha$  secara aljabar kepada  $\alpha_1$ , di mana  $\Delta\alpha$  dalam sekon dihitung dari.

$$\Delta\alpha'' = \frac{(h_r - h_e) \cos \alpha_1}{L} \times 206.265 \text{ sekon/radial} \quad (5-4)$$

Karena penjumlahan aljabar  $\Delta\alpha$  ke  $\alpha_1$  diperlukan, maka tanda yang diperoleh dari Pers. (5-4) adalah tetap dan  $\alpha_1$  dianggap plus jika titik  $B$  di atas  $A$  dan minus bila di bawahnya.



Gambar 5-9. Reduksi jarak miring EDM ke horizontal.



Gambar 5-10. Koreksi untuk pergeseran vertikal antara teodolit dan EDM yang dipasang di atas penopang.

Sudut  $\alpha$  dapat diukur secara langsung, jadi tanpa menghitung  $\Delta\alpha$  (walaupun ada beda tinggi antara EDM dan pemantul), dengan jalan membidik pada rambu sampai pada pembacaan yang memampas untuk beda tinggi. Sebagai contoh, anggaplah bahwa  $h_e$  dan  $h_r$  pada waktu pengukuran jarak adalah berturut-turut 5,4 dan 6,2 ft. Untuk pengukuran sudut vertikal, jika teodolit mempunyai t.i. (tinggi instrumen di atas titik stasiun) 5,5 ft, pembacaan yang ditempatkan pada rambu sebesar 6,3 ft akan menghasilkan sudut  $\alpha$  yang dicari. Jika EDM dan teodolit cocok untuk satu kerangka bawah (tribrach), teodolit dapat ditempatkan di atas kaki tiga (tripod) setelah pengukuran jarak selesai tetapi kaki tiga belum diangkat. Kemudian dengan membidik pemantul, sudut vertikal  $\alpha$  yang dicari dapat diperoleh walaupun ada beda tinggi. Hitungan atau prosedur lapangan khusus untuk memperhitungkan beda tinggi sebaiknya dihindari, dan ini biasanya dapat dilaksanakan dengan jalan memasang instrumen EDM dan pemantul pada kedudukan vertikal yang sama – misalnya setinggi mata.

Jika EDM dipasang di atas teodolit seperti pada Gambar 5-2(a) dan (b), energi akan dipancarkan dari titik yang bergeser vertikal di atas sumbu dua teodolit. Sudut vertikal  $\alpha_m$  diukur ke pusat pemantul, biasanya akan diperoleh pada waktu pengukuran jarak. Jika instrumen EDM dipasang di atas teropong sehingga ikut bergerak bersama garis bidik teodolit, koreksi untuk pergeseran vertikal tidak diperlukan, dan jarak horisontal diperoleh dengan memakai  $L$  dan  $\alpha_m$  dalam Pers. (4-3). Tetapi bila pemasangannya di atas penopang seperti pada Gambar 5-10, sebuah koreksi sebesar  $\Delta\alpha_v$  akan diperlukan untuk memperhitungkan pergeseran  $v$ . Sudut ini (dalam sekon) adalah

$$\Delta\alpha_v'' = \frac{v \cos \alpha_m}{L} \times 206.265 \text{ sekon/radial} \quad (5-5)$$

Koreksi itu harus dikurangkan dari  $\alpha_m$  (yang menambah sudut vertikal untuk pembidikan menurun dan menambahnya untuk pembidikan ke atas) untuk memperoleh sudut yang benar dalam pemakaian Pers. (4-3). Demikian pula, koreksi ini dapat dihindari dengan jalan membidik di bawah pemantul sejauh  $v$  pada waktu mengukur sudut vertikal.

Untuk garis-garis panjang, galat-galat yang disebabkan karena mengabaikan beda tinggi antara instrumen dan pemantul, atau pergeseran vertikal optika pancaran di atas teodolit, adalah tidak penting. Tetapi menjadi penting pada jarak-jarak pendek.

## CONTOH 5-2

Sebuah sudut vertikal sebesar  $7^\circ 25'$  (menurun) diukur ke pusat pemantul, dan diperoleh jarak miring 153,72. Jika instrumen EDM dipasang pada penyangga dan geser vertikal sebesar 0,66 ft, berapakah jarak horisontal terkoreksi? (Anggaplah tinggi teodolit dan pemantul sama.)

Dengan Pers. (5-5):

$$\Delta\alpha_v'' = \frac{0,66 \cos 7^\circ 25'}{153,72} \times 206.265 = 878 \text{ sekon} = 14,6 \text{ menit}$$

$$\alpha = -7^\circ 25' - 0^\circ 14,6' = -7^\circ 39,6'$$

Dengan Pers. (4-3):

$$L = 153,72 \cos (-7^\circ 39,6') = 152,35 \text{ ft}$$

Perhatikan bahwa jika pergeseran vertikal diabaikan, jarak horisontal tereduksi akan sebesar 152,43 ft, dengan galat sebesar 0,08 ft.

## SOAL-SOAL

- 5-1. Sebutkan beberapa keuntungan pengukuran jarak elektronik.
- 5-2. Buatlah analisa perbedaan-perbedaan antara instrumen-instrumen EDM elektro-optis dan gelombang-renik.
- 5-3. Jelaskan dengan ringkas bagaimana sebuah jarak dapat diukur dengan metode perbandingan fase.
- 5-4. Jika energi elektromagnetik merambat 186.000 mil/detik dalam kondisi tertentu, berapa satuan panjang yang bersesuaian dengan tiap milimikrodetik?
- 5-5. Kecepatan energi elektromagnetik lewat atmosfer pada tekanan baku barometer 29,92 in air raksa, dinyatakan sebesar 299.792,5 km/detik untuk pengukuran dengan instrumen EDM. Berapa waktu terlambat dalam instrumen akan menghasilkan sebuah galat 50 ft dalam jarak ke sebuah sasaran sejauh 50 mil?
- 5-6. Bagaimana perubahan-perubahan dalam perambatan energi elektromagnetik karena keadaan atmosferik diperhitungkan dalam pengukuran jarak dengan Hewlett-Packard 3805A?
- 5-7. Tuliskan frekuensi-frekuensi modulasi energi elektromagnetik yang dipancarkan oleh sebuah Hewlett-Packard 3805A. Frekuensi mana yang dipakai untuk memperoleh kesaksamaan dalam pengukuran? Jelaskan mengapa.
- 5-8. Jika sebuah instrumen EDM dikatakan mempunyai kemampuan ketelitian  $\pm(5\text{mm} + 5 \text{ ppm})$ , berapa galat dapat diharapkan dalam jarak terukur (a) 2000 ft? (b) 800 m? (c) 2 mil?
- 5-9. Jika sebuah instrumen EDM tertentu mempunyai kemampuan ketelitian  $\pm(7 \text{ mm} + 7 \text{ ppm})$ , berapa kesaksamaan pengukuran dalam arti  $1/x$  untuk panjang garis (a) 100 ft? (b) 500 ft? (c) 3000 m?
- 5-10. Untuk menera sebuah instrumen EDM jarak-jarak  $AC$ ,  $AB$ , dan  $BC$  sepanjang sebuah garis lurus diukur berturut-turut 2438,29 m, 1206,48 m dan 1231,84 m. Berapakah tetapan instrumen untuk instrumen ini? Hitunglah panjang tiap potong garis terkoreksi untuk tetapan instrumen.
- 5-11. Uraikan berbagai galat sistematik yang mempengaruhi pengukuran jarak elektronik.
- 5-12. Mana yang menyebabkan galat lebih besar dalam sebuah garis diukur dengan sebuah EDM?
  - (a) Beda suhu  $5^\circ\text{C}$  dari pembakuan yang diabaikan.
  - (b) Beda tekanan udara 5 mm-air-raksa dari pembakuan yang diabaikan.

- 5-13. Bila dianggap suhu dan tekanan-sebenarnya pada waktu pengukuran adalah  $15^{\circ}\text{C}$  dan 760 mm Hg, berapa beda suhu, dalam derajat Fahrenheit, akan menghasilkan galat 0,01 ft pada garis yang ditentukan dengan sebuah instrumen EDM, panjangnya (a) 1500 ft? (b) 800 m?
- 5-14. Dengan menganggap suhu dan tekanan pada waktu pengukuran adalah  $15^{\circ}\text{C}$  dan 760 mm Hg, berapa beda tekanan, dalam inches air raksa, akan menghasilkan galat 0,01 ft pada sebuah garis ditentukan dengan instrumen EDM, panjangnya (a) 1500 ft? (b) 800 m?
- 5-15. Jika suhu dan tekanan pada waktu pengukuran adalah  $15^{\circ}\text{C}$  dan 760 mm Hg, berapa galat dalam pengukuran garis 10 mil secara elektronis jika suhu di saat pengamatan tercatat terlalu rendah  $5^{\circ}\text{C}$ ?
- 5-16. Untuk suhu dan tekanan-sebenarnya  $15^{\circ}\text{C}$  dan 760 mm Hg, dalam pekerjaan EDM, berapa beda suhu terhadap pembakuan yang diabaikan menyebabkan galat pengukuran (a) 1 bagian dalam 100,000? (b) 1 bagian dalam 250,000?
- 5-17. Berapa sudut beda fase pada frekuensi 15-MHz sebuah HP 3805A dapat mengunjukkan pembacaan jarak (a) 1968,27 ft? (b) 742,957 m?
- 5-18. Dalam Gambar 5-9,  $h_e$ ,  $h_r$ , elevasi  $A$ , elevasi  $B$  dan jarak miring terukur  $L$  berturut-turut adalah: 5,10; 4,35; 825,75; 987,35 dan 1284,29 ft. Hitunglah jarak horisontal antara  $A$  dan  $B$ .
- 5-19. Serupa Soal 5-18, kecuali bahwa harga-harganya berturut-turut adalah 1,205; 1,804, 643,21; 568,29, dan 940,07 m.
- 5-20. Dalam Gambar 5-9,  $h_e$ ,  $h_r$ ,  $\alpha_t$  dan panjang  $L$  miring terukur berturut-turut adalah 5,25 ft, 4,50 ft,  $-13^{\circ}27'30''$  dan 875,29 ft. Hitung jarak horisontal antara  $A$  dan  $B$ .
- 5-21. Serupa Soal 5-20, kecuali  $h_e$ ,  $h_r$ ,  $L$  dan  $\alpha_t$  adalah berturut-turut 1,52 m, 1,84 m, 245,06 m, dan  $9^{\circ}24'15''$ .
- 5-22. Dalam Gambar 5-10, dicatat sudut vertikal  $\pm 10^{\circ}45'50''$ . Instrumen EDM dipasang pada penyangga teodolit dan jarak geser vertikal di atas sumbu teodolit adalah 0,75 ft. Jika teodolit dan pemantul sama tingginya, berapa jarak horisontal terkoreksi untuk jarak miring yang tercatat sebesar 179,48 ft?
- 5-23. Serupa Soal 5-22 kecuali bahwa tercatat berturut-turut sudut vertikal, jarak geser vertikal instrumen EDM, dan jarak miring adalah  $-8^{\circ}06'20''$ , 0,22 m dan 77,54 m.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bell, T.P. 1978. "Sebuah Pendekatan Praktis pada Pengukuran Jarak Elektronik". *Surveying and Mapping* 38(no. 4): 335.
- Crisp, R. 1979. "Pengukuran Elektronik dan Pencatatan Data Geodetik Langsung-di-tempat". *Bulletin, American Congress on Surveying and Mapping*, no. 67, hal. 15.
- Greene, J.R. 1977. "Evaluasi Ketelitian dalam Instrumen-instrumen Pengukuran Jarak Elektro-Optis". *Surveying and Mapping* 37(no. 3): 247.
- Kesler, J.M. 1973. "Reduksi Lereng EDM dan Sipat Datar Trigonometrik". *Surveying and Mapping* 33(no. 1): 61.
- Kivioja, L.A. 1978. "Tetapan Pemantul-sudut EDM adalah Taktetap". *Surveying and Mapping* 38(no. 2): 143.
- McDonnel, P.W. Jr. 1982. "Pencacahan EDM 1982". *Point of Beginning* 7(no. 3): 24.
- . 1983. "Pencacahan EDM 1983". *Point of Beginning* 8(no. 3): 11.
- Romaniello, C.G. 1977. "EDM 1976". *Surveying and Mapping* 37(no. 1): 25.
- Saxena, N.K. 1975. "Instrumen-instrumen Pengukuran Jarak Pendek Elektro-Optis." *ASCE Journal of the Surveying and Mapping Division* 101(no. SU1): 137.
- Witte, B.U., dan W. Schwarz. 1982. "Peneraan Pengukur Jarak Elektro-Optis – Pengalaman yang didapat dan Catatan Umum nisbi terhadap Peneraan". *Surveying and Mapping* 42(no. 2): 151.

# 6

## SIPAT DATAR – TEORI, METODE, PERALATAN

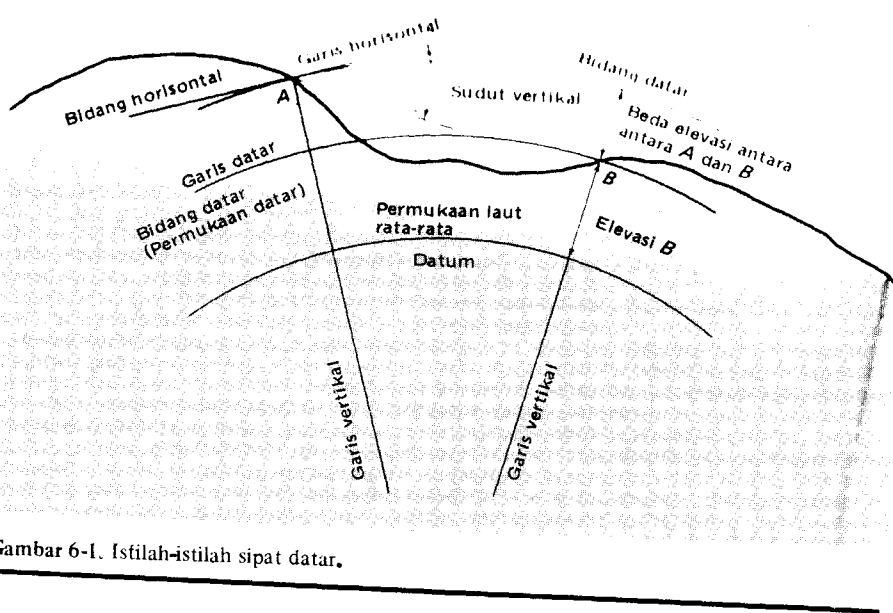
### BAGIAN I TEORI

**6-1. PENGANTAR.** *Sipat datar* adalah istilah umum untuk yang manapun dari berbagai proses dengan mana elevasi titik atau beda elevasi ditentukan. Sipat datar adalah pekerjaan sangat penting dalam menghasilkan data untuk pemetaan, rancangan rekayasa, dan konstruksi. Hasil sipat datar dipakai untuk (a) merancang jalan raya, jalan baja, dan saluran-saluran yang mempunyai garis gradien paling sesuai dengan topografi yang ada; (b) merencanakan proyek-proyek konstruksi menurut elevasi terencana; (c) menghitung volume pekerjaan tanah; (d) menyelidiki ciri-ciri aliran di suatu wilayah; dan (e) mengembangkan peta-peta yang menunjukkan bentuk tanah secara umum.

**6-2. DEFINISI-DEFINISI.** Istilah-istilah dasar dalam sipat datar didefinisikan dalam paragraf ini, beberapa di antaranya dijelaskan dalam Gambar 6-1.

**Garis Vertikal.** Sebuah garis yang berimpit dengan arah gaya berat seperti ditunjukkan oleh sebuah garis unting-unting.

**Permukaan Datar.** Sebuah permukaan melengkung yang pada tiap titiknya tegak lurus pada garis unting-unting (arah pada mana gaya berat bekerja). Bentuk permukaan-permukaan datar mendekati sebuah sferoid. Permukaan tenang air tergenang adalah contoh yang



Gambar 6-1. Istilah-istilah sipat datar.

**Garis Datar.** Sebuah garis di permukaan datar — karenanya, sebuah garis lengkung.

**Bidang Horisontal.** Sebuah bidang datar tegak lurus arah gaya berat. Dalam pengukuran tanah datar, sebuah bidang datar tegak lurus garis unting-unting.

**Garis Horisontal.** Sebuah garis pada bidang horisontal tegak lurus arah vertikal.

**Datum.** Sembarang permukaan datar yang dipakai sebagai acuan elevasi (sebagai contoh, permukaan laut pukul rata). Juga disebut *datum plane* walaupun sebenarnya bukan bidang datar.

**Permukaan Laut Pukul Rata (mean sea level, MLS).** Tinggi rata-rata permukaan laut untuk semua tingkat pasang surut selama periode lebih dari 19 tahun. Tinggi itu didapat dari pembacaan-pembacaan, biasanya diambil tiap jam, pada 26 buah stasiun sepanjang pantai Atlantik dan Pasifik serta Teluk Meksiko. Elevasi laut berbeda dari stasiun ke stasiun tergantung pengaruh pasang surut setempat; sebagai contoh, pada dua titik yang terpisah sejauh  $\frac{1}{2}$  mil pada bagian yang berlawanan dari sebuah pulau di Florida Keys, tingginya berbeda 0,3 ft. Oleh karena itu, untuk menyediakan acuan umum untuk elevasi seluruh Amerika Utara, perlu untuk mengambil sebuah permukaan laut pukul rata. Para ilmuwan di the National Oceanic and Atmospheric Administration melaporkan bahwa tutupan es kutub yang menyusut dapat menyebabkan permukaan laut di bumi naik dengan kecepatan sedikit di atas 0,1 in setahun sejak tahun 1940 — tiga kali lipat kecepatan 50 tahun sebelumnya. Jika gejala ini berlanjut, wilayah-wilayah pantai yang rendah akan terkena akibatnya dalam tahun-tahun mendatang.

**Datum Pasang-surut.** Tinggi rata-rata seluruh air pasang yang diamati dari tahun 1960 sampai 1978. Definisi-definisi baru dari datum-datum pasang-surut — pasang pukul rata (mean high water, MHW), pasang lebih tinggi pukul rata (mean higher high water, MHHW), surut pukul rata (mean low water, MLW), surut lebih rendah pukul rata (mean lower low water, MLLW) — mulai berlaku tahun 1980. Definisi untuk air pasang (high water, MH)

dan air surut (low water, LW) tidak berubah. Datum-datum pasang surut adalah penting dalam pengukuran untuk menentukan batas-batas pemukiman dan laut, hak-hak perikanan di perairan pasang surut, dan batas-batas rawa dan daerah banjir.

**Datum Vertikal Geodetik Nasional (National Geodetic Vertical Datum, NGVD).** Permukaan acuan nasional untuk elevasi seluruh Amerika Serikat disediakan bagi juru-ukur setempat oleh the National Geodetic Survey dengan penetapan ribuan titik tetap duga (bench marks) di seluruh negara.<sup>1</sup> Titik-titik itu diperoleh dengan perataan kuadrat terkecil seluruh sipat datar orde-pertama di Amerika Serikat dan Kanada dalam tahun 1929. Dengan perataan telah dipastikan letak seluruh 26 stasiun pasang-surut (21 di Amerika Serikat, 5 di Kanada) dan mengacukan NGVD terhadap MLS. Sejak perataan tahun 1929, lebih dari 625.000 km jalur sipat datar telah ditambahkan kepada Jaringan Titik Kontrol Vertikal Nasional (National Vertical Control Network). Program perataan ulang lainnya yang akan diselesaikan tahun 1987 akan mencakup pengukuran jalur sipat datar baru sepanjang 110.000 km, mengkonversikan sipat datar sepanjang 900.000 km menjadi sebuah format basis data, dan menentukan elevasi perbaikan untuk 480.000 buah titik tetap duga. Proyek lain akan mengganti setengah dari titik-titik tetap duga yang hancur.

**Konvergensi Permukaan Datar.** Suatu gejala yang disebabkan karena pemampatan bumi pada arah kutub-kutubnya sehingga permukaan-permukaan datar pada elevasi yang berbeda tidak sejajar. Keadaan ini memerlukan *koreksi ortometrik* untuk jaringan sipat datar utara-selatan yang panjang dalam pekerjaan saksama. Harganya yang nisbi kecil, merupakan fungsi lintang dan elevasi jaringan sipat datar. Pada sebuah jalur sipat datar yang diukur mulai dari Seattle ke Los Angeles, akan diperlukan koreksi kira-kira 2 ft.

**Elevasi.** Jarak vertikal dari sebuah datum, biasanya NGVD, sampai ke suatu titik atau obyek. Jika elevasi titik A, adalah 802,46 ft, maka A adalah 802,46 ft di atas sesuatu datum.

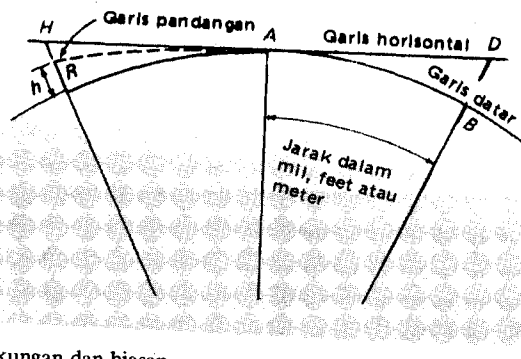
**Titik Tetap Duga (Bench Mark, BM).** Sebuah obyek yang nisbi tetap, alamiah maupun buatan, mempunyai titik yang ditandai dan elevasinya di atas atau di bawah datum yang dipakai, diketahui atau dianggap tertentu. Contoh yang umum adalah piringan logam terpasang pada beton, batu besar, bagian tak gerak pada hidran kebakaran, dan kaki-lima.

**Sipat Datar.** Proses menemukan elevasi titik atau beda elevasi titik-titik.

**Titik Kontrol Vertikal.** Serangkaian BM atau titik-titik lain yang diketahui elevasinya ditetapkan di seluruh proyek, juga dikenal dengan istilah *titik kontrol dasar* (basic control) atau *titik kontrol sipat datar* (level control). Titik kontrol vertikal dasar untuk pemetaan topografik Amerika Serikat, dijabarkan dari sipat datar orde-pertama dan orde-kedua. Sipat datar orde-ketiga yang kurang saksama sudah cukup memuaskan untuk mengisi selang-selang antara titik-titik tetap duga orde-kedua maupun untuk banyak proyek lainnya (lihat Bab 20).

**6-3. KELENGKUNGAN DAN BIASAN.** Dari definisi-definisi permukaan datar dan garis horisontal, jelas bahwa garis horisontal memisah diri dari permukaan datar karena adanya

<sup>1</sup> Lokasi dan elevasi titik-titik tetap duga dapat diperoleh dari the National Geodetic Information Center, National Ocean Survey, NOAA, Rockville, MD 20852. Telepon: (301) 443-8631.



Gambar 6-2. Kelengkungan dan biasan.

Kelengkungan bumi. Dalam Gambar 6-2 penyimpangan  $DB$  dari garis horisontal melalui titik  $A$  dinyatakan pendekatannya dengan rumus

$$C_f = 0,667M^2 = 0,0239F^2 \quad (6-1a)$$

$$C_m = 0,0785K^2 \quad (6-1b)$$

di mana penyimpangan permukaan datar terhadap garis horisontal adalah  $C_f$  dalam feet atau  $C_m$  dalam meter,  $M$  adalah jarak dalam mil,  $F$  jarak dalam ribuan feet, dan  $K$  jarak dalam kilometer.

Karena titik  $A$  dan  $B$  pada sebuah garis datar, keduanya mempunyai elevasi yang sama. Jika garis bidik horisontal, kelengkungan bumi menyebabkan rambu di  $B$  terbaca terlalu tinggi sebesar  $BD$ .

Sinar melewati atmosfer bumi dibelokkan atau dibiaskan mengarah ke permukaan bumi seperti ditunjukkan dalam Gambar 6-3. Jadi, garis bidik yang teoritis horisontal sepanjang  $AH$  dalam Gambar 6-2, menjadi bengkok berbentuk lengkung  $AR$ . Oleh karenanya, seolah-olah obyek di  $R$  nampak ada di  $H$ , dan pembacaan pada rambu yang dipegang di  $R$  berangsur sebesar  $RH$ .

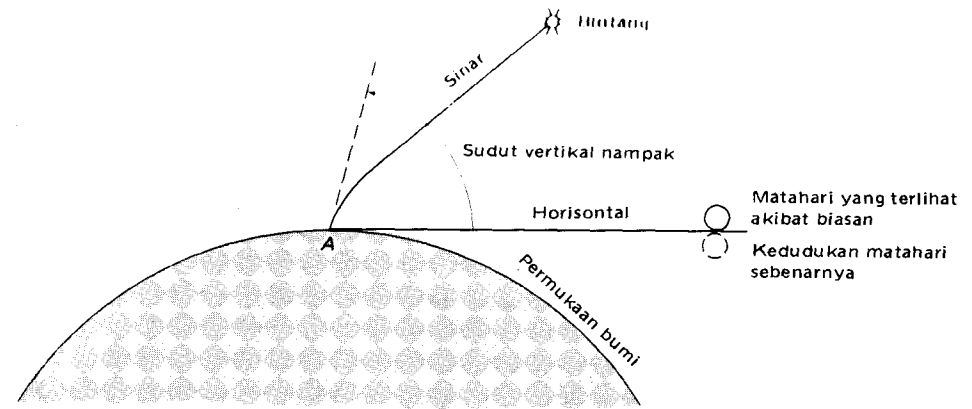
Pengaruh biasan yang membuat obyek kelihatan lebih tinggi daripada sebenarnya (karena menyebabkan pembacaan rambu terlalu kecil) dapat diingat dengan memperhatikan apa yang terjadi bila matahari ada di horison, seperti pada Gambar 6-3. Pada saat matahari baru saja lewat di bawah horison, terlihat masih di atas horison. Garis tengah matahari yang kira-kira 32 menit, kira-kira sama dengan biasan rata-rata pada bidikan horisontal.

Penyimpangan akibat biasan itu berubah-ubah. Besarnya tergantung pada kondisi atmosferik, panjang garis, dan sudut antara garis bidik dengan arah vertikal. Untuk bidikan horisontal, biasan  $R_f$  dalam feet atau  $R_m$  dalam meter dinyatakan kira-kira dengan rumus

$$R_f = 0,093M^2 = 0,0033F^2 \quad (6-2a)$$

$$R_m = 0,011K^2 \quad (6-2b)$$

dan kira-kira sepertujuh pengaruh kelengkungan bumi, tetapi dalam arah berlawanan.



Gambar 6-3. Biasan.

Pengaruh gabungan kelengkungan dan biasan,  $h_f$  dalam feet atau  $h_m$  dalam meter, kira-kira

$$h_f = 0,574M^2 = 0,0206F^2 \quad (6-3a)$$

atau

$$h_m = 0,0675K^2 \quad (6-3b)$$

Untuk bidikan 100, 200, dan 300 ft,  $h_f$  = 0,00021 ft, 0,00082 ft, dan 0,0019 ft berturut-turut, atau 0,00067 m untuk panjang 100 m. Akan diterangkan dalam Paragraf 7-4 bahwa walaupun pengaruh gabungan kelengkungan dan biasan menghasilkan pembacaan rambu yang sedikit lebih besar, prosedur lapangan yang benar pada umumnya dapat sama sekali menghilangkan galat karena kedua sebab itu.

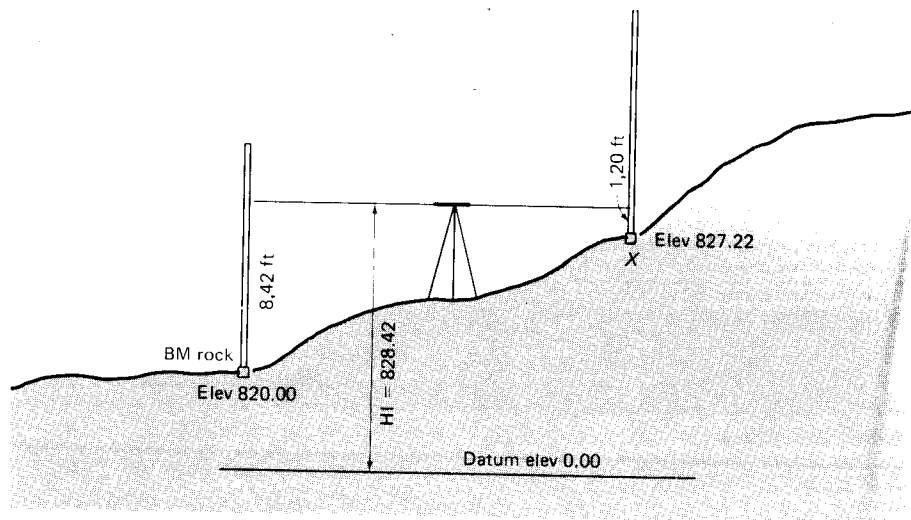
**6-4. CARA-CARA MENENTUKAN SELISIH DALAM ELEVASI.** Secara tradisional, selisih elevasi telah ditentukan dengan pengukuran memakai pita, sipat datar memanjang, sipat datar barometrik, dan secara tak langsung dengan sipat datar trigonometrik. Berikut ini adalah uraian ringkas metode-metode itu. Teknik-teknik yang lebih baru yang dibicarakan dalam Paragraf 20-14 dan 20-15 memakai sistem kelembaman dan doppler satelit.

**6-4.1. METODE PENGUKURAN DENGAN PITA.** Pemakaian sebuah pita pada garis vertikal antara dua titik kadang-kadang memungkinkan. Metode ini dipakai untuk mengukur dalam lubang tambang dan dalam perencanaan dan konstruksi gedung bertingkat. Jika saluran air atau pembuangan limbah sedang dipasang, pita dapat diganti dengan rambu ukur.

**6-4.2. SIPAT DATAR MEMANJANG.** Dalam metode yang paling biasa dipakai ini, sebuah garis bidik horisontal ditetapkan dengan memakai sebuah tabung nivo atau pemampas (compensator) otomatis. Sebuah teropong dengan perbesaran yang sesuai dipakai untuk membaca jarak vertikal antara titik tertentu dengan titik bidik pada rambu ukur.

Prosedur dasarnya digambarkan pada Gambar 6-4. Sebuah instrumen didirikan kurang lebih di tengah antara BM Rock dan titik  $X$ . Elevasi BM Rock dianggap diketahui sebesar 820,00 ft. Setelah instrumen diatur mendatar, dibidik rambu di BM (bidikan plus) terbaca 842 ft. Bidikan plus (+S) disebut pula rambu belakang (RB) adalah pembacaan pada





Gambar 6-4. Sipat datar memanjang.

Rambu yang dipegang di atas titik yang diketahui atau dianggap diketahui tingginya (elevasinya). Pembacaan ini dipakai untuk menghitung *tinggi instrumen* (TI), yaitu jarak vertikal dari datum ke garis bidik instrumen. Arah pembidikan tidak penting – apakah ke depan, ke belakang atau ke samping. Istilah *bidikan plus* lebih disukai daripada *rambu belakang*, tetapi keduanya dipakai. Dengan menambahkan bidikan plus 8,42 ft pada elevasi BM Rock 820,00, didapat TI sebesar 828,42 ft.

Teropong diputar membidik rambu yang dipegang di titik X, didapat *bidikan minus* (S), juga disebut *rambu depan* (RD) 1,20. Bidikan minus adalah pembacaan rambu di titik yang dicari elevasinya. Istilah *bidikan minus* lebih disukai daripada *rambu depan*. Mengurangkan bidikan minus 1,20 ft dari TI 828,42, menghasilkan elevasi titik X sebagai 827,22 ft.

Jadi seluruh teori dan penerapan sipat datar dapat dinyatakan dengan dua buah persamaan, yang diulangi berkali-kali:

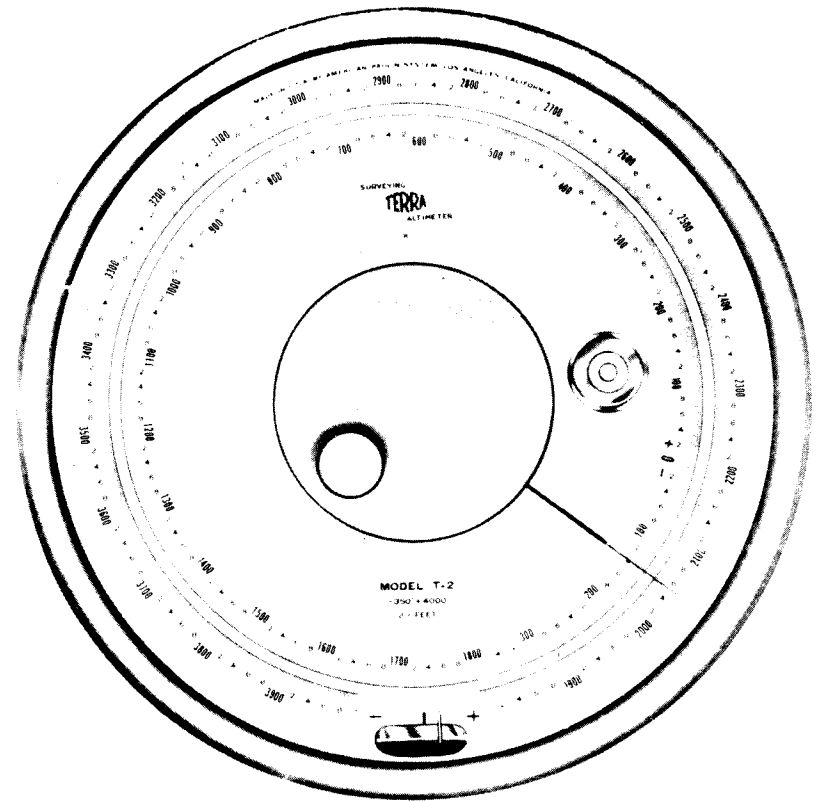
$$\text{Elevasi} + \text{RB} = \text{TI} \quad (6-4)$$

$$\text{TI} - \text{RD} = \text{Elevasi} \quad (6-5)$$

**6-4.3. SIPAT DATAR BAROMETRIK.** Barometer, sebuah instrumen yang mengukur tekanan udara, dapat dipakai untuk menemukan elevasi nisbi titik-titik di permukaan bumi. Gambar 6-5 memperlihatkan sebuah altimeter ukur tanah. Peneraan skala pada alat-model yang berbeda adalah dalam kelipatan dari 1 atau 2 ft,  $\frac{1}{2}$  atau 1 m.

Tekanan udara dipengaruhi oleh keadaan lain yang bukan hanya beda elevasi – misalnya, perubahan-perubahan suhu mendadak dan perubahan kondisi cuaca karena badai. Pada tiap siang hari, terjadi variasi tekanan barometrik normal yang mungkin seharga beda elevasi sebesar 100 ft. Variasi ini dikenal sebagai *variasi harian*.

Dalam sipat datar barometrik, sebuah atau lebih barometer-pengatur tetap di titik pengamatan (basis) sementara *instrumen-edar* dibawa ke titik-titik yang elevasinya dicari. Pengamatan dibuat di basis-basis pada interval-interval waktu tertentu, mungkin tiap 10 menit. Elevasi dicatat bersama suhu dan waktu. Pembacaan barometer-edar dibuat di titik-



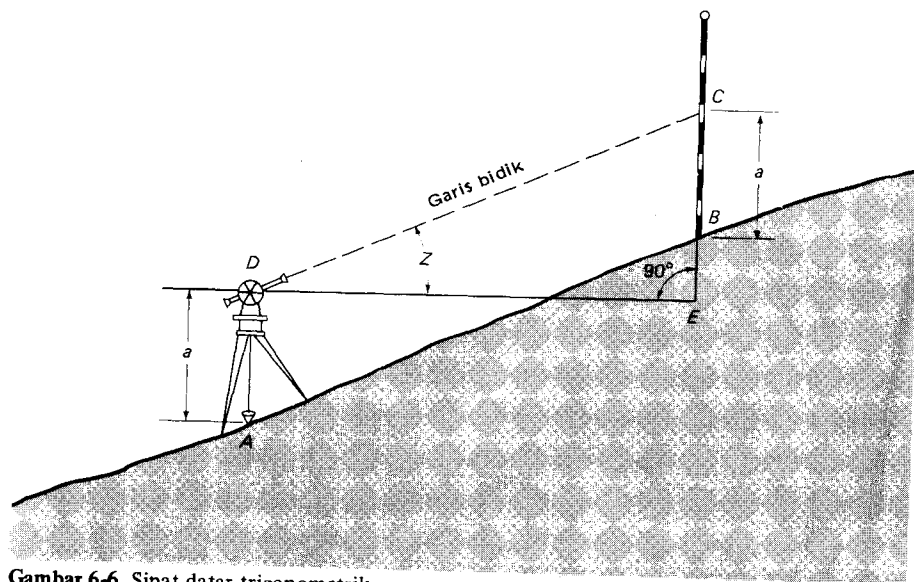
Gambar 6-5. Altimeter ukur tanah. (Atas kebaikan American Paulin System.)

titik kritis (critical) dan kemudian diratakan sesuai dengan perubahan-perubahan yang diamati di titik-titik pengatur. Metode pengukuran lapangan dengan barometer telah dikembangkan di mana mungkin dipakai satu, dua atau tiga basis. Metode lain memakai teknik lompat-katak atau setengah lompat-katak.

Metode barometrik khususnya cocok untuk pekerjaan di wilayah yang sulit di mana harus diliput areal luas tetapi tak diperlukan ketelitian orde-tinggi. Dalam kondisi cuaca yang stabil, dan memakai beberapa barometer, dapat diukur elevasi dengan ketelitian  $\pm 2$  sampai 3 ft.

**6-4.4. SIPAT DATAR TRIGONOMETRIK.** Beda elevasi antara dua titik dapat ditentukan dengan mengukur (a) jarak miring atau horisontal antara keduanya dan (b) sudut vertikal ke satu titik dari bidang horisontal melalui titik yang lain. Jadi dalam Gambar 6-6 jika jarak miring *AB* atau *DC* dan sudut vertikal *EDC* diukur, kemudian beda elevasi antara *A* dan *B* adalah  $EC = DC \sin EDC$ . Jika dipakai jarak horisontal, maka persamaannya melibatkan fungsi tangen.

Sipat datar trigonometrik biasa dipakai dalam pekerjaan topografik dan di tanah yang



Gambar 6-6. Sipat datar trigonometrik.

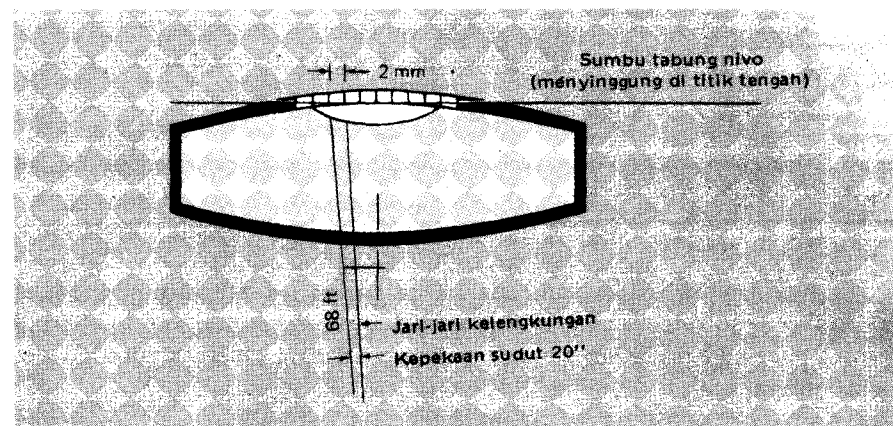
Angkat tidak rata. Instrumen stasiun-kotah yang baru (lihat Paragraf 5-6) telah membuat sipat datar trigonometrik mudah dan cepat diselesaikan.

Klinometer Suunto adalah instrumen baca-optis yang dipegang dengan tangan, berguna untuk berbagai tugas pengukuran yang berat, termasuk sipat datar trigonometrik. Alat ini mempunyai tiga skala pembagian dalam (a) derajat dari 0 sampai  $\pm 90^\circ$  untuk pembacaan sudut vertikal, (b) persentase lereng dari 0 sampai 150% untuk pengukuran tebing, dan (c) 0 sampai  $\pm 200$  ft pada skala topo untuk menentukan jarak. Alat ini dapat dibaca sampai  $1^\circ$  atau 1% dan dekat datar sempurna, perkiraan sampai 10 menit atau 0,2%. Berat alat ini hanya 4,2 ons dan dipakai oleh para juru-ukur, insinyur, pemborong bangunan, ahli hutan, dan lain-lain untuk mengukur tinggi, lereng dan sudut vertikal.

## BAGIAN II PERALATAN UNTUK SIPAT DATAR MEMANJANG

**JENIS-JENIS ALAT SIPAT DATAR.** Jenis-jenis instrumen yang dipakai dalam sipat datar memanjang adalah *jenis-Y* (wye), jenis *semua-tetap* (dummy), jenis *semua-tetap dengan pengungkit*, jenis *otomatik*, jenis *laser pelacak*, dan jenis *geodetik saksama*. Untuk pekerjaan kurang begitu teliti, sering dipakai alat sipat datar tangan. Semuanya dibicarakan dalam bab ini kecuali alat sipat datar geodetik saksama yang dibicarakan dalam Bab 20, dan sipat datar laser pelacak dibicarakan dalam Bab 24. Teodolit kompas dan teodolit juga dipakai untuk sipat datar. Hal ini dibicarakan dalam Bab 10 dan pemakaiannya mengenai alat sipat datar dibahas dalam Paragraf 11-17.

Walaupun masing-masing instrumen agak berbeda dalam rancangannya, semua mempunyai teropong dan alat untuk mengatur garis bidik pada bidang horisontal. Kecuali pada sipat datar otomatis, pengaturan dikerjakan dengan sekrup penyetel dan tabung nivo.



Gambar 6-7. Tabung nivo.

cepat, dan nisbi stabil panjangnya dalam variasi suhu normal. Alkohol buatan yang dimurnikan umumnya telah menggantikan campuran alkohol dan eter yang dipakai sebelumnya. Garis-garis pembagian berjarak sama di permukaan luar tabung menunjukkan kedudukan nisbi gelembung. Pada tabung-tabung buatan sekarang, biasanya garis-garis pembagian berjarak 2 mm, namun pernah dipakai pula selang-selang 0,01 ft dan 0,1 in.

*Sumbu tabung nivo* adalah garis khayal memanjang menyinggung permukaan dalam sebelah atas di tengah-tengah. Jika gelembung digerakkan hingga seimbang, maka sumbu-nya menjadi garis horisontal seperti pada Gambar 6-7.

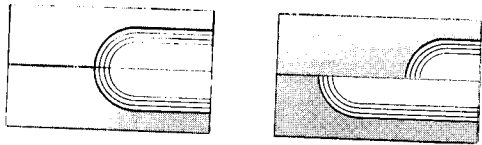
*Kepekaan* tabung nivo ditentukan oleh jari-jari kelengkungan yang terbentuk dalam pengasahan gelas. Makin besar jari-jarinya, makin peka gelembungnya. Gelembung yang sangat peka, diperlukan untuk pekerjaan saksama, dapat merupakan hambatan dalam pengukuran kasar karena banyak waktu diperlukan untuk menyeimbangkannya.

Alat sipat datar yang dirancang dengan baik mempunyai kepekaan nivo yang bertalian dengan daya pemisah teropongnya. Sedikit gerakan gelembung harus disertai oleh perubahan satu menit dalam pembacaan rambu pada jarak kira-kira 200 ft. Kepekaan tabung nivo dinyatakan dalam dua cara: dengan (a) sudut dalam sekon, di hadapan satu pembagian skala dan (b) jari-jari kelengkungan tabung.

Jika satu pembagian skala berhadapan dengan sudut sebesar 20 sekon di pusat, disebut gelembung 20-sekon. Karena bermacam-macam jarak pembagian telah dipakai, ini bukan selalu merupakan perbandingan yang wajar. Gelembung 20-sekon pada tabung nivo dengan pembagian 2-mm mempunyai jari-jari 68-ft. Kepekaan tabung nivo pada alat sipat datar jenis-Y dan semua-tetap berkisar dari kira-kira 20 sampai 90 sekon, sedangkan harga umumnya adalah 20 sekon untuk pembagian 2-mm.

Teodolit, EDMs, nivo rambu, kerangka bawah teodolit, dan peralatan lain mempunyai tabung nivo gelembung-lingkaran (nivo kotak) dengan kepekaan berkisar dari 5–15 menit per 2-mm pembagian. Cara-cara lain untuk menyatakan kepekaan telah diusulkan tetapi belum dibakukan.

Gambar 6-8 menggambarkan gelembung nivo *jenis tepat-gelembung* (coincidence type) yang dipakai pada peralatan saksama. Gelembung diseimbangkan dengan jalan menggerakkan kedua ujungnya bersama membentuk lengkungan bersambung. Sebuah prisma mem-

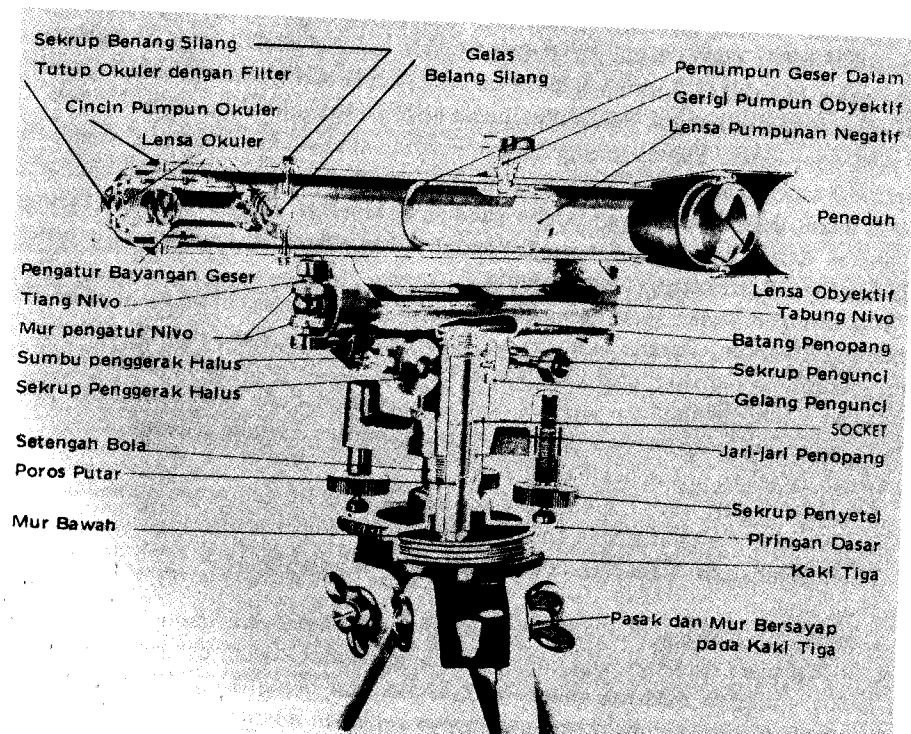


Gambar 6-8. Tabung nivo jenis tepat-gelembung telah diseimbangkan pada gambar kiri; dua kali penyimpangan gelembung terlihat di gambar kanan. (Atas kebaikan Kern Instruments, Inc.)

kedua ujungnya dan perbesaran yang ada dalam instrumen pembacaan optis, dapat diseimbangkan dengan ketelitian barangkali sampai seperempatpuluh kepekaannya. Jadi, keseksamaan yang mungkin dalam pemusatan, bersama dengan kepekaan gelembung, mempengaruhi hasilnya.

**6-7. TEROPONG.** Teropong pada jenis semua-tetap (Gambar 6-9) adalah sebuah tabung logam berisi empat bagian utama: lensa obyektif, lensa negatif, susunan benang silang dan okuler.

**Lensa Obyektif.** Lensa majemuk ini, dipasang mati di ujung tabung ke arah sasaran, dengan sumbu optisnya berimpit sumbu tabung. Sinar yang mengenai lensa kira-kira 4 sampai 5% hilang karena pantulan dan serapan, walaupun sinar itu tegak lurus permukaannya. Untuk sistem lensa majemuk, berkurangnya sinar menjadi berlipat ganda dan dapat menjadi kritis. Kehilangan karena pantulan praktis dihilangkan dengan lapisan tipis seragam ( $\frac{1}{4}$  panjang gelombang cahaya) menutupi permukaan lensa yang berbatasan dengan



udara. Lapisan ini mempunyai indeks bias lebih kecil daripada indeks bias gelas. Hilangnya sinar karena serapan biasanya tidak serius kecuali lensanya sangat tebal.

**Lensa Negatif.** Lensa negatif harus dipasang dalam sebuah tabung geser sehingga sumbu optisnya berimpit dengan sumbu optis lensa obyektif. Susunan ini memusatkan berkas sinar lewat lensa obyektif ke atas bidang susunan benang silang. Penting sekali bahwa tabung geser dan tabung yang menerima di dalamnya tepat pas sehingga tidak akan ada penyimpangan salah satu sumbu lensa – obyektif atau negatif – pada waktu proses memumpun (focus) dari jarak maksimum ke jarak minimum. Jika sebuah obyek yang jauh dibidik – misalnya, rambu pada bidikan jauh dalam sipat datar timbal balik (lihat Paragraf 7-5) – jarak dari lensa ke bayangan yang dibentuknya disebut *jarak fokus* (jarak pumpun).

**Susunan Benang Silang.** Susunan benang silang adalah sepasang garis yang dipasang dekat okuler tabung utama dan letaknya pada fokus utama sistem optis obyektif. Titik silang kedua garis ini bersama dengan pusat optis sistem obyektif, membentuk sumbu pengarah teropong yang biasa disebut *garis kolimasi* atau *garis bidik*. Susunan benang silang ditopang oleh dua pasang sekrup putar berhadapan yang letaknya tegak lurus satu sama lain, sepasang horisontal dan lainnya vertikal, untuk memudahkan penyetelan garis bidik (lihat Apendiks A).

Tadinya benang silang terbuat dari benang laba-laba atau benang halus dari platina atau gelas yang direntangkan menyilang sebuah cincin penampang bulat (seperti kue donat). Di dalam banyak instrumen yang lebih baru, susunan benang silangnya adalah sebuah lempeng gelas tipis yang digores menurut garis-garis silang dan pada goresan itu diisi benang halus dari logam gelap. Jika dikehendaki dapat ditambahkan garis-garis sejajar dan berjarak sama dengan garis-garis silang. Jika dipakai susunan benang silang dari gelas, maka garis-garis tambahan dibuat lebih pendek untuk menghindari kekacauan dengan garis-garis utama. Susunan benang silang dipasang untuk meletakkan garis-garis pada kedudukan horisontal-vertikal.

**Okuler.** Okuler adalah sebuah mikroskop dengan perbesaran kira-kira 35 diameter (diam) untuk mengamati bayangan yang terpumpun oleh sistem lensa obyektif di bidang susunan benang silang. Okuler dapat terdiri atas dua lensa (memberikan bayangan terbalik pada mata) atau empat lensa (menghasilkan bayangan tegak). Yang terdahulu memberikan ketajaman optis sedikit lebih baik tetapi dapat membingungkan sebentar bagi pemula. Okuler dilengkapi dengan sebuah gerakan pemumpun untuk menyesuaikan perbedaan dalam pandangan pengamat yang berbeda.

Proses pumpunan (focusing process) adalah fungsi terpenting untuk dilaksanakan dalam pemakaian teropong. Teropong-teropong masa kini umumnya adalah pumpunan-dalam (sebuah lensa bantu di dalam bergerak pada batang bergerigi), walaupun beberapa alat lama yang masih dipakai adalah pumpunan-luar (lensa obyektif bergerak sesuai dengan Pers. (6-6)). Debu dan aus mempengaruhi gerakan geser dan dapat mengganggu sumbu optis pada jenis pumpunan-luar. Teropong pumpunan-dalam lebih tahan-debu.

Prinsip dasar lensa dinyatakan dengan rumus

$$\frac{1}{f} + \frac{1}{f'} = \frac{1}{f} \quad (6-6)$$

Jarak pumpun adalah tetap untuk suatu susunan lensa tertentu. Oleh karenanya, karena jarak  $f_1$  berubah,  $f_2$  juga harus berubah.

Karena susunan benang silang tinggal tetap di dalam tabung teropong, jarak antaranya dengan okuler harus diatur untuk disesuaikan dengan mata pengamat. Ini dikerjakan dengan jalan memumpunkan benang silang sampai terlihat tajam – yaitu dengan menyatel sampai benang nampak sehitam mungkin bila dibidikkan ke langit atau ke obyek jauh berwarna cerah. Sekali ini sudah terlaksana, penyetulan tak perlu diubah untuk seorang pengamat, berapapun jauh bidikan kecuali kalau mata lelah karena lama mengamati atau perbesaran teropong yang tinggi.

Setelah okuler disetel, sasaran dipumpun menjadi tajam di bidang benang silang dengan menggerakkan lensa obyektif. Jika benang silang nampak bergeser terhadap obyek terbidik ketika mata bergeser sedikit ke sembarang arah, terjadilah *paralaks*. Atau lensa obyektif, okuler atau keduanya harus disetel untuk menghilangkan jika akan dilakukan pekerjaan teliti.

Ketentuan "nampak" *dekat-jauh, jauh-dekat* dapat membantu pemula memakai teropong lama pumpunan-luar. Jika obyeknya dekat pengamat, lensa obyektif digerakkan menjauh. Jika obyeknya jauh, lensa obyektif digerakkan mendekati mata pengamat.

Sebuah tabung nivo yang ditempelkan pada tabung teropong, bila sudah diatur sumbunya tepat sejajar dengan garis bidik. Oleh karena itu, menyeimbangkan gelembung nivo, menyebabkan garis bidik menjadi horisontal.

**6-8. OPTIKA.**<sup>2</sup> Ada baiknya membicarakan secara ringkas optika alat ukur tanah sebelum meninggalkan pokok pembicaraan mengenai teropong. Kegunaan teropong adalah untuk menciptakan bagi pengamat sebuah gambar kedudukan benang silang pada sasaran dengan kejelasan dan kesaksamaan sebesar mungkin. Tujuan ini dicapai dengan rancangan ahli dan kesempurnaan dalam pembuatan untuk memperoleh gabungan kualitas-kualitas optis yang paling sesuai pada suatu penerapan tertentu. Faktor-faktor optis termasuk daya pemisah, perbesaran, ketajaman, jarak mata, ukuran lubang sinar, dan bidang pandangan.

Spesifikasi saja jarang dapat menunjukkan kualitas sebenarnya satu teropong dibanding dengan yang lain. Pengujian paling penting untuk sebuah teropong, dan sebetulnya satu-satunya pengujian yang sebenarnya, adalah perbandingan serentak dengan yang lain dengan persyaratan yang sama.

Di bawah ini diterangkan beberapa istilah optis yang penting.

**Daya Pemisah.** Kemampuan lensa untuk memperlihatkan detail diberi istilah *daya pemisah*. Kemampuan ini diukur dengan jarak sudut terkecil, dinyatakan dalam sekon, antara dua titik terpisah-jarak yang hanya cukup untuk memperlihatkan keduanya sebagai dua titik dan bukan kabur menjadi satu. Biasanya harganya dinyatakan sebagai jumlah maksimum banyaknya garis per milimeter yang dapat dilihat sebagai garis-garis terpisah dalam bayangan.

Daya pemisah maksimum yang secara teoritis dapat dicapai dengan sebuah teropong jika bagian-bagian optis dirancang sempurna dan ditempatkan tepat sepenuhnya tergantung pada garis tengah lensa obyektif bagian yang benar-benar terpakai (lubang lensa hasil-guna). Daya pemisah lensa obyektif tidak bergantung pada perbesaran. Rumus empiris untuk menghitungnya adalah

$$R = \frac{5,5 \text{ sekon}}{D} \quad (6 /)$$

di mana  $R$  adalah sudut yang dapat dipisahkan, dalam sekon, dan  $D$  garis tengah lubang lensa, dalam inches. Sebagai contoh, jika lubang lensa obyektif sebuah teropong tertentu mempunyai garis tengah 1,18 in, daya pemisahnya adalah 4,7 sekon.

Standar teoritis yang lazim untuk daya pemisah mata manusia adalah 60 sekon, walaupun mungkin akan lebih praktis bila dipakai harga antara 90 dan 90 sekon. Oleh karenanya, daya pemisah lensa obyektif paling sedikit harus dibuat sampai batas ini dengan perbesaran. Jika jarak sudut yang dipisahkan oleh teropong adalah 4,7 sekon, daya pemisah ini harus diperbesar 13 kali untuk memperoleh 60 sekon. Karena penglihatan berlainan untuk pengamat yang berbeda, selalu dipakai perbesaran yang lebih tinggi.

**Perbesaran (magnification).** Harga perbesaran (daya) adalah perbandingan ukuran-nampak dari obyek yang dilihat lewat teropong dengan ukurannya terlihat dengan mata telanjang dari jarak yang sama. Perbesaran berubah sedikit jika pemumpunan teropong diubah; karenanya, perbesaran agak dipengaruhi jarak benda.

Walaupun perbesaran teropong harus lebih besar dari  $60/R$ , ada titik batas selewat mana tak mungkin meningkatkan perbesaran tanpa mengorbankan ketajaman. Titik ini dicapai bila perbesaran menjadi lebih besar daripada 2 atau 3 kali  $60/R$ . Untuk harga-harga lebih besar, kualitas bayangan yang terlihat menjadi terganggu dan ketelitian yang dicapai dengan mengimpitkan garis bidik dengan sebuah sasaran menjadi berkurang.

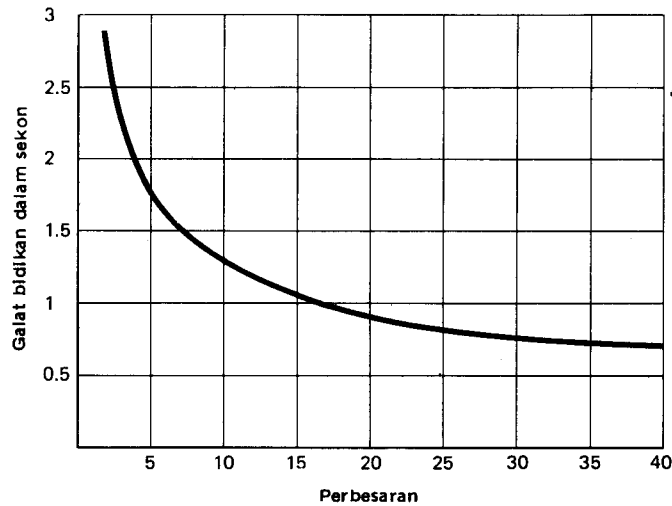
Kerugian-kerugian tertentu timbul karena pemakaian perbesaran yang terlalu tinggi, walaupun lensa obyektif cukup besar untuk memberikan pemisahan yang diperlukan. Dengan perbesaran tinggi bidang pandangan berkurang, dan sembarang gelombang panas, golkakan, atau getaran menyebabkan bayangan obyek bergerak melintasi benang silang terlalu cepat untuk diamati dengan teliti. Daya perbesaran teropong pada alat sipat datar modern berkisar dari 26 sampai 42 diam, dan harga rata-ratanya barangkali 32 diam (diameter).

**Ketajaman.** *Ketajaman* (definition) adalah istilah yang dipakai untuk menyatakan hasil keseluruhan sebuah teropong. Ketajaman yang lebih baik memungkinkan obyek dilihat lebih jelas melalui teropong. Ketajaman tergantung pada sejumlah ciri optis dan merupakan kualitas yang memberikan ketelitian bidik terbesar.

Karena ketajaman adalah istilah nisbi, maka paling baik dapat ditentukan dengan jalan membandingkan kenampakan sebuah obyek jika dilihat dengan teropong yang dicoba dan lewat teropong yang sudah biasa dikenal oleh pengamat.

**Ketelitian Bidik (pointing accuracy).** Ketelitian dengan mana garis bidik dapat diarahkan pada sasaran, atau rambu yang diluruskan, disebut *ketelitian bidik*. Ketelitian bidik tergantung pada perbesaran, ketajaman, susunan benang silang, dan rancangan sasaran atau pembagian skala yang dibidik. Hubungan umum antara perbesaran dan ketelitian bidik untuk teropong dengan ketajaman yang sama ditunjukkan dalam Gambar 6-10.

**6-9. PENOPANG NIVO DAN PENDUKUNG ALAT SIPAT DATAR JENIS-Y DAN SEMUA TETAP** Teropong-teropong alat sipat datar-Y dan semua-tetap bertumpu di atas dua pendukung pada ujung-ujung sebuah bagian horisontal yang disebut *penopang nivo*. Pe-



Gambar 6-10. Hubungan antara perbesaran dengan galat bidikan. (Atas kebaikan Keuffel & Esser Company).

**6-10. BIDANG SEKRUP PENYETEL.** Untuk alat sipat datar-Y dan semua-tetap rongga kerucut yang mendukung sumbu vertikal penopang nivo dengan pas, didukung oleh empat sekrup penyetel yang besar-besar. Keempatnya berada di atas bidang yang dikaitkan dengan bagian atas kaki tiga, dalam dua pasang saling tegak lurus. Teropong ditempatkan bergantian di atas tiap pasangan sekrup berlawanan yang diputar sehingga gelembung tetap seimbang pada perputaran penuh dari teropong mengelilingi sumbu vertikal. Ini berarti garis bidik sudah membuat bidang horisontal.

Kebanyakan instrumen modern mempunyai tiga dan bukan empat sekrup penyetel. Susunan tiga-sekrup lebih cepat dan tidak mengalami guncangan yang terjadi pada jenis empat-sekrup jika dua sekrup berlawanan berputar ke atas atau ke bawah sedikit lebih dari dua yang lain. Kelemahan jenis tiga-sekrup adalah jika ketiga sekrup semuanya berputar ke atas atau ke bawah berakibat elevasi garis bidik berubah sedikit. Perlakuan pada jenis empat-sekrup tidak mengakibatkan perubahan elevasi teropong. Juga, setelah galur-galur menjadi aus pada tiga sekrup penyetel, keteguhannya sedikit berkurang dan sekrupnya harus diganti. Mengetatkan sebuah sekrup dari masing-masing pasangan dalam susunan empat-sekrup menghasilkan gerakan mengunci dan kedudukan stabil.

**6-11. ALAT SIPAT DATAR-Y.** Alat sipat datar jenis-Y yang sekarang hampir tak terpakai lagi, mempunyai sebuah teropong lepas yang terletak pada penopang yang disebut *wye* karena bentuknya seperti huruf Y. Pengancing-pengancing melengkung dengan engsel di satu ujung dan pasak di ujung lain, mengikat teropong di tempatnya.

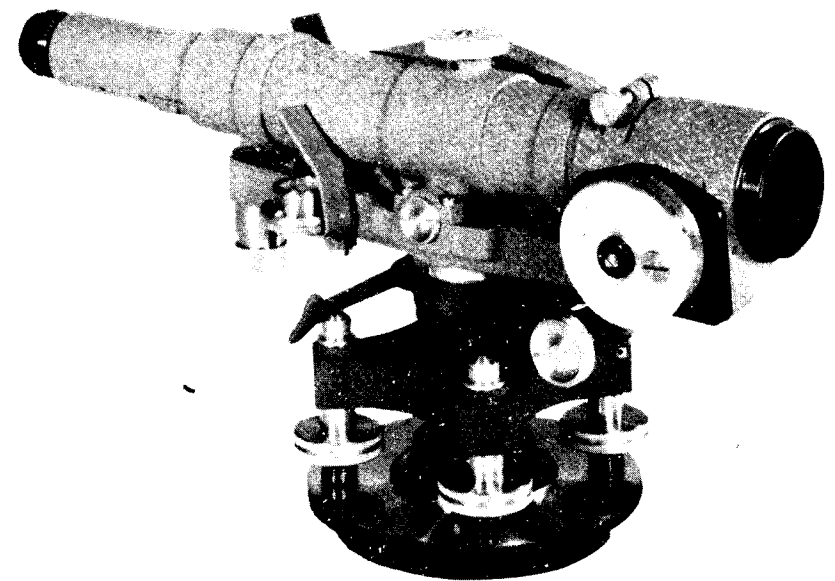
Alat ini lebih sederhana cara menyetelnya daripada jenis semua-tetap karena teropongnya dapat diangkat dari penopang dan diputar tukar ujung. Ciri ini memungkinkan satu orang menyelesaikan seluruh penyetelan. Diperlukan lebih banyak penyetelan pada alat ini,

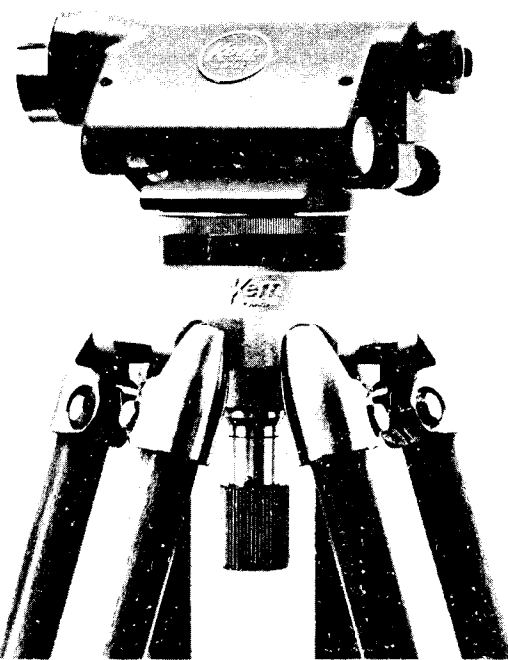
**6-12. ALAT SIPAT DATAR SEMUA-TETAP.** Alat ini (lihat Gambar 6-9) mempunyai teropong yang terikat teguh dan sejajar dengan penopang nivo. Tabung nivo dipasang di dalam penopang nivo dan karenanya agak terlindung. Tabung nivo selalu tetap pada bidang vertikal yang sama dengan teropong, tetapi ada sekrup pada masing-masing ujungnya untuk mengatur secara vertikal atau untuk mengganti tabung.

Kebaikan alat ini dibandingkan dengan jenis-Y adalah (a) konstruksi yang lebih sederhana dengan lebih sedikit bagian bergerak, (b) penyetelan-penyetelan lebih sedikit, dan (c) mungkin tahan lebih lama. Kerugiannya adalah bahwa untuk satu penyetelan perlu dua orang dan makan waktu lebih lama. Masalah ini dapat dihilangkan jika dua titik yang diketahui elevasinya ditetapkan berjarak beberapa ratus feet dan padanya dipasang sasaran tetap. (Penyetelan alat sipat datar dijelaskan terperinci dalam Apendiks A.)

**6-13. ALAT SIPAT DATAR SEMUA-TETAP DENGAN PENGUNGKIT.** Alat ini dipakai untuk kebanyakan pekerjaan saksama dan juga banyak dipakai untuk tujuan umum. Sebuah nivo kotak ada padanya untuk penyetelan kasar dengan memakai sekrup penyetel, atau sebuah susunan sendi peluru (tanpa sekrup penyetel) untuk membuat bagian atas instrumen dapat dimiringkan dan dikunci setelah hampir seimbang nivonya. Penyetelan yang tepat diperoleh dengan mengungkit atau memutar teropong sedikit di bidang vertikal mengelilingi titik tumpu di sumbu vertikal instrumen tanpa merubah tingginya. Sebuah sekrup mikrometer di bawah okuler mengatur gerakan ini.

Ciri ungkitan menghemat waktu dan meningkatkan ketelitian, karena hanya satu sekrup yang perlu diputar untuk membuat garis bidik tetap horisontal ketika teropong diputar mengelilingi sumbu vertikal. Gelembung nivo teropong diamati lewat sebuah sistem prisma-prisma dari kedudukan normal pengamat di belakang okuler. Menyeimbangkan gelembung dilaksanakan dengan mengimpitkan bayangan kedua ujungnya.

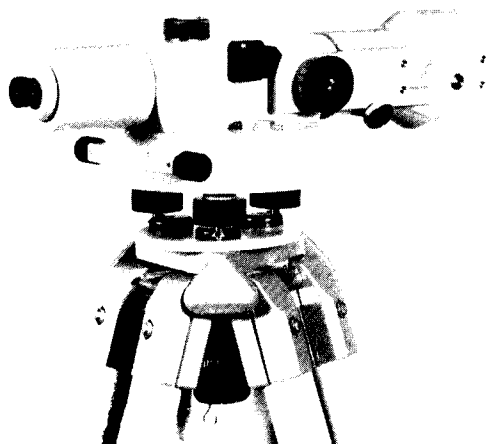




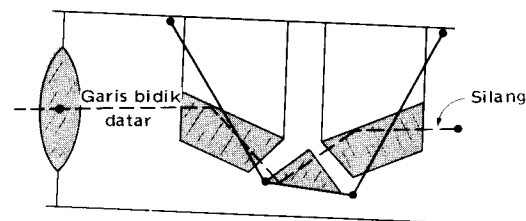
Gambar 6-12. Alat sipat datar dengan pengungkit GK 23-C. (Atas kebaikan Kern Instruments, Inc.)

Alat sipat datar semua-tetap dengan pengungkit yang diperlihatkan dalam Gambar 6-11 mempunyai empat sekrup penyetel, perbesaran 30X, daya pemisah 4 sekon, jarak pum-punan minimum 6 ft, susunan benang silang dari gelas, dan kepekaan gelembung nivonya adalah 20 sekon/2mm.

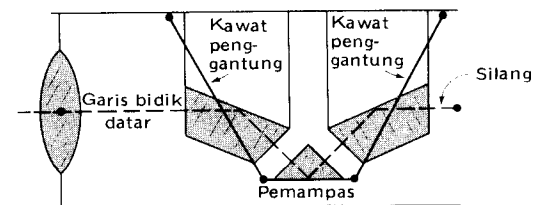
Gambar 6-12 memperlihatkan alat sipat datar berpengungkit dengan penyetelan sendi peluru. Ciri-ciri alat ini mempunyai teropong pendek, konstruksi ramping, ukuran kecil, dan ringan. Instrumen ini mempunyai tabung nivo teropong dengan kepekaan 18 se-



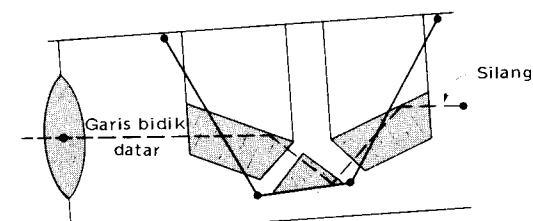
Gambar 6-13. Alat sipat datar



Jika teropong miring ke atas, pemampas berayun ke belakang.



Teropong horisontal.



Jika teropong miring ke bawah, pemampas berayun ke depan.

Gambar 6-14. Pemampas pada alat sipat datar otomatis. (Atas kebaikan Keuffel & Esser Company).

kon/2 mm, ketelitian pemusatan  $\pm 4$  sekon, perbesaran teropong 30X, dan beratnya hanya 3,3 pon (lb). Alat ini juga mempunyai sebuah lingkaran horisontaldari gelas dengan garis tengah 2,44 in yang dapat dibaca memakai mikroskop dengan perkiraan sampai 1 menit.

**6-14. ALAT SIPAT DATAR OTOMATIK.** Alat sipat datar otomatis dari jenis yang tertera dalam Gambar 6-13 mempunyai ciri menyetel sendiri. Pada kebanyakan alat-alat ini, penyetelan kasar memakai tiga sekrup penyetel membuat gelembung nivo kotak kira-kira seimbang, walaupun beberapa model mempunyai susunan sendi peluru. Setelah nivo kotak diseimbangkan dengan tangan, sebuah pemampas (compensator) mengambil alih, secara otomatis mendatarkan garis bidik dan membuatnya tetap datar. Prinsip kerja satu jenis pemampas diperlihatkan secara skematis dalam Gambar 6-14. Perhatikan bahwa pemampas bandul optis adalah sistem untuk menetapkan garis bidik mendatar yang sama sekali berbeda dengan sistem yang dipakai untuk membuat garis bidik sejajar sumbu tabung nivo.

Alat sipat datar otomatis telah menjadi populer untuk pemakaian umum karena kemudahan dan kecepatan operasinya. Beberapa jenis alat ini cukup saksama untuk pekerjaan orde-kedua bahkan orde-pertama jika pada teropongnya dipasang alat pembantu yang berupa mikrometer lempeng-paralel. Jika lempeng mikrometer dimiringkan, garis bidik



instrumen mendatar dan terpumpun, bacalah sasaran, ketoklah kaki tiga, dan setelah bergetar ulangilah pembacaan apakah diperoleh harga yang sama. Juga, beberapa masalah khas pada pemampas, misalnya tegangan-sisa pada penggantung yang lentur, dapat menyebabkan terjadinya galat sistematik jika tidak dikoreksi dengan tindakan pengamatan rutin yang sesuai pada pekerjaan orde-pertama.

Suatu pendekatan baru dalam rancangan instrumen sipat datar memakai permukaan-bebas air raksa untuk membuat garis bidik horisontal atau hampir horisontal. Jadi, gelembung nivo atau bandul pemampas swadatar tak diperlukan.

**6-15 KAKI TIGA.** Ada beberapa jenis kaki tiga. Kakinya dapat berbentuk tetap panjangnya atau dapat diatur panjang pendeknya, dan pejal atau rangkap. Semua model diberi tapal logam berbentuk kerucut runcing dan di bagian atas dihubungkan dengan engsel pada sebuah bidang logam kepala kaki tiga. Kaki tiga yang dapat diatur panjangnya menguntungkan dalam pemasangan di tanah tak datar atau di bengkel, tetapi jenis dengan kaki-tetap mungkin sedikit lebih teguh berdiri. Model kaki rangkap lebih ringan daripada jenis kaki pejal, tetapi kurang mantap. Sebuah kaki tiga kerangka-lebar, pertama dipakai pada instrumen-instrumen Eropa, sekarang tersedia dari pabrik-pabrik Amerika. Kaki tiga yang kokoh dalam keadaan baik adalah perlu untuk memperoleh hasil terbaik dari sebuah instrumen bagus. Ada sebuah kaki tiga yang berkaki-memanjang 8-ft dan sangat berguna bila perlu pemasangan tinggi untuk pembidikan di atas ladang jagung, semak belukar dan penghalang-penghalang rendah.

Di waktu lampau, banyak jenis galur berbeda yang dipakai pada kaki tiga. Patokan yang sekarang dipakai oleh semua pabrik Amerika adalah delapan galur per inch pada tutup bergaris tengah  $3\frac{1}{2}$  in. Kebanyakan model Eropa dan Jepang mempunyai baut bergaris tengah  $\frac{5}{8}$  in.

**6-16. ALAT SIPAT DATAR TANGAN.** Alat ini (Gambar 6-15) adalah instrumen yang dipegang dengan tangan dipakai pada pekerjaan dengan kesaksamaan rendah dan untuk tujuan pengecekan. Instrumen ini terdiri atas sebuah tabung kuningan sepanjang 6 in dengan obyektif kaca biasa dan okuler pembidik. Sebuah tabung nivo kecil dipasang di atas celah pada tabung diamati lewat okuler memakai prisma atau cermin datar bersudut  $45^\circ$ . Sebuah garis horisontal terentang menyilang tabung.

Prisma atau cermin hanya menempati setengah dalam tabung, dan bagian lain terbuka untuk menyediakan pandangan jelas lewat obyektif. Jadi, rambu yang sedang diamati dan bayangan gelembung terpantul nampak berdampingan dengan garis silang menumpang.

Instrumen dipegang dengan satu tangan dan didatarkan dengan menaik-turunkan ujung obyektif hingga garis silang membagi-dua gelembung. Tabung dapat ditenangkan dengan membuat topangan ibu jari di tulang pipi, jari telunjuk di dahi, dan okuler pada alis. Memegang alat di samping tonggak atau yang lebih baik, meletakkannya pada tongkat bercabang, meningkatkan ketelitian.

Pembacaan garis-garis jarak optis 1 : 10 dapat disertakan (lihat Bab 15). Perbesaran 4X disediakan untuk mengamati gelembung dan garis silang. Rambu terlihat lewat kaca biasa, tetapi ada beberapa model yang memakai perbesaran 2X. Karena itu jangkauan pandangannya terbatas sampai jarak di mana rambu dapat dibaca dengan pandangan alamiah atau perbesaran amat kecil.

Alat sipat datar tangan dan klinometer Abney, ditunjukkan dalam Gambar 6-16, mempunyai pemakaian terbatas dalam pengukuran sudut-sudut vertikal dan lereng serta untuk sipat datar langsung. Alat ini terdiri atas sebuah busur berpembagian skala dalam derajat sampai  $90^\circ$ , sebuah nonius (lihat Paragraf 6-19) pembacaan sampai 10 menit, dan beberapa skala untuk lereng berkisar dari 1 : 1 sampai 1 : 10.

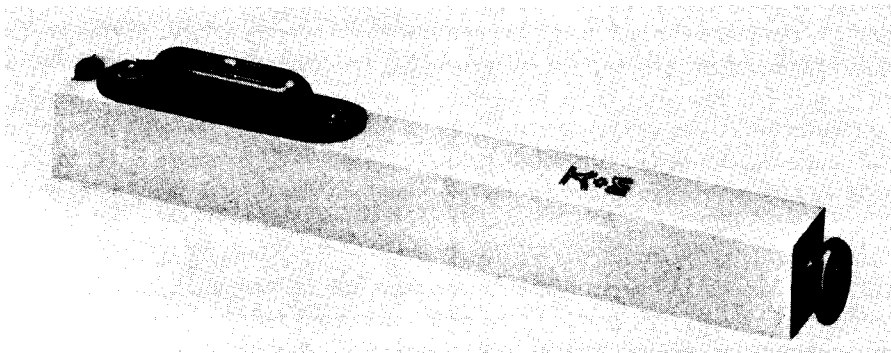
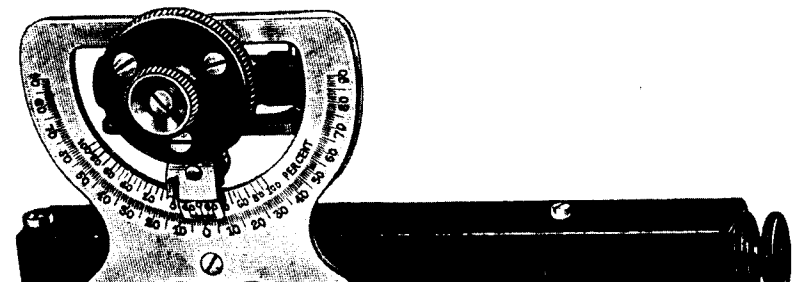
**6-17. RAMBU-RAMBU SIPAT DATAR.** Rambu-rambu sipat datar dibuat dari kayu, kaca-serat, atau logam dan mempunyai pembagian skala dalam feet dan desimal, atau meter dan desimal.

Ada dua kelas utama rambu:

1. Rambu swabaca, yang dapat dibaca oleh pengamat sambil membidik lewat teropong dan memperhatikan perpotongan benang silang yang nampak pada rambu. Ini adalah jenis yang paling umum.
2. Rambu sasaran mempunyai sasaran yang dapat digerakkan, dipasang oleh petugas rambu pada kedudukan yang ditunjukkan lewat tengara-tengara dari pengamat pada alat.

Tersedia pilihan luas yang menyangkut pola, warna, dan pembagian skala pada rambu satu-potong, dua-potong atau tiga-bagian. Berbagai jenis, biasanya dinamakan menurut kota atau negara bagian, misalnya rambu-rambu Philadelphia, New York, Boston, Troy, Chicago, San Francisco, dan Florida.

Rambu-rambu untuk sipat datar umum dan untuk tujuan-tujuan khusus seperti pemanangan lereng dapat dibuat dengan jalan menempelkan pita kain lentur yang diberi bahan pengawet pada kerangka kayu. Pita-pita demikian dengan berbagai macam pembagian skala



dapat dibeli dari pabrik. Rambu sipat datar baca-langsung Lenker (Gambar 6-17(d)) mempunyai angka-angka dengan urutan terbalik pada pembagian skala pita baja tak berujung yang dapat diputar pada penggulung di ujung rambu. Angka-angka bergerak turun rambu dan dapat diatur sampai ke pembacaan yang diinginkan – misalnya, elevasi sebuah titik tetap duga. Pembacaan rambu ditentukan sebelumnya untuk rambu belakang dan kemudian, karena urutan angka terbalik, pembacaan rambu depan langsung memberikan elevasi tanpa menghitung TI dan mengurangi dengan RD.

Rambu swabaca terdiri atas kerangka kayu dan sebuah jalur Invar (dengan pembagian skala dalam desimal meter) untuk menghilangkan pengaruh perubahan kelembaban dan suhu, dipakai pada pekerjaan saksama. Jalur Invar yang hanya terikat pada ujung-ujungnya, bebas meluncur dalam galur-galur di kedua sisi kerangka kayu.

Rambu Philadelphia, gabungan rambu swabaca dan sasaran, adalah jenis yang paling umum terdapat dalam ruang-ruang instrumen ukur tanah perguruan tinggi. Sebuah model 13-ft dijelaskan terperinci dalam Paragraf 6-18. Juga dibuat model-model dengan panjang berbeda, yang populer adalah rambu 12-ft.

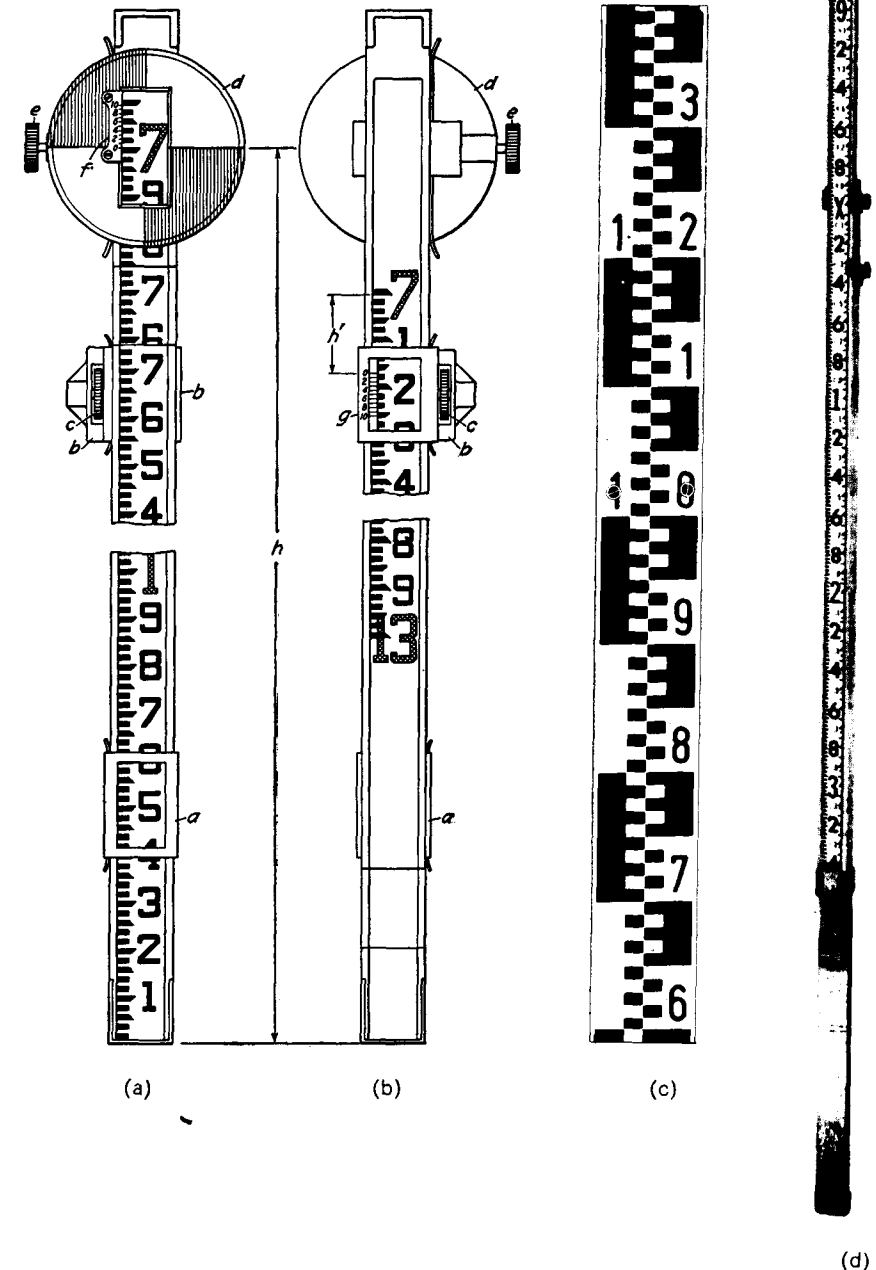
Rambu Chicago, terdiri atas bagian-bagian terpisah (biasanya tiga) yang pas dipasang bersama tetapi dapat dilepas, dipakai secara luas dalam pengukuran-pengukuran konstruksi; model San Francisco mempunyai bagian-bagian terpisah yang dapat saling digeserkan untuk memanjangkan atau untuk meringkas panjangnya, dan biasanya dipakai pada pengukuran titik kontrol, pengukuran persil dan lain-lainnya. Keduanya dengan mudah dapat diangkut kendaraan.

Keamanan dalam lalu-lintas dan dekat peralatan berat adalah pertimbangan penting. Quadpod, sebuah penopang yang dapat disetel mengunci sembarang rambu sipat datar, mengurangi bahaya lalu-lintas dan upah tenaga.

**6-18. RAMBU PHILADELPHIA.** Rambu Philadelphia yang diperlihatkan dalam Gambar 6-17(a) dan (b) terdiri atas dua bagian luncur terbagi menjadi perseratusan dari satu foot dan digabungkan dengan lengan-lengan kuningan *a* dan *b*. Bagian belakang dapat dikunci pada kedudukan dengan sekrup pengunci *c* untuk memperoleh sembarang panjang dari rambu pendek pembacaan 7 ft atau kurang dari itu, sampai rambu panjang (rambu tinggi) pembacaan sampai 12 ft. Jika rambu tinggi diperlukan, rambu harus dipanjangkan sepenuhnya. Pembagian skala pada bidang muka kedua bagian terbaca bersambung dari nol di dasar sampai 13 ft di puncak untuk pembacaan rambu-tinggi.

Pembagian skala rambu dicat dengan teliti, berselang-seling bidang hitam dan putih selebar 0,01 ft. Tanda-tanda 0,1 dan 0,05 ft dijelaskan dengan taji menonjol dari bagian cat hitam. Persepuluhan digambarkan dengan angka-angka hitam, tanda foot dengan angka merah, semuanya menghadap ke pembagian skala yang bersangkutan. Sebuah rambu Philadelphia dapat dibaca dengan teliti memakai alat sipat datar pada jarak sampai 250 ft.

Pada bidikan-bidikan panjang, atau bila dikehendaki pembacaan sampai 0,001 ft terdekat, dapat dipakai sebuah sasaran *d*. Sasaran dapat berbentuk bulat, bujur telur, dan persegi. Semuanya kira-kira setinggi 5 in, dicat merah dan putih dalam kuadran berselang-seling. Bagian dari sasaran ini adalah pengunci *e* dan pembagian skala nonius *f*. Untuk pembacaan kurang dari 7 ft, sasaran dipasang pada elevasi yang sesuai dengan permintaan pengamat. Jika rambu dipanjangkan, sasaran dikunci 7,000 ft dan bagian belakang dinaikkan ke sasaran pada tinggi yang benar. Pembagian di bagian belakang



Gambar 6-17. (a) Rambu Philadelphia (depan). (b) Rambu Philadelphia (belakang). (c) Rambu sipat datar dengan pembagian skala metrik. (Atas kebaikan Wild Heerbrugg Instruments, Inc.) (d) Rambu

Rambu Philadelphia dibuat dari kayu keras yang cermat dipilih, dikeringkan dengan mesin, diberi obat pengawet baik-baik, dan diberi pembagian skala sesuai dengan spesifikasi yang ketat. Rambu *tidak boleh* dipakai sebagai tempat duduk atau untuk lompat galah, ditinggalkan tersandar pada pohon atau gedung, atau terletak di permukaan apa saja dengan bidang berpembagian skala menghadap ke bawah. Bagian bertanda dengan cat tak boleh kena tangan, terutama dalam bagian 3 sampai 5-ft, di mana permukaan yang usang menyebabkan rambu tak baik untuk dipakai. Menurunkan rambu dengan sentakan bebas ke bawah, merusakkan kedua bagiannya dan dapat merubah pembacaan nonius menjadi kurang dari 7,000 ft – misalnya menjadi 6,998 ft. Jika ini terjadi, sasaran harus dipasang pada pembacaan yang sama – yaitu 6,998 ft untuk rambu tinggi. Gambar 6-17(c) memperlihatkan bagian muka rambu khas sipat datar dengan pembagian skala metrik.

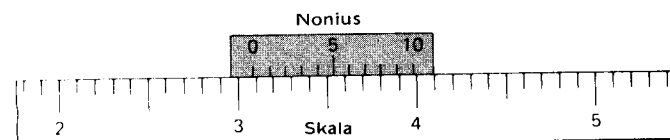
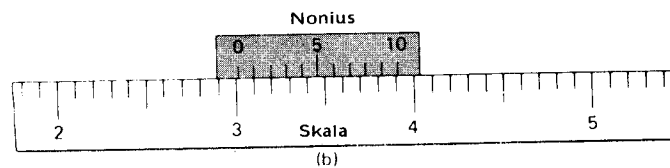
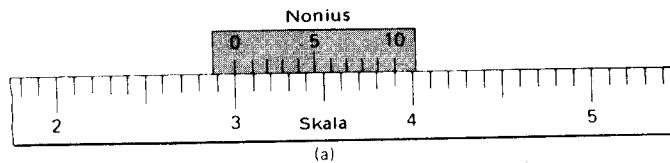
**6-19. NONIUS.** Sebuah nonius adalah pembagian skala pembantu yang pendek ditempatkan sejajar di samping pembagian skala utama. Nonius memperjelas bagian-bagian pecahan pembagian-skala utama terkecil tanpa interpolasi. Gambar 6-18 menggambarkan sebuah *nonius-langsung* jenis sederhana yang dipakai pada rambu sipat datar. Nonius-nonius yang agak lebih rumit untuk teodolit kompas dibicarakan dan diperlihatkan dalam Paragraf 10-7 dan 10-8.

Seperti dijelaskan dalam Gambar 6-18(a), nonius mempunyai  $n$  pembagian dalam ruang yang ditempati  $(n - 1)$  buah pembagian terkecil skala utama. Kemudian

$$(n - 1)d = nv \tag{6-8}$$

di mana  $d$  adalah panjang sebuah pembagian skala utama dan  $v$  panjang sebuah pembagian nonius. Ini adalah basis dasar untuk semua konstruksi nonius. Untuk kebanyakan nonius rambu sipat datar,  $n = 10$ ,  $d = 0,01$  ft, dan  $v = 0,09/10 = 0,009$  ft.

Dalam Gambar 6-18(a), terbaca 0,300. Jika nonius digerakkan sehingga pembagian pertama dari nol berimpit dengan pembagian pertama setelah 0,300, seperti dalam Gambar 6-18(b), petunjuk nonius telah bergerak sejauh



$$d - v = 0,010 - 0,009 = 0,001 \text{ ft}$$

Karenanya pembacaan sekarang adalah 0,301 ft.

Jika nonius digerakkan sehingga pembagian nonius kedua berimpit dengan pembagian skala utama yang menunjukkan 0,32, gerakan dari kedudukan dalam Gambar 6-18(a) sampai di sini menunjukkan  $2(d - v) = 0,002$  ft. Jadi, bagian pecahan pembagian skala utama dari penunjuk nonius ke garis skala utama di depannya, dibaca dengan menentukan banyaknya garis nonius sampai pada yang berimpit dengan *sembarang* garis skala utama. Karena itu pembacaan dalam Gambar 6-18(c) adalah 0,308 ft.

Menguraikan Pers. (6-8),

$$nv = nd - d$$

dan

$$d - v = \frac{d}{n} \tag{6-9}$$

Untuk sebuah nonius,  $d - v$  adalah pembacaan terkecil yang dapat diperoleh tanpa menginterpolasi. Istilahnya adalah *satuan nonius* dan dari Pers. (6-9) dinyatakan dengan  $d/n$ ; yaitu,

$$\text{satuan nonius} = \frac{\text{harga bagian terkecil skala utama}}{\text{banyaknya pembagian nonius}}$$

Seorang pengamat *tidak dapat* yakin bahwa pembacaan pada skala utama dan nonius sudah benar sebelum satuan nonius ditentukan.

Dalam menentukan garis nonius yang berimpit dengan garis pembagian skala utama, pengamat harus berdiri tepat di belakang garis atau di atasnya, untuk menghindari paralaks. Di kedua belah garis yang nampak berimpit harus dicek apakah sudah nampak pola simetris terbentuk. Dalam Gambar 6-18(c), garis pembagian nonius 6 dan 10 jatuh di dalam (ke arah pembagian 8) garis-garis pembagian utama dengan jarak yang sama; oleh karena itu, 8 adalah pembacaan yang benar

**SOAL-SOAL**

- 6-1. Hitung dan buatlah tabulasi pengaruh gabungan kelengkungan dan biasan pada bidikan sipat datar sejauh 50, 75, 100, 150, dan 200 m.
- 6-2. Serupa Soal 6-1, kecuali untuk bidikan 50, 200, 500, dan 1000 ft.
- 6-3. Pada sebuah danau besar tanpa gelombang, berapa jauh dari pantai sebuah kapal dengan tiang layar 30-ft pada saat menghilang dari pandangan seorang pengamat yang menelungkup di tepi air?
- 6-4. Serupa Soal 6-3, kecuali pengamatnya adalah orang yang tinggi matanya 1,8 m di atas tepi air.
- 6-5. Pembacaan pada sebuah jarak sipat datar memanjang diambil sampai 0,01 ft terdekat. Berapa jarak maksimum kelengkungan bumi dan biasan dapat diabaikan?
- 6-6. Serupa Soal 6-5, kecuali pembacaan sampai milimeter terdekat.

- 6-8. 40, 55; 35, 50; 20, 25; 60, 70 m.
- 6-9. Jelaskan bagaimana juru ukur dan insinyur sering dapat mengabaikan galat yang disebabkan kelengkungan dan biasan dalam pekerjaan sipat datar.
- 6-10. Dengan gelembung seimbang, sebuah bidikan 250 ft memberikan pembacaan 5,26 ft. Setelah gelembung digerakkan menyimpang tiga pembagian skala, pembacaan 5,47 ft. Untuk pembagian skala tabung nivo 0.1-in. berapa (a) jari-jari kelengkungan tabung nivo dalam feet dan (b) sudut (dalam sekon) di hadapan satu pembagian skala?
- 6-11. Serupa Soal 6-10, kecuali, tiap pembagian skala adalah 0.01 ft.
- 6-12. Serupa Soal 6-10, kecuali, tiap pembagian skala adalah 2 mm.
- 6-13. Mengapa harus dipakai basis panjang dalam sipat datar trigonometrik?
- 6-14. Hitunglah kepekaan tabung nivo dengan pembagian skala 0.01 ft dan jari-jari kelengkungan 103 ft.
- 6-15. Seorang pengamat lupa mengecek gelembung dan menyimpang  $1\frac{1}{2}$  pembagian skala pada bidikan 200-ft. Berapa galat akibat gelembung 15-sekon?
- 6-16. Serupa Soal 6-15 kecuali gelembung 15-sekon menyimpang dua pembagian skala pada bidikan 8 m.
- 6-17. Seorang pengamat memakai instrumen baru dengan tabung nivo 30-sekon tak tahu pembagian skala tabung - 2 mm, 0.1 in atau 0.01 ft. Berapa galat untuk masing-masing jenis jika gelembung menyimpang satu pembagian skala pada bidikan 250 ft?
- 6-18. Sinar matahari dari depan gelembung tabung nivo 20-sekon/2-mm, menggesernya satu pembagian skala, menghasilkan bidikan plus 7.14 ft pada jarak 220-ft. Hitung pembacaan yang benar.
- 6-19. Jelaskan dua cara untuk menentukan daya perbesaran pendekatan sebuah teropong.
- 6-20. Mengapa peneduh dan penghalang-debu pada teropong pempunan-luar selalu dilepas atau diganti dengan jalan memutarinya searah jarum jam?
- 6-21. Galat apa yang dapat terjadi dalam pemakaian sekrup pemumpun teropong?
- 6-22. Berikan definisi sumbu optis dan titik pusat optis lensa.
- 6-23. Buatlah tabel untuk perbandingan, keuntungan dan kerugian alat sipat datar dengan pengungkit dan otomatis.
- 6-24. Sebuah jarak miring 150 ft dan lereng 20% dibaca dengan alat sipat datar Abney. Hitung jarak horisontal dan beda tinggi.
- 6-25. Jika RB terbaca 4,32 ft pada BM A, elevasi 858.27 dan RD terbaca 9.03 ft pada titik x hitung TI dan elevasi titik x.
- 6-26. Sebutkan dua sebab paralaks bila memakai peralatan ukur tanah.
- 6-27. Tulislah empat keadaan yang dapat menyebabkan tugu BM yang telah baik dipasang menjadi merosot dan/atau berpindah.
- 6-28. Berilah definisi nonius gerak-mundur.

Gambarlah pembagian skala utama dan nonius untuk keadaan-keadaan pada Soal 6-29 sampai dengan 6-31.

- 6-29. Sebuah rambu terbagi menjadi selang 0,05-ft. Diperlukan: sebuah nonius untuk dapat membaca sampai (a) 0,01 ft dan (b) 0,0025 ft.
- 6-30. Mistar bangunan mempunyai pembagian skala  $\frac{1}{2}$  in. Diminta: pembacaan sampai  $\frac{1}{32}$  in; pembagian skala utama  $1^\circ$ , pembacaan sampai 10 menit.
- 6-31. Sebuah nonius mempunyai 12 pembagian skala dan diminta pembacaan sampai 5 sekon. Skala lain mempunyai 5 ruang per nin, nonius 10 pembagian skala.
- 6-32. Sebutlah satu keuntungan dan satu kerugian teropong bayangan-terbalik.
- 6-33. Apakah keuntungan nivo timbal-balik?
- 6-34. Bandingkan keuntungan-keuntungan alat sipat datar dengan tiga dan empat buah susunan sekrup penyetel.

- Hou C.Y., S.A. Veress, dan J.E. Colcord. 1972. "Biasan dalam Sipat Datar". *Surveying and Mapping* 32 (no. 2): 231.
- Kivioja, L.A. 1979. "Instrumen-instrumen Sipat Datar Air-raksa Baru." *Surveying and Mapping* 39 (no. 1): 61.
- Kulp, E.F. 1970. "Sipat Datar Kesaksamaan Tinggi dengan Instrumen-instrumen Otomatik." *ASCE Journal of the Surveying and Mapping Division* 96 (no. SU1): 121.
- Kunitomi, D.S. 1972. "Perubahan Elevasi karena Pasang Surut, Long Beach, California." *ASCE Journal of the Surveying and Mapping Division* 98(no. SU2): 137.
- Lippold, H.R., Jr. 1980. "Perataan Kembali Datum Vertikal Geodetik Nasional." *Surveying and Mapping* 40(no. 2): 155.
- Maddux, W.S. 1982. "Ekstrapolasi Datum dengan Perbandingan Bersama Daur Pangu Pasang Surut." *Surveying and Mapping* 42(no. 2): 139.
- Quinn, F.H. 1976. "Pengaruh-pengaruh Tekanan pada Titik Kontrol Vertikal Great Lakes." *ASCE Journal of the Surveying and Mapping Division* 102 (no. SU1): 31.
- Straub, H.W. 1973. "Hitungan Besarnya Biasan Vertikal dalam Pekerjaan Sipat Datar." *Canadian Surveyor* 27: 279.
- The Surveyor and the Law. 1980. "Perubahan dalam Datum-datum Pasang Surut menurut Konvensi Datum Nasional 1980." (dari *Federal Register*, 45: 207). *Surveying and Mapping* 40(no. 1): 88.
- Weidner, J.P. 1979. "Perihal: Hampir: Rata dengan Teodolit = MHW melawan Tumbuh-tumbuhan, oleh Greulich, G." *Surveying and Mapping* 39(no. 1): 68.

# 7

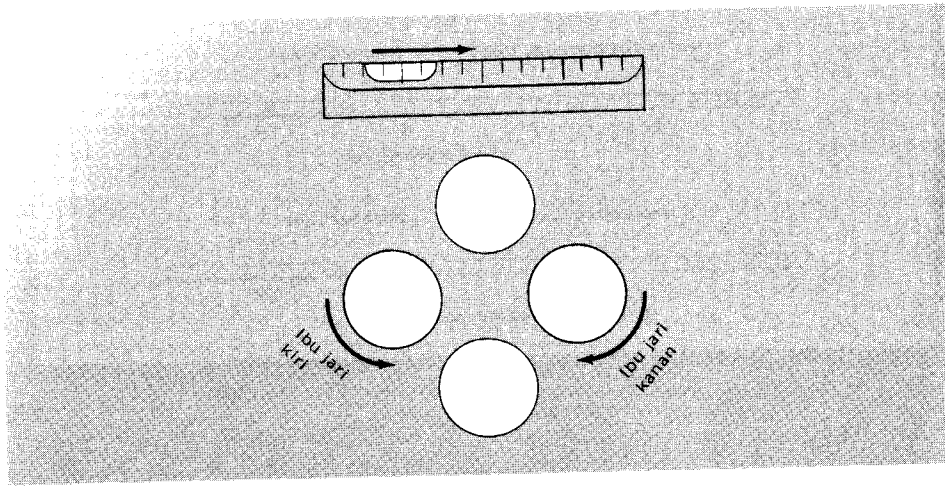
## SIPAT DATAR – PROSEDUR LAPANGAN DAN HITUNGAN

**7-1. PENGANTAR.** Bab 6 mencakup teori dasar sipat datar, menggambarkan prosedur-prosedur sederhana dengan ringkas, dan memperlihatkan contoh-contoh kebanyakan jenis peralatan sipat datar.

Bab ini dititikberatkan pada penanganan peralatan, pelaksanaan beberapa pengukuran proyek untuk memperoleh data lapangan dan kantor. Pengukuran konstruksi dan yang lain, bersama dengan pengukuran-pengukuran orde lebih tinggi untuk menetapkan jaringan titik kontrol vertikal nasional, akan dibicarakan dalam bab-bab berikutnya.

**7-2. MENGANGKUT DAN MEMASANG ALAT SIPAT DATAR.** Cara mengangkut instrumen sipat datar dalam mobil yang paling aman adalah dengan jalan membiarkan tetap dalam kotak kemasannya. Kotak itu hanya akan tertutup dengan baik bila instrumen diletakkan dengan sempurna dalam penopang-penopang yang berganjak lunak.

Sebuah alat sipat datar harus diambil dari kotaknya dengan jalan mengangkat pada penopang nivo atau dasarnya, *bukan* dengan menggenggam teropongnya. Bagian atas harus disekrupkan dengan pas pada kaki tiga. Jika bagian atas terlalu kendur, instrumen tak stabil, jika terlalu ketat, dapat "membeku" pada kaki-tiga jenis ulir dari Amerika Serikat. Sebutir pasir, kekasaran pada jalur ulir, atau perubahan suhu dapat membuat bagian atas menjadi seret. Dengan merentangkan kaki tiga sehingga bagian atas hampir menentuhkan



Gambar 7-1. Pemakaian sekrup-sekrup penyetel.

sudah teratur baik. Penguncian yang terlalu ketat memberi beban kepada bidang penopang dan sekrup-sekrup. Jika kaki-kaki kendor, pemasangannya goyah.

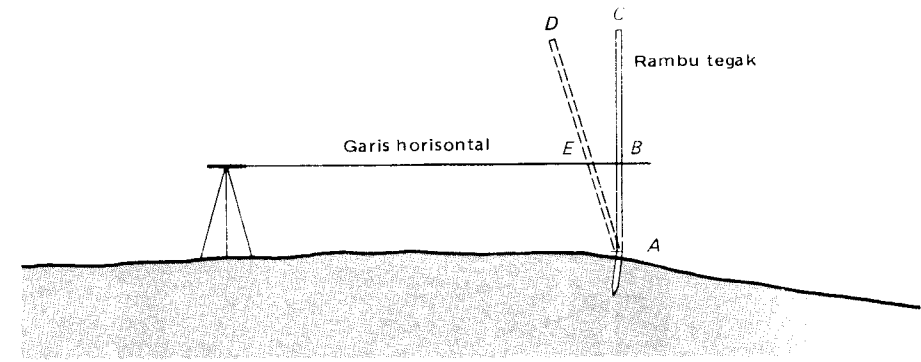
Biasanya tak perlu memusatkan alat sipat datar di atas suatu titik tertentu. Oleh karena itu tak ada alasan untuk membuat bidang dasar menjadi tidak datar sebelum memakai sekrup-sekrup penyetel. Pada pemasangan di lereng bukit, masalah ini dapat dipecahkan dengan menempatkan satu kaki di bagian atas, dua kaki di bagian bawah. Pada lereng yang amat curam, beberapa pengamat lebih suka memasang dua kaki di bagian atas satu di bawah untuk stabilitas. Tinggi pemasangan yang paling memudahkan adalah yang memungkinkan pengamat membidik lewat teropong tanpa membungkuk atau menjulurkan leher.

Dalam mengatur empat-sekrup penyetel, teropong diputar sehingga sejajar dua sekrup yang berhadapan. Gelembung diseimbangkan secara kira-kira dengan memutar dua sekrup tadi memakai ibu jari dan jari telunjuk kedua tangan. Prosedur ini diulang dengan teropong sejajar dua sekrup lainnya. Tak ada gunanya untuk menyeimbangkan dengan tepat pada percobaan pertama, karena hal itu akan terganggu prosedur berikutnya. Menyetel tiga kali dengan masing-masing pasangan sekrup, seharusnya sudah dapat menyelesaikan penyetelan.

Sekrup-sekrup penyetel diputar dalam arah berlawanan dengan kecepatan sama memakai dua tangan, kecuali bermaksud menyetel atau mengendorkan bagian atas alat sipat datar. Sebuah ketentuan sederhana, digambarkan dalam Gambar 7-1, adalah: *Gelembung mengikuti gerak ibu jari kiri.*

Jika sebuah tangan memutar lebih cepat dari yang lain, sekrup-sekrup kendor, bagian atas bergoyang pada dua sekrup, atau sekrup-sekrup itu mengancingnya. Penyetelan akhir yang saksama dapat dilaksanakan dengan satu sekrup saja. Sekrup-sekrup penyetel harus diputar pas, tidak ketat seperti yang diputar dengan kunci Inggris, untuk menghemat waktu dan menghindari kerusakan pada galur-galur dan bidang dasar. Seorang pengamat yang baik merasakan putaran yang cukup dari semua sekrup penyetel untuk memungkinkan gerakan penyelesaian tanpa memacetkan galur-galur putaran. Instrumen harus diseimbangkan pada bidang dasarnya sebelum dikembalikan ke dalam kotaknya.

Untuk alat-alat sipat datar otomatis dan dengan pengungkit yang mempunyai tiga



Gambar 7-2. Mengatur rambu tegak lurus.

Pengamat-pengamat tak berpengalaman yang bekerja di lereng bukit curam mungkin sekali setelah menyelesaikan proses menyeimbangkan, melihat bahwa teropong terlalu rendah pada waktu membidik titik balik atau titik tetap duga sebelah atas. Untuk menghindari ini, pasanglah instrumen tanpa berusaha menyeimbangkannya baik-baik dan gelembung dibuat agak mundur dari pusatnya. Bidiklah rambu, dan jika kelihatan untuk penempatan ini, jelas akan terlihat pula bila instrumen diseimbangkan. Sebagai pilihan lain, sebuah alat sipat datar tangan dapat dipakai untuk mengecek pemasangan dengan tinggi yang benar sebelum menyeimbangkan instrumen dengan saksama.

**7-3. TUGAS-TUGAS PEMEGANG RAMBU.** Tugas pemegang rambu itu cukup sederhana. Tetapi seperti petugas pita, seorang pemegang rambu dapat menggagalkan usaha-usaha terbaik seorang pengamat kalau mengabaikan beberapa ketentuan dasar.

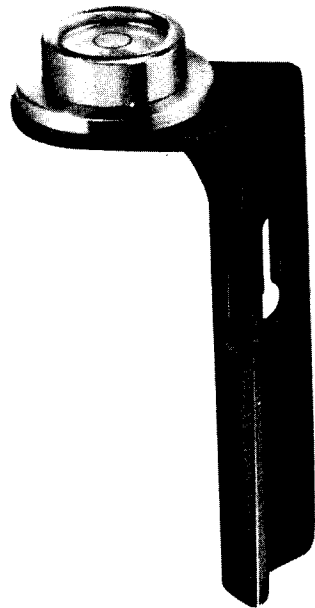
Sebuah rambu sipat datar harus dipegang tegak lurus agar diperoleh pembacaan yang benar. Dalam Gambar 7-2, titik *A* di bawah garis bidik berjarak *AB*. Jika rambu miring kedudukannya menjadi *AD*, diperoleh pembacaan salah yaitu *AE*. Dapat dilihat bahwa pembacaan sekecil mungkin, *AB*, adalah yang benar dan hanya diperoleh bila rambu tegak lurus.

Menggoyangkan rambu adalah prosedur yang dipakai untuk membuat agar rambu tegak lurus pada waktu dibaca. Prosesnya adalah perlahan-lahan memiringkan rambu bagian atas, pertama ke arah instrumen dan kemudian menjauhinya. Pengamat memperhatikan pembacaan bergantian meningkat dan menurun, kemudian memilih harga minimum, yang benar. Para pemula cenderung membuat ayunan rambu terlalu cepat dengan busur ayunan yang terlalu besar. Galat kecil dapat terjadi tergantung jenis tanda titik alas rambu yang dipakai. Tugu berujung bulat, batang baja atau pinggir tipis merupakan titik yang baik sekali.

Pada hari-hari yang tenang tak berangin, rambu dapat ditegakkan dengan membiarkannya berdiri seimbang pada beratnya sendiri sementara topang sedikit dengan ujung-ujung jari. Pengamat menentukan bahwa rambu telah tegak pada arah memanjang dengan jalan mengecek terhadap benang vertikal dan memberi tanda bila diperlukan pembetulan. Petugas rambu dapat menghemat waktu dengan membidik sepanjang tepi rambu untuk membuatnya sejajar dengan tiang telepon, pohon atau sisi sebuah gedung. Membuat rambu tegak lurus pada arah garis ke instrumen adalah lebih sulit, tetapi memegang rambu dengan ujung jari kaki, perut dan hidung membuatnya mendekati kedudukan tegak lurus.

Nivo rambu jenis seperti terlihat dalam Gambar 7-3 menjamin kedudukan tegak yang





Gambar 7-3. Nivo rambu. (Atas kebaikan Keuffel & Esser Company).

**Contoh 7-1.**

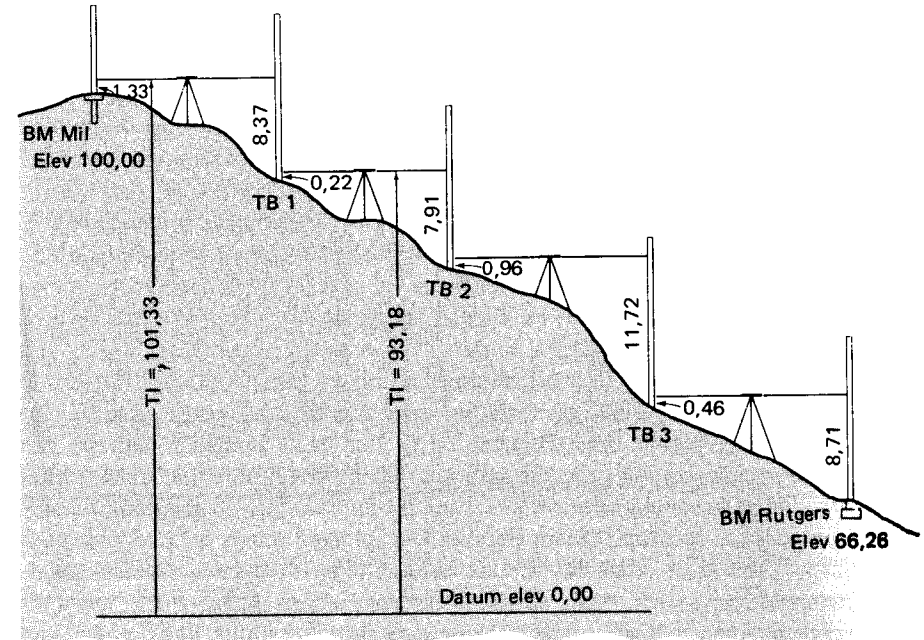
Dalam Gambar 7-2,  $AB = 10$  ft dan  $EB = 6$  in. Berapa galat yang diakibatkan? Memakai suku paling kanan Pers. (4-5) dalam Paragraf 4-13, galat  $e$  adalah

$$e = \frac{d^2}{2L} = \frac{0,5^2}{2 \times 10} = 0,012 \text{ ft atau } 0,01 \text{ ft.}$$

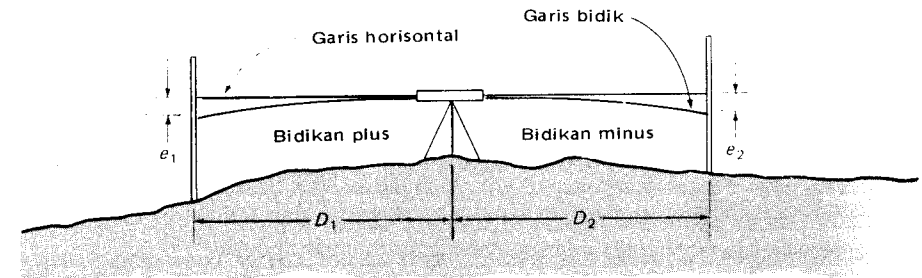
Galat sebesar ini adalah serius, sekalipun hasilnya sampai perseratusan atau perseribu-an. Ini berarti perlu upaya menegak-luruskan, terutama untuk pembacaan-pembacaan rambu tinggi.

**7-4. SIPAT DATAR MEMANJANG.** Gambar 7-4 melukiskan prosedur yang diikuti dalam sipat datar memanjang. Diperlukan beberapa pemasangan instrumen untuk menyelesaikan jalur "pergi" dan "pulang". Catatan lapangan diberikan dalam Gambar D-3.

Kedudukan-kedudukan di mana sebuah rambu dipegang untuk pengukuran garis dengan pemasangan instrumen ke garis dengan pemasangan instrumen berikutnya disebut titik-titik balik (TB). Sebuah titik balik adalah titik pasti di mana diambil kedua bidikan plus maupun minus pada sebuah jalur sipat datar. Jarak-jarak horisontal untuk bidikan plus maupun minus harus dibuat mendekati sama dengan pengukuran langkah, pengukuran jarak optis, atau menghitung panjang rel jika bekerja sepanjang jalan baja, memperhatikan sambungan kaki lima bila bekerja di tepi jalan beton, atau dengan suatu cara lain yang mudah. Ini akan menghilangkan galat karena instrumen tak teratur (paling penting) dan pengaruh gabungan kelengkungan bumi dan biasan seperti diperlihatkan dalam Gambar 7-5, di mana  $e_1$  dan  $e_2$  adalah gabungan galat kelengkungan dan biasan berturut-turut untuk



Gambar 7-4. Sipat datar memanjang.



Gambar 7-5. Imbangan jarak bidikan plus dan minus untuk menghilangkan galat karena kelengkungan dan biasan.

Pada lereng-lereng mungkin agak sulit untuk menyamakan jarak-jarak bidikan plus dan minus, tetapi biasanya dapat dikerjakan dengan mengikuti jalur berbuku-buku (zigzag).

Sebuah titik tetap duga digambarkan dalam buku lapangan pertama kali dipakai dan seterusnya disebut dengan nomor halaman di mana titik dicatat. Gambaran dimulai dengan lokasi umum dan harus menyertakan detail secukupnya agar seseorang yang tak paham wilayahnya dapat menemukan tanda itu dengan mudah (lihat Apendiks D, Gambar D-3 dan D-5). Sebuah titik tetap duga biasanya dinamai menurut suatu obyek menonjol di mana titik berada, atau dekat, untuk membantu menggambarkan letaknya; lebih disukai memakai satu kata. Contoh BM Kali, BM Menara, BM Sudut, dan BM Jembatan. Pada pengukuran yang luas, titik tetap duga diberi nomor urut. Ini merupakan keuntungan dalam mengenali kedudukan nisbinya sepanjang sebuah jalur tetapi lebih mudah menyebabkan salah di

kembali lokasinya. Tetapi bila mungkin, disarankan memilih titik-titik balik yang dapat dicari kembali lokasinya, sehingga bila pengulangan diperlukan karena kesalahan besar pada jalur panjang, pekerjaan lapangan dapat dikurangi.

Sebelum sebuah regu meninggalkan lapangan, semua pengecekan catatan yang memungkinkan, harus dilaksanakan untuk meneliti kalau-kalau ada kesalahan dalam hitungan dan membuktikan apakah telah dicapai kesalahan penutup yang dibolehkan. *Jumlah aljabar bidikan plus dan minus diterapkan terhadap elevasi pertama seharusnya menghasilkan elevasi terakhir.* Hitungan ini mengecek penjumlahan dan pengurangan untuk semua TI dan TB kecuali bila terjadi kesalahan-pampas. Jika ini dijalankan untuk setiap tabulasi di halaman kiri, hal ini dinamakan "pengecekan halaman".

Pekerjaan itu penting untuk dicek dengan menyipat datar ke muka dan ke belakang antara titik-titik ujung. Selisih antara *penjumlahan rambu* (penjumlahan aljabar bidikan plus dan minus) pada jalur pergi dan penjumlahan rambu pulang, disebut "kesalahan penutup pergi-pulang". Persyaratan-persyaratan, atau tujuan pengukuran, menentukan kesalahan penutup pergi-pulang (lihat Paragraf 7-13). Jika batas kesalahan penutup yang dibolehkan dilampaui, harus dilaksanakan satu atau lebih pengukuran tambahan. Perhatikan bahwa *harus dibuat pemasangan instrumen baru sebelum dimulai pengukuran pulang agar diperoleh pengecekan lengkap.* Dalam Gambar D-3, bidikan minus 8,71 terbaca pada BM Rutgers untuk akhir jalur pergi dan sebuah bidikan plus 11,95 tercatat untuk awal jalur pulang, menunjukkan bahwa telah dibuat pemasangan baru. Kalau tidak, maka sebuah galat dalam pembacaan bidikan minus terakhir akan diterima untuk bidikan plus pertama pada jalur pulang. Sebuah pengecekan yang bahkan lebih baik, diperoleh dengan pengikatan jalur sipat datar pada lebih dari satu titik tetap duga.

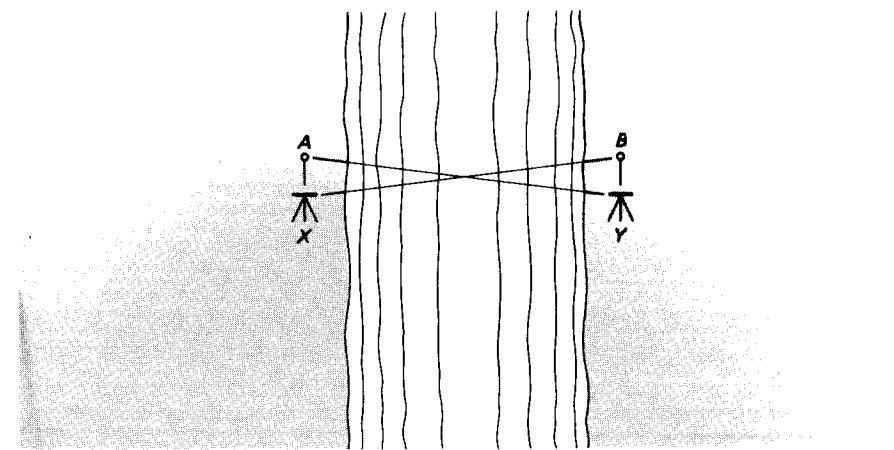
Selisih elevasi antara titik ujung dianggap sama dengan harga rata-rata penjumlahan pembacaan rambu pengukuran pergi dan pulang. Di mana ada "jalur-jalur-lingkar" yang saling terikat dalam jaringan sipat datar, maka untuk meratakan agihan kesalahan penutup dapat dipakai metode "perataan simpul" pendekatan (lihat Paragraf 7-15) atau perataan kuadrat terkecil yang lebih teliti. Elevasi-elevasi sebenarnya ditetapkan dengan mulai dari sebuah titik tetap duga yang elevasinya di atas permukaan laut rata-rata diketahui, dan dicek dengan jalan pengukuran kembali ke titik itu atau titik tetap duga yang lain. Jika ini tak mungkin, boleh dipakai elevasi anggapan dan semuanya di belakang hari dihitung elevasi yang sebenarnya dengan menerapkan sebuah tetapan.

Sebuah danau atau kolam yang tak terganggu angin, aliran masuk, atau aliran ke luar atau walaupun hanya kali yang mengalir pelan dapat dipakai sebagai perpanjangan titik balik. Patok yang ditancapkan sama tinggi dengan permukaan danau atau kali atau batu yang titik tingginya di bidang itu dapat dipakai sebagai titiknya.

Jalur sipat datar *rambu-rangkap* kadang-kadang dipakai pada pekerjaan penting. Bidikan-bidikan plus dan minus diambil pada dua TB memakai dua rambu tiap pemasangan alat, dan pembacaannya dimasukkan dalam kolom formulir catatan yang terpisah. Pengecekan pada tiap pemasangan instrumen diperoleh bila TI cocok untuk kedua garis jalur.

*Sipat datar lompat* dapat dilaksanakan pada akhir hari kerja untuk mengecek hasil-hasil sipat datar jalur panjang yang hanya diukur satu arah. Bidikan-bidikan panjang dengan pemasangan instrumen yang lebih sedikit dipakai di sini; tujuannya hanya untuk meneliti ada tidaknya kesalahan besar.

*Sipat datar tiga-benang*, semula dipakai terutama pada pekerjaan saksama, sekarang umum pada proyek yang hanya memerlukan kesaksamaan biasa. Pembacaan benang atas, benang tengah dan benang bawah diambil rata-ratanya untuk memperoleh harga yang lebih baik. Pengecekan diperoleh dengan jalan memperhatikan selisih antara benang-benang tengah dan atas dan antara benang-benang tengah dan bawah. Jika tidak cocok dalam batas satu atau dua satuan terkecil yang terbaca, pembacaan diulangi. Interval rambu antara



Gambar 7-6. Sipat datar timbal-balik.

benang-benang atas dan bawah merupakan jarak bidikan untuk mengecek panjang bidikan plus dan minus. Prosedur ini dijelaskan lebih terperinci dalam Paragraf 20-16.

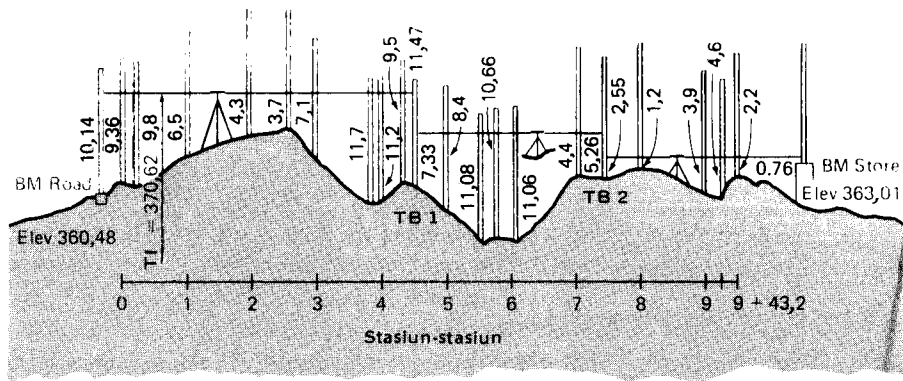
**7-5. SIPAT DATAR TIMBAL-BALIK.** Ciri-ciri topografik seperti sungai, danau dan lembah menyulitkan atau tak mungkin membuat bidikan plus dan minus selalu pendek dan sama. Pada lokasi semacam itu dipakai sipat datar timbal-balik.

Seperti ditunjukkan dalam Gambar 7-6, sebuah alat sipat datar dipasang pada satu tepi sebuah sungai di *X*, dekat *A*, dan pembacaan rambu dilakukan pada titik *A* dan *B*. Karena *XB* sangat jauh, diambil beberapa pembacaan untuk diambil rata-ratanya. Ini dikerjakan dengan mengambil pembacaan memutar sekrup penyetel untuk membuat nivo tak seimbang, menyeimbangkan lagi dan membaca lagi. Proses ini diulangi dua, tiga, empat kali atau lebih. Kemudian instrumen dipindahkan dekat *Y* dan diikuti prosedur yang sama.

Dua selisih elevasi antara *A* dan *B*, ditentukan dengan sebuah instrumen di *X* dan *Y*, biasanya tak akan sama karena kelengkungan, biasan, galat-galat instrumental dan pribadi. Perubahan biasan dapat terjadi jika ada selang waktu lama sebelum pengamatan di *Y*. Harga pukul rata dari dua selisih elevasi dapat diterima sebagai harga yang benar bila kesaksamaan keduanya nampak memuaskan. Prosedur ini, sebuah metode timbal-balik, juga dipakai dalam mengatur alat sipat datar dan teodolit kompas. Gambar D-4 adalah sebuah contoh satu berkas catatan sipat datar timbal-balik. Perbaikan teknik ini telah dikembangkan untuk melewati rintangan yang lebih besar dan memperoleh kesaksamaan paling tinggi.

**7-6. SIPAT DATAR PROFIL.** Pada pengukuran jalur-lintas untuk jalan raya atau jalur pipa, misalnya, elevasi diperlukan pada tiap stasiun berjarak 100-ft (atau 30-an), pada titik sudut (titik yang menandai perubahan arah), pada perubahan-perubahan kemiringan permukaan tanah, dan pada titik-titik genting seperti jalan, jembatan, dan gorong-gorong. Bila digambar, elevasi-elevasi ini menunjukkan sebuah *profil* — sebuah garis yang menggambarkan elevasi tanah pada irisan vertikal sepanjang jalur pengukuran. Untuk kebanyakan proyek rekayasa, profil-profil diambil sepanjang garis pusat yang dipancang pada stasiun-stasiun 100-ft atau, bila perlu karena tanah bergelombang, dalam pertambahan jarak 50 atau 25-ft (15 atau 10 m).

Sipat datar profil, seperti sipat datar memanjang, perlu penentuan titik-titik balik pada mana baik bidikan plus maupun minus dibaca. Selain itu, sejumlah *rambu depan-anta-*



Gambar 7-7. Sipat datar profil.

ra (bidikan minus) ditetapkan pada titik-titik sepanjang jalur dari tiap pemasangan instrumen seperti ditunjukkan dalam Gambar 7-7. Gambar D-5 adalah sebuah contoh serangkaian catatan untuk profil itu.

Seperti dinyatakan dalam catatan, bidikan plus diambil pada titik tetap duga dan bidikan-bidikan antara dibaca pada stasiun-stasiun, pada perubahan-perubahan permukaan tanah, dan pada titik-titik kritis. sampai dicapai batas jarak bidikan teliti. Kemudian dipilih titik balik, instrumen dipindahkan ke depan, dan proses diulang. Alat sipat datar itu sendiri biasanya tidak dipasang pada garis pusat sehingga dapat diperoleh bidikan-bidikan yang panjangnya lebih seragam. Titik-titik tetap duga yang ditempatkan agar tak menghalangi konstruksi mendatang, ditetapkan sepanjang jalur pada garis panjang.

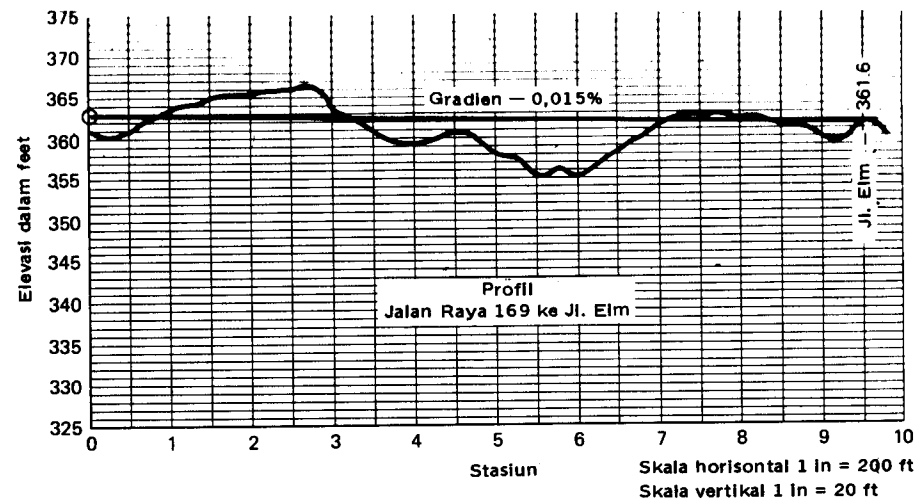
Terbukti bahwa bila dilaksanakan "pengecekan halaman" pada hitungan-hitungan aritmetika, hanya bidikan-bidikan minus yang diambil pada titik-titik balik dapat dipakai. Karena alasan ini, dan untuk memisahkan titik-titik yang akan digambar, maka untuk bidikan-bidikan antara lebih baik disediakan sebuah kolom terpisah.

Pembacaan pada permukaan yang diperkeras, seperti jalan beton, kaki lima, pinggir jalan, dapat diambil sampai 0,01 ft. Pembacaan lebih kecil dari 0,1 ft pada permukaan berupa tanah tidaklah praktis.

Sebuah pengukur elevasi yang dipakai di jalan-jalan, adalah alat mekanis atau elektromekanis beroda yang ditarik oleh mobil atau truk, mengukur lereng dan jarak kemudian secara otomatis dan terus-menerus mengintegrasikan dan mencatat hasilnya sebagai selisih-selisih elevasi. Sebuah profil dengan ketelitian orde-keempat dapat diperoleh pada kecepatan 30 mil/jam.

**7-7. PENCATAT PROFIL UDARA.** Pengembangan pencatat profil udara dimulai dalam awal tahun 1940-an untuk memperoleh profil tanah di bawah lintasan pesawat terbang yang membawa peralatan radar. Profil tanah terhadap bidang acuan isobarik (memiliki tekanan barometrik yang sama) diperoleh dengan mengukur jangka waktu yang diperlukan oleh tengara-tengara radar merambat dari pesawat terbang ke tanah, dipantulkan dan kembali ke pesawat terbang. Pada akhir tahun 1950-an, peralatan ini telah mampu mencapai ketelitian 10-ft di tanah datar dan 20-ft pada wilayah pegunungan.

Ketelitian sistem-sistem pencatatan profil udara telah diperbaiki dengan pemakaian energi laser. Sistem ini bekerja mirip alat-alat ukur jarak elektronik dalam hal kembalinya frekuensi energi laser, tengara keluaran dimodulasi pada sebuah gelombang pembawa, dan tinggi ditentukan dengan memakai prinsip pergeseran fase.



Gambar 7-8. Penggambaran profil.

Biasanya pesawat rendah terbangnya selama pengukuran profil dengan laser, untuk memperoleh ketelitian yang lebih baik. Tinggi pesawat di atas tanah biasanya direkam dalam bentuk digital. Ketelitian pencatat profil-udara laser adalah sangat luar biasa, dengan pengujian-pengujian menunjukkan elevasi benar dalam batas 1 ft pada tinggi terbang 1000 ft. Hasil pisahan (resolution) sistem sebenarnya mendekati 0,1 ft (keseksamaan  $\frac{1}{10.000}$ ) tetapi ketelitian datum acuan isobarik membatasi ketepatan profil sampai pada angka yang lebih besar dari itu.

**7-8. PENGAMBARAN DAN PEMAKAIAN PROFIL.** Profil-profil digambar pada kertas khusus dari jenis seperti terlihat pada Gambar 7-8. Garis-garis vertikal berantara  $\frac{1}{4}$  in dan tiap garis kesepuluh dibuat lebih tebal. Garis-garis horisontal berantara  $\frac{1}{20}$  in, dengan tiap garis kelima lebih tebal dan tiap garis ke-50 lebih tebal lagi.

Skala vertikal profil biasanya diperbesar dibanding dengan skala horisontal agar lebih mengesankan selisih-selisih elevasi. Sering dipakai perbandingan 10 : 1, tetapi kedataran atau banyaknya lekukan dan tonjolan permukaan tanah menentukan perbandingan yang diinginkan. Jadi untuk skala horisontal 1 in = 100 ft, skala vertikal mungkin 2 in = 10 ft. Garis-garis paling tebal pada kertas Gambar A membentuk kotak-kotak  $2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2}$  in, yang paling cocok untuk skala 1 in = 40 ft (atau 400 ft) pada arah horisontal dan 1 in = 4 ft (atau 40 ft) pada arah vertikal (dulu dipakai dalam banyak pengukuran jalan baja). Skala yang sebenarnya dipakai, harus dinyatakan dengan jelas.

Gambar profil dipakai untuk berbagai tujuan, misalnya (a) menentukan kedalaman galian atau timbunan pada rencana jalan raya, jalan baja dan pelabuhan udara; (b) mempelajari masalah-masalah tanjakan-silangan; (c) penyelidikan dan pemilihan tanjakan, lokasi dan kedalaman paling ekonomis untuk saluran pembuangan, jalur pipa, terowongan, saluran irigasi, dan proyek-proyek lain.

Angka gradien (atau gradien atau gradien persen) adalah naik atau turunnya dalam feet per-100 ft, atau meter per 100 m. Jadi, sebuah gradien 2,5% berarti beda elevasi  $2\frac{1}{2}$  ft tiap jarak horisontal 100 ft. Gradien naik adalah plus, gradien turun, minus. Sebuah garis gradien dipilih untuk menghasilkan galian dan timbunan yang hampir sama, diperlihatkan dalam Gambar 7-8. Proses pemancangan gradien dijelaskan dalam Bab 24.

Istilah *graden* juga dipakai untuk menunjukkan elevasi permukaan yang telah diselesaikan pada sebuah proyek rekayasa.

**7-9. SIPAT DATAR KISI (GRID), IRISAN (CROSS-SECTION), ATAU LUBANG GALIAN SUMBANG (BORROW-PIT).** Sipat datar kisi adalah sebuah metode untuk menentukan lokasi garis-garis tinggi (dan ciri-ciri topografik) dengan jalan mematok wilayah menjadi kisi bujur-bujur sangkar bersisi 10, 20, 50, 100 ft atau lebih (atau dalam meter sebanding itu) dan menentukan elevasi titik-titik sudutnya. Bidang-bidang berbentuk empat persegi panjang, misalnya 50 x 100 ft, yang sisi-sisi panjangnya hampir sejajar arah umum garis tinggi mungkin lebih baik untuk dipakai pada lereng-lereng curam. Ukuran kisi tergantung pada luas proyek dan ketelitian yang diperlukan.

Proses yang sama, disebut "sipat datar lubang galian sumbang" dipakai pada pekerjaan-pekerjaan konstruksi untuk menentukan kuantitas tanah, kerikil, batuan atau material lain yang harus digali atau ditimbunkan. Prosedurnya diliput dalam Paragraf 27-10 dan Gambar D-6.

**7-10. PEMAKAIAN ALAT SIPAT DATAR TANGAN.** Alat sipat datar tangan dapat dipakai untuk beberapa jenis pengukuran tanah bila ketelitian orde-rendah sudah cukup. Pengamat mengambil bidikan-bidikan plus dan minus sambil berdiri di satu kedudukan dan kemudian bergerak maju mengulang prosesnya. Alat sipat datar tangan berguna misalnya dalam pembuatan irisan untuk memperoleh beberapa pembacaan rambu tambahan pada tanah miring di mana mestinya diperlukan titik balik.

**7-11. BESARNYA REGU LAPANGAN.** Sipat datar memanjang biasa dapat dikerjakan oleh regu dua orang bila pengamat sekaligus mencatat. Pada sipat datar saksama diperlukan seorang pengamat, pemegang payung (kecuali dipakai alat sipat datar otomatis yang lambat tindak-baliknya terhadap perubahan suhu), pencatat, dan dua pemegang rambu.

Sebuah rambu swabaca (self-reading) sering dipakai pada sipat datar lubang galian-sumbang dan profil; karenanya regu dua-orang sudah cukup. Dengan adanya orang ketiga sebagai pencatat meringankan beban pengamat dan regu dapat bergerak lebih cepat.

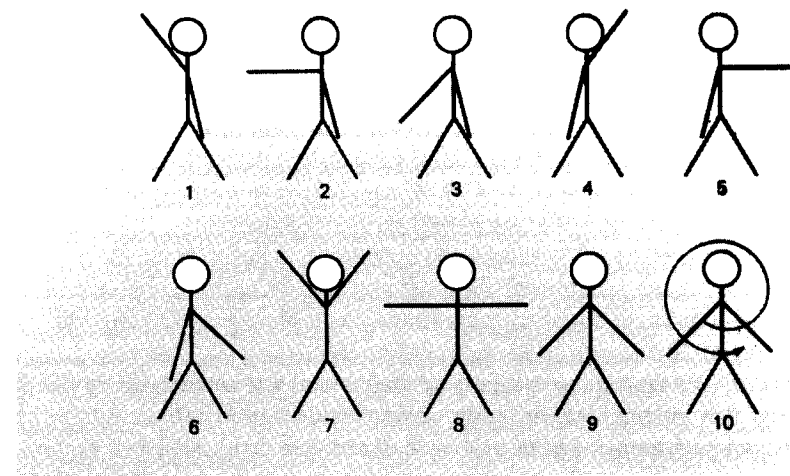
**7-12. TENGARA-TENGARA.** Jarak antara para petugas dan bising lalu lintas atau sumber lain menyebabkan perlunya komunikasi dengan tangan pada banyak pengukuran jika tidak tersedia radio. Tengara-tengara khusus untuk menyesuaikan keadaan dapat diciptakan untuk keperluan tertentu. Tengara harus memperagakan semirip mungkin dengan tindakan yang dilakukan. Pengamat harus ingat bahwa mempunyai kelebihan keuntungan yaitu perbesaran teropong dan memberi tengara yang jelas sehingga tak menimbulkan salah pengertian di pihak pemegang rambu yang hanya dengan pandangan mata telanjang. Melengkapi pemegang rambu dengan teropong kecil dapat membantu. Beberapa jenis gerakan yang dipakai dalam sipat datar, ada dalam daftar berikut ini.

*Tegak-luruskan rambu.* Jika rambu miring ke kanan, pengamat merentangkan seluruh lengan kanan ke atas dan miring terhadap vertikal. Posisi ini dipertahankan sampai rambu ditegak-luruskan.

*Tetapkan sebuah TB.* Pengamat atau pemegang rambu dapat memberikan tengara ini dengan jalan meluruskan tangan ke atas dan menggerakannya dalam lingkaran horisontal (menunjukkan "putaran").

*Rambu tinggi.* Pengamat merentangkan kedua lengan horisontal ke samping, telapak tangan di atas, dan menggerakkan bersama ke atas kepala.

*Naikkan sampai tanda merah.* Pada bidikan-bidikan yang amat dekat, angka-angka bertanda



Gambar 7-9. Tengara untuk angka-angka.

merah mungkin di luar bidang pandangan teropong. Jika diperlukan tengara, pengamat merentangkan lengan lurus ke depan, telapak tangan di atas, dan mengangkat satu lengan perlahan-lahan sampai kedudukan kira-kira  $45^\circ$  di atas horisontal.

*Naikkan sasaran.* Pengamat mengangkat sebuah lengan lurus di atas tinggi bahu, mengangkatnya lebih tinggi bila diperlukan banyak gerakan. Lengan digerakkan ke arah kedudukan horisontal sementara sasaran mendekati pemasangan yang diinginkan.

*Turunkan sasaran.* Seperti pada "naikkan sasaran", tetapi lengan terentang di bawah tinggi bahu dan bergerak ke atas.

*Kuncikan sasaran.* Pengamat melambatkan satu tangan dalam lingkaran vertikal dengan lengan pada kedudukan horisontal.

*TB atau BM.* Pemegang rambu memegang rambu horisontal di atas kepala dan kemudian menempatkannya pada TB atau BM. Tengara ini dipakai dalam sipat datar memanjang untuk membedakan bidikan-bidikan-antara pada TB-TB atau BM-BM untuk kepentingan pengamat dan pencatat.

*Sudah beres.* Lengan-lengan direntangkan ke samping, telapak tangan ke depan, dan melambai ke atas dan ke bawah beberapa kali. Ini dipakai oleh sembarang anggota regu dalam jenis pengukuran.

*Tengara-tengara untuk angka.* Sebuah sistem yang dipakai dilukiskan dalam Gambar 7-9.

**7-13. KESAKSAMAAN.** Kesaksamaan dalam sipat datar, seperti pada pengukuran jarak dengan pita, ditentukan dengan jalan mengulang pengukuran atau mengadakan pengikatan pada titik-titik kontrol. Elevasi sebuah titik tetap duga dapat diketemukan dengan sipat datar lewat dua jalur berbeda, dari titik-titik tetap duga yang lain, atau dengan sebuah sipat datar untai-tertutup kembali ke titik awal. Jika dekat ujung jalur pengukuran ada sebuah titik tetap duga yang ditetapkan secara teliti, harus dilaksanakan pengecekan terhadapnya.

Kesalahan penutup pergi-pulang dibandingkan dengan harga yang dibolehkan atas dasar atau banyaknya pemasangan alat atau jarak yang diliput. Berbagai instansi menetapkan kesaksamaan baku berdasarkan kebutuhan proyek mereka. Sebagai contoh, pada se-

buah proyek konstruksi, kesalahan penutup pergi-pulang yang dibolehkan mungkin dipakai sebesar  $C = 0,03 \text{ ft} \sqrt{n}$  di mana  $n$  adalah banyaknya pemasangan alat.

Jenis rumus yang dipakai oleh the National Geodetic Survey (NGS) untuk menghitung kesalahan penutup yang dibolehkan adalah

$$C = m\sqrt{K} \quad (7-1)$$

di mana  $C$  adalah kesalahan penutup yang dibolehkan, dalam milimeter;  $m$  sebuah tetapan, dalam milimeter; dan  $K$  panjang bagian atau untai yang disipat datar, dalam kilometer.

NGS menentukan tetapan-tetapan 3, 4, 6, 8, dan 12 mm untuk lima kelas sipat datarnya yang sekarang berturut-turut ditetapkan sebagai (1) orde-pertama – kelas I, (2) orde-pertama – kelas II, (3) orde-kedua – kelas I, (4) orde-kedua – kelas II, dan (5) orde-ketiga. Sebuah jalur pengukuran tunggal dibolehkan tergolong orde-ketiga atau orde-kedua – kelas II. Tingkat-tingkat ketelitian yang dianjurkan untuk jenis-jenis proyek yang berbeda diberikan dalam Paragraf 20-3.

Sebagai contoh, jika sipat datar memanjang diukur dari BM tertentu  $A$  ke BM  $B$  berjarak  $\frac{3}{4}$  km, pergi dan pulang, dengan selisih elevasi berturut-turut sebesar 3,0556 m dan 3,0620 m, kesalahan penutupnya adalah 0,0064 m. Kemudian dengan Pers. (7-1).

$$m = \frac{C}{\sqrt{K}} = \frac{6,4}{\sqrt{\frac{3}{4} + \frac{3}{4}}} = 5,2 \text{ mm} \quad (7-2)$$

dan sipat datar memenuhi toleransi yang dibolehkan 6-mm untuk pekerjaan orde-kedua – kelas I.

Jika bidikan-bidikan diambil 300 ft, dengan demikian jarak pemasangan instrumen adalah 60 ft, maka kira-kira akan ada  $5\frac{1}{2}$  pemasangan/km. Untuk sipat datar orde-kedua – kelas I, kesalahan penutup yang dibolehkan kemudian menjadi

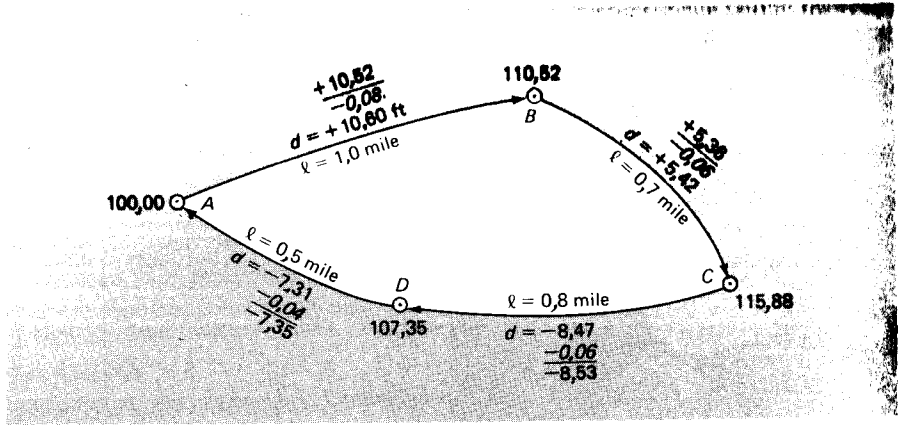
$$E_c = \frac{6}{\sqrt{5,5}} \sqrt{n} = 2,6\sqrt{n} \quad (7-3)$$

di mana  $E_c$  adalah kesalahan penutup yang dibolehkan dalam milimeter dan  $n$  adalah berapa kali instrumen dipasang.

Harga-harga lain dari  $m$  dapat ditetapkan untuk memenuhi kesaksamaan yang diperlukan dan panjang bidikan rata-rata. Pada sipat datar orde-pertama panjang bidikan dibuat berbeda sepanjang hari untuk menyesuaikan dengan kondisi-kondisi atmosferik, dengan maximum 50 m untuk kelas I dan 60 m untuk kelas II.

**7-14. PERATAAN JARINGAN SIPAT DATAR SEDERHANA.** Karena kesalahan penutup yang dibolehkan didasarkan pada panjang-panjang jalur atau banyaknya pemasangan, maka masuk akal bahwa untuk perataan elevasinya atas dasar itu pula. Selisih-selisih elevasi dan panjang-panjang jalur diperlihatkan untuk sebuah untai dalam Gambar 7-10. Kesalahan penutup yang didapat dari penjumlahan aljabar selisih-selisih elevasi adalah  $\pm 0,24$  ft. Penjumlahan panjang-panjang jalur menghasilkan seluruh panjang untai 3,0 mil. Jadi perataan elevasi adalah  $(0,24 \text{ ft}/3,0)$  kali jarak yang bersangkutan, menghasilkan  $-0,08$ ,  $-0,06$ ,  $-0,06$ , dan  $-0,04$  ft (terlihat pada gambar). Beda elevasi yang diratakan dipakai untuk memperoleh elevasi akhir (juga diperlihatkan pada gambar) titik-titik tetap duga, berdasarkan elevasi BM  $A = 100,00$ .

Untaian sipat datar dengan panjang dan jalur yang berbeda kadang-kadang dilaksanakan dari titik-titik acuan yang tersebar untuk memperoleh elevasi sebuah titik tetap duga tertentu. Harga paling mentak untuk sebuah titik tetap duga kemudian dapat dihitung dari



Gambar 7-10. Peralatan jaringan sipat datar berdasar panjang garis.

harga purata berbobot dari pengamatan, bobot-bobotnya beragam dalam bentuk kebalikan panjang garis-garis.

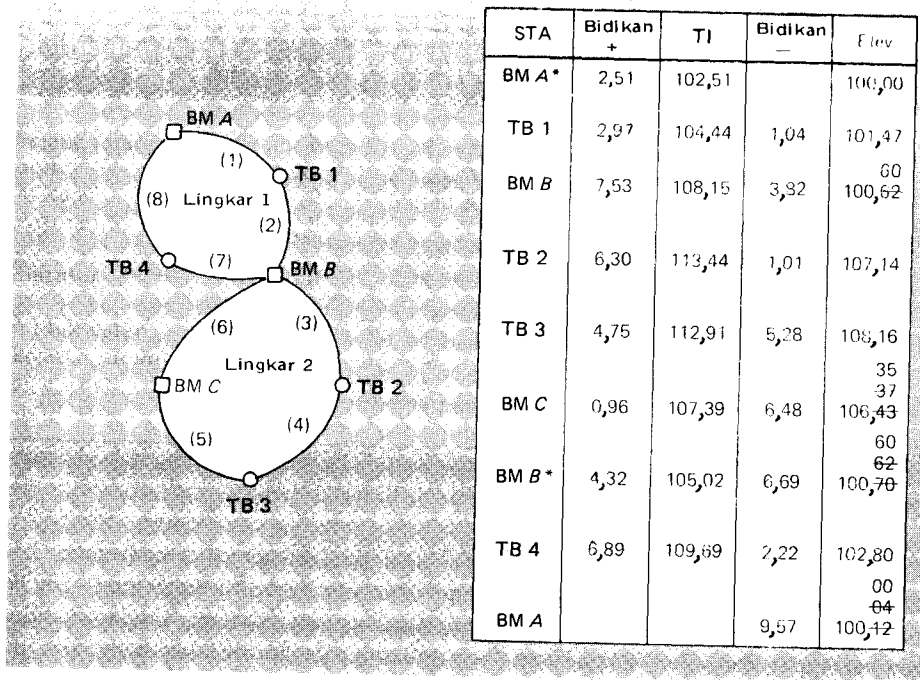
**7-15. PERATAAN JARINGAN BERSIMPUL.** Dalam pelaksanaan untai sipat datar, khususnya yang panjang, dianjurkan adanya beberapa titik balik atau titik tetap duga yang terpakai pada bagian pertama untai, dipakai lagi pada pengukuran pulang. Ini menghasilkan jaringan bersimpul, dan bila ada kesalahan besar, lokasinya dapat disisihkan pada salah satu jalur-lingkar lebih kecil. Ini menghemat waktu karena hanya untai lebih kecil tadi yang perlu diukur kembali. Sebuah contoh diperlihatkan pada Gambar 7-11, di mana BM  $B$  dipakai kedua kalinya pada untai, sehingga membentuk dua jalur-lingkar.

Walaupun kuadrat terkecil adalah cara terbaik untuk meratakan untai yang mengandung dua jalur-lingkar atau lebih, ada beberapa prosedur pendekatan. Untai dua jalur yang catatan lapangannya terlihat pada Gambar 7-11 akan diratakan untuk menggambarkan sebuah metode pendekatan. Di dalam gambar, urutan pemasangan alat ditunjukkan dengan nomor urut dalam kurung. Tanda bintang pada catatan lapangan menyatakan penentuan elevasi kedua daripada BM  $B$ .

Jalur 2, untai sebelah luar diratakan lebih dulu. Dari catatan, elevasi BM  $B$  dihitung dulu diperoleh 100,62, dan setelah pelaksanaan sipat datar melingkar jalur 2, elevasinya adalah 100,70, berarti ada kesalahan penutup  $+0,08$  ft. Dengan mengagihkan berdasarkan banyaknya pemasangan instrumen dalam jalur-lingkar menghasilkan koreksi  $-0,08/4 = -0,02$  ft tiap pemasangan. Jadi, BM  $C$  dan BM  $B^*$  memperoleh koreksi berturut-turut  $3 \times (-0,02) = -0,06$  ft dan  $4 \times (-0,02) = -0,08$  ft. Elevasi terkoreksi-awal kedua titik itu sebesar 106,37 dan 102,62 ditulis dalam catatan tepat di atas harga semula yang belum dikoreksi dan telah dicoret.

Karena elevasi BM  $B^*$  telah dikoreksi dengan  $-0,08$  ft dan pemasangan 7 dan 8 tergantung kepadanya sebagai acuan, elevasi BM  $A$  juga harus dikoreksi dengan  $-0,08$  menjadi 100,04 ft. Tetapi elevasi akhir BM  $A$  harus 100,00, sehingga ada kesalahan penutup sebesar  $+0,04$  ft pada jalur 1. Ini juga diagihkan atas dasar banyaknya pemasangan instrumen dalam jalur, yaitu  $-0,04/4 = -0,01$  ft per pemasangan. Karenanya BM  $B$  dan BM  $A$  dikoreksi berturut-turut dengan  $2 \times 0,01 = -0,02$  ft dan  $4 \times (-0,01) = -0,04$  ft, menghasilkan elevasi diratakan sebesar 100,60 dan 100,00 ft.

Pemasangan instrumen 3 sampai dengan 6 tergantung pada BM  $B$  sebagai elevasi acuan. Sementara BM  $B$  telah dikoreksi dengan  $-0,02$  ft, elevasi BM  $C$  dan BM  $B^*$  juga dikoreksi sebesar  $-0,02$  ft. Ini merampungkan perataan. Elevasi akhir dari semua titik tetap duga di-



Gambar 7-11. Untaian sipat datar dua jalur-lingkar dan catatan lapangan yang bersangkutan, memperlihatkan perataan.

tunjukkan di atas angka asli yang telah dicoret dan harga awal teratakan. Hasilnya tidak sama dengan kalau diperoleh dengan jalan mengagihkan kesalahan penutup 0,02 sama besar pada semua titik dalam perataan untaian tunggal.

Dalam untaian dengan tiga jalur atau lebih, diikuti prosedur umum yang sama. Perataan selalu mulai dari jalur luar.

**7-16. SUMBER-SUMBER GALAT DALAM SIPAT DATAR.** Semua pengukuran sipat datar dikenai tiga sumber galat: (1) instrumental, (2) alamiah, (3) pribadi.

**Galat Instrumental.**

**Instrumen Tidak dalam Keadaan Teratur.** Pengaturan alat ukur jenis semua tetap atau jenis-Y yang paling penting adalah membuat garis bidik sejajar garis arah nivo (kecuali untuk alat sipat datar otomatis) sehingga bila teropong diputar tidak terbentuk bidang kerucut, tetapi bidang datar. Bila tidak diatur demikian akan terjadi galat serius dalam pembacaan rambu tetapi akan dihilangkan bila jarak horisontal bidikan plus dan minus dibuat sama untuk memakai prinsip timbal-balik (lihat Apendiks A). Galatnya adalah sistematis dan dapat menjadi serius dalam menanjak atau menuruni bukit curam di mana semua bidikan plus lebih panjang atau lebih pendek daripada semua bidikan minus, kecuali ada tindakan hati-hati dengan jalan mengambil jalur siku-biku (zigzag).

**Benang Silang Tidak Tepat Horisontal.** Pembacaan rambu ditepatkan dekat pusat benang silang horisontal oleh pemakainya atau membuat minimum selat vertikal di

**Panjang Rambu Tidak Benar.** Pembagian skala yang tak akurat pada rambu menyebabkan galat dalam beda elevasi terukur serupa dengan yang diakibatkan oleh pembagian skala yang tidak benar pada pita. Ujung bawah rambu yang aus seragam menyebabkan harga TI terlalu besar, tetapi pengaruhnya dihilangkan bila dimasukkan dalam kedua bidikan plus dan minus. Pembagian skala rambu harus dicek dengan membandingkan terhadap pita yang dibakukan.

**Kaki Tiga Longgar.** Baut yang terlalu longgar atau terlalu ketat menyebabkan gerakan atau tegangan yang mempengaruhi bagian atas instrumen. Alas logam yang kendur pada kaki tiga menyebabkan pemasangan alat takstabil.

**Galat Alamiah.**

**Kelengkungan Bumi.** Seperti dikemukakan dalam Paragraf 6-3, sebuah bidang datar melengkung dari bidang horisontal dengan laju 0,667 M<sup>2</sup> atau kira-kira 8 in per 1 mil. Pengaruh kelengkungan bumi adalah meningkatkan pembacaan rambu. Dengan menyamakan bidikan plus dan minus menghilangkan galat karena sebab ini.

**Biasan.** Berkas sinar dari obyek ke teropong dibelokkan, membuat garis bidik berbentuk lengkung konkaf terhadap permukaan bumi, dan karenanya mengurangi pembacaan rambu. Menyamakan bidikan plus dan minus biasanya menghilangkan galat-galat karena biasan. Tetapi perubahan-perubahan besar dan mendadak dalam biasan atmosferik mungkin penting dalam pekerjaan saksama. Galat-galat karena biasan cenderung menjadi acak setelah jangka waktu lama tetapi dalam pekerjaan sehari dapat menjadi sistematis.

**Keragaman Suhu.** Panas menyebabkan rambu sipat datar mengembang, tetapi pengaruhnya tak berarti dalam sipat datar biasa.

Bila tabung nivo alat sipat datar semua tetap atau alat sipat datar dengan pengungkit kena panas, cairannya mengembang dan gelembungnya memendek. Ini tidak menyebabkan galat (walaupun mungkin tidak memudahkan), kecuali bila satu ujung tabung kena panas lebih daripada ujung lainnya dan karenanya gelembung bergerak ke arah ujung yang kena panas. Bagian-bagian instrumen lainnya meliuk karena pemanasan yang tak merata, dan ketimpangan ini mempengaruhi pengaturan. Untuk mengurangi atau menghilangkan pengaruh panas, pada waktu membawa alat ukur diberi peneduh dan bila terpasang dipayungi. Tindakan pencegahan ini dilaksanakan dalam sipat datar saksama.

Udara bergolak atau gelombang panas dekat permukaan tanah atau dekat obyek panas menyebabkan rambu nampak bergoyang dan mencegah bidikan teliti. Meninggikan garis bidik dengan pemasangan kaki tiga tinggi, mengambil bidikan pendek dan menghindari bidikan melewati dekat sumber panas (misalnya bangunan dan cerobong asap), dan memakai perbesaran rendah okuler multidaya, mengurangi pengaruhnya.

**Angin.** Angin kuat menyebabkan instrumen bergetar dan rambu tak tenang. Sipat datar saksama tidak dilaksanakan pada hari-hari berangin.

**Merosotnya Instrumen.** Merosotnya instrumen setelah diambil bidikan plus menyebabkan bidikan minus terlalu kecil dan karenanya elevasi titik berikutnya tercatat terlalu besar. Galatnya bertimbun dalam serangkaian pemasangan alat pada tempat lunak. Diperlukan perhatian luar biasa dalam pemasangan alat sipat datar pada tanah gembur, lapisan aspal, atau es. Pembacaan harus diambil secara cepat, barangkali memakai dua rambu dan dua pengamat agar tak usah berjalan keliling instrumen. Dengan bergantian urutannya dalam



**Merosotnya TB.** Keadaan ini menyebabkan galat mirip dengan merosotnya instrumen. Dapat dihindari dengan jalan memilih letak TB di tanah yang keras dan padat atau bila tidak ada, memakai *paku-putar* dari baja.

#### Galat-galat Pribadi.

**Gelembung Tak Seimbang.** Dalam bekerja memakai alat sipat datar semua tetap atau dengan pengungkit, galat-galat karena gelembung tak tepat seimbang pada saat bidikan adalah yang paling penting, terutama pada bidikan-bidikan yang jauh. Jika gelembung menyimpang antara bidikan plus dan minus, *harus diseimbangkan sebelum bidikan minus diambil*. Pengamat-pengamat berpengalaman mengembangkan kebiasaan mengecek gelembung sebelum dan sesudah tiap bidikan, sebuah prosedur yang dipermudah dengan adanya sistem prisma-cermin sehingga dapat terlihat serentak gelembung nivo dan rambu.

**Paralaks.** Paralaks disebabkan oleh pempunan lensa obyektif dan/atau okuler yang tak sempurna mengakibatkan pembacaan rambu yang tidak benar. Pempunan yang cermat menghilangkan masalah ini.

**Salah-Baca Rambu.** Pembacaan rambu yang tak benar diakibatkan dari paralaks, kondisi cuaca yang buruk, bidikan-bidikan panjang, penempatan sasaran dan rambu yang tak baik, dan sebab-sebab lain termasuk kesalahan seperti yang disebabkan karena interpolasi yang tak cermat, dan pertukaran letak angka-angka. Bidikan-bidikan pendek dibuat untuk menyesuaikan kondisi cuaca dan instrumen agar dapat dikurangi banyaknya galat pembacaan. Jika dipakai sebuah sasaran, petugas rambu harus membaca rambu untuk bidikan plus dan menyuruh pengamat mengecek sendiri pembacaan itu sewaktu dia melewatinya dalam perjalanan ke TB berikutnya. Pengamat berhenti untuk membaca pemasangan bidikan-minus sebelum bergerak ke depan untuk pemasangan alat berikutnya.

**Penanganan Rambu.** Galat serius yang terjadi karena penanganan rambu tidak benar (menegak-luruskan) dihilangkan dengan memakai sebuah nivo rambu yang telah diatur. Menhentakkan rambu pada sebuah TB untuk bidikan kedua (plus) dapat merubah elevasi sebuah titik.

**Pemasangan Sasaran.** Sasaran dapat tidak terkunci tepat pada letak yang diminta oleh pengamat karena bergeser turun. Bidikan pengecekan selalu harus dilaksanakan setelah sasaran dikuncikan letaknya.

**7-17. KESALAHAN BESAR.** Beberapa kesalahan umum pada sipat datar dikemukakan di sini.

**Pemakaian Rambu Panjang.** Jika pembacaan nonius di belakang sebuah rambu rusak tidak tepat 6,500 atau 7,000 untuk rambu pendek, sasaran harus dipasang agar terbaca harga yang sama sebelum memanjangkan rambu.

**Memasang Rambu di Tempat-tempat Berbeda untuk Bidikan Plus dan Minus pada sebuah TB.** Petugas rambu dapat menghindari kesalahan seperti ini dengan memakai titik yang jelas atau dengan membuat penunjuk letak dasar rambu memakai ujung bandul.

**Pembacaan Satu Foot Terlalu Tinggi.** Kesalahan ini terjadi karena tanda foot yang tak benar terlihat dekat benang silang; misalnya, seorang pengamat mungkin membaca 5,98 dan seharusnya 4,98. Memperhatikan tanda-tanda foot di atas dan di bawah benang horisontal akan mencegah kesalahan ini.

**Menggoyangkan Rambu Biasa Beralas-Datar ketika Memegangnya di atas Permukaan Rata.** Tindakan ini menyebabkan galat karena bertumpu pada tepi-tepi rambu dan bukan pada pusatnya atau bidang depannya. Dalam pekerjaan saksama, penegakan dengan nivo rambu atau cara lain lebih disukai daripada menggoyangkan rambu.

**Pencatatan Hasil Pengamatan.** Kesalahan-kesalahan dalam mencatat, misalnya pertukaran letak angka-angka, menuliskan harga di kolom yang salah, dan membuat galat aritmetika, dapat dibuat minimal dengan cara pencatat memperkirakan pembacaan dalam pikiran, menirukan penyebutan harga yang diserukan oleh pengamat, dan membuat pengecekan-pengecekan buku-lapangan standar mengenai penjumlahan pembacaan rambu dan elevasi.

**Menyentuh Kaki Tiga Selama Proses Pembacaan.** Para pemula mungkin menyeimbangkan gelembung, meletakkan satu tangan pada kaki tiga pada waktu membaca rambu, dan kemudian melepaskannya pada waktu mengecek gelembung, yang sekarang kembali seimbang lagi tetapi menyimpang pada waktu pengamatan tadi.

**7-18. MENGURANGI GALAT DAN MENGHILANGKAN KESALAHAN BESAR.** Galat dalam sipat datar dikurangi (tetapi tak pernah dapat dihilangkan) dengan pengaturan dan pemakaian yang hati-hati baik terhadap instrumen maupun rambu (lihat Apendiks A untuk prosedur-prosedurnya) serta menetapkan standar metode-metode lapangan dan kegiatan rutin. Kegiatan rutin berikut ini mencegah terjadinya sebagian besar galat atau dengan cepat mengungkapkan terjadinya kesalahan: (a) pengecekan gelembung sebelum dan setelah tiap pembacaan (bila tidak sedang dipakai alat sipat datar otomatis), (b) pemakaian nivo rambu, (c) selalu membuat sama panjang jarak horisontal bidikan plus dan minus, (d) mengadakan pengukuran pergi dan pulang, dan (e) pengecekan aritmetika pada buku-lapangan yang biasa.

#### SOAL-SOAL

- 7-1. Mengapa dianjurkan untuk memasang alat sipat datar dengan semua kaki tiga di atas atau di dalam material yang sama (beton, aspal, tanah) bila mungkin?
- 7-2. Apakah merentangkan kaki tiga hingga instrumen bagian bawah hampir menyentuh tanah membantu melonggarkan bagian instrumen yang beku?
- 7-3. Hitunglah jarak sebuah rambu dipanjangkan untuk pembacaan 13-ft harus dimiringkan agar terjadi galat 0,01 ft.
- 7-4. Serupa Soal 7-3 kecuali untuk pembacaan 4-m dan galat 1 mm.
- 7-5. Berapa galat yang terjadi pada bidikan 200-ft dengan alat sipat datar jika pembacaan rambu adalah 9,00 tetapi ujung atas rambu 12-ft tadi menyimpang 4 in?
- 7-6. Siapkan serangkaian catatan sipat datar untuk data tertulis di bawah ini. Elevasi BM 7 adalah 652,54 ft. Jumlah jarak jalur untai 1800 ft. Merupakan orde-berapa sipat datar ini?

TITIK	+S (RB)	-S (RD)
BM 7	9,43	
TB 1	6,78	8,36
BM 8		9,82
BM 8	7,26	
TB 2	3,91	9,40
TB 3	7,22	5,53
BM 7		1,47

- 7-7. Serupa Soal 7-6 kecuali elevasi BM 7 adalah 521,13 dan jumlah jarak 1200 ft.
- 7-8. Sebuah untaip sipat datar memanjang dimulai dan diakhiri pada BM Rivet, elevasi 496,20 ft. Jarak-jarak RB dan RD dibuat selalu kira-kira sama. Pembacaan diambil dengan berturut-turut 3,76, 8,34; 4,62, 9,51; 6,17, 7,22; 9,04, 6,93; dan 10,16, 1,79. Siapkan dan adakan pengecekan catatannya.
- 7-9. Sebuah alat sipat datar yang dipasang di tengah antara  $X$  dan  $Y$  terbaca 8,53 pada  $X$  dan 6,27 pada  $Y$ . Ketika dipindahkan sampai beberapa feet dari  $X$ , pembacaan pada  $X$  adalah 7,48 dan 5,26 pada  $Y$ . Berapa beda elevasi sebenarnya dan pembacaan rambu pada  $Y$  yang diperlukan untuk meletakkan instrumen dalam keadaan teratur?
- 7-10. Sebuah alat sipat datar dipasang dekat  $C$  (elevasi 221,618 m) dan kemudian dekat  $D$ . Pembacaan rambu berturut-turut adalah:  $C = 1,884$  m,  $D = 1,417$  m,  $D = 1,292$  m, dan  $C = 1,765$  m. Hitung elevasi  $D$  dan pembacaan pada  $C$  untuk mengatur instrumen. (Lihat Paragraf A-4,3 dalam Apendiks A).
- 7-11. Pengkajian perataan-pancang menunjukkan bahwa garis bidik sebuah alat sipat datar mengarah ke bawah 0,006 ft/100. Berapakah perbedaan jarak yang dibolehkan antara RB dan RD pada tiap pemasangan alat (mengabaikan kelengkungan dan biasan) agar elevasi-elevasi tetap benar dalam batas 0,001 ft?
- 7-12. Siapkan serangkaian catatan sipat datar profil untuk data tertulis ini dan tunjukkan pengecekan halaman. Elevasi DM  $A$  adalah 287,52 ft. Pembacaan rambu adalah: RB pada BM  $A$  2,86; RD antara pada 1 + 00 adalah 5,3; RD pada TB 1 adalah 10,56; RB pada TB 1 adalah 11,02; RD-antara pada 2 + 00 adalah 12,09, pada 3 + 00 adalah 6,32, RD pada TB 2 adalah 9,15; RB pada TB 2 adalah 4,28; RD-antara pada 3 + 64 adalah 2,0, pada 4 + 00 adalah 2,6, pada 5 + 00 adalah 5,7; RD pada TB 3 adalah 8,77; RB pada TB 3 adalah 4,16; RD pada BM  $B$  adalah 9,08.
- 7-13. Sama dengan Soal 7-12 kecuali elevasi BM  $A = 413,25$  ft dan RB pada BM  $A$  adalah 6,21 ft.
- 7-14. Gambarkan profil pendek dalam Soal 7-12 dan pilihlah garis gradien antara stasiun 0 + 00 dan 5 + 00 untuk perimbangan luas galian dan timbunan.
- 7-15. Berapakah gradien sisi miring segitiga siku-siku  $20^\circ - 70^\circ$  jika satu sisi di depan sudut  $20^\circ$  adalah horisontal?
- 7-16. Sipat datar timbal-balik menghasilkan pembacaan-pembacaan sebagai berikut dalam ft dari pemasangan dekat  $A$ : pada  $A$ , 2,437; pada  $B$ , 8,254, 8,259, 8,257. Pada pemasangan dekat  $B$ : pada  $B$ , 11,334; pada  $A$ , 5,148; 5,152, 5,149. Elevasi  $B$  adalah 1462,793. Hitunglah kesalahan penutup dan elevasi  $A$ .
- 7-17. Sipat datar timbal-balik menyeberang jurang menghasilkan data yang berikut. Elevasi  $Y$  yang benar adalah 348,216 ft. Elevasi  $X$  dicari. Instrumen di  $X$ :  $+S = 3,254$ ;  $-S = 6,817$ , 6,813, 6,815. Instrumen di  $Y$ :  $+S = 8,362$ ;  $-S = 4,798$ , 4,799, 4,799.
- 7-18. Sipat datar memanjang antara BM  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$  dan  $A$  menghasilkan selisih-selisih elevasi dalam feet  $-15,632$ ,  $+32,458$ ,  $+38,214$ , dan  $-55,025$  dan jarak-jarak dalam mil berturut-turut 0,4, 0,5, 0,6 dan 0,5. Bila elevasi  $A$  adalah 653,214; hitunglah elevasi-elevasi BM  $B$ ,  $C$  dan  $D$  dan orde sipat datar ini.
- 7-19. Sipat datar dari BM  $X$  ke  $W$ , BM  $Y$  ke  $W$  dan BM  $Z$  ke  $W$  berturut-turut menghasilkan selisih-selisih elevasi-elevasi  $-30,24$ ,  $+26,20$  dan  $+10,18$ . Jarak-jarak dalam feet adalah  $XW = 2000$ ,  $YW = 4000$ , dan  $ZW = 3000$ . Elevasi-elevasi sebenarnya daripada BM dalam feet adalah  $X = 460,82$ ,  $Y = 404,36$ , dan  $Z = 420,47$ . Berapakah elevasi BM  $W$  hasil perataan?
- 7-20. Sebuah rambu sipat datar dengan dasar persegi setebal  $1\frac{1}{2}$  in dipegang pada TB beton datar. Garis bidik sipat datar jatuh sedikit di atas dasar. Dalam mengayunkan, rambu bertumpu pada tepi alas bagian depan dan belakang berganti-ganti. Pada tumpuan bagian tepi belakang, pembacaan minimum diperoleh 0,14 ft. Berapa pembacaan rambu sebenarnya?
- 7-21. Setelah pelaksanaan sebuah jalur sipat datar antara BM Sign dan BM Road, dari pemeriksaan terungkap bahwa rambu sipat datar yang dipakai mempunyai lapisan alas yang telah diperbaiki sehingga membuatnya menjadi terlalu panjang. Betulkah elevasi yang ditentukan untuk BM Road? Terangkan.
- 7-22. Sebuah jalur sipat datar dengan 16 pemasangan alat (32 pembacaan rambu) dilaksanakan dari BM Point ke BM Pond dengan pembacaan-pembacaan diambil sampai 0,01 ft terdekat; karenanya yang manapun dapat mempunyai galat 0,005 ft. Hanya untuk galat pembacaan, berapa seluruh galat mungkin dapat diharapkan pada elevasi BM Pond?
- 7-23. Sama dengan Soal 7-22 kecuali untuk 24 pemasangan dan pembacaan-pembacaan sampai 2 mm terdekat dengan kemungkinan galat  $\pm 1$  mm.
- 7-24. Hitunglah galat penutup yang dibolehkan untuk jalur-jalur sipat datar berikut ini: (a) sebuah untaip sipat datar orde-ketiga 12-mil, (b) sebuah jalur sipat datar orde-kedua kelas I sepanjang 25-km, dan (c) sebuah sipat datar jalur tertutup orde-pertama kelas I sepanjang 40-km.
- 7-25. Dari hasil Anda mempelajari teori galat, mengukur dengan pita, dan sipat datar, mengapa biasanya lebih mudah mengerjakan sipat datar dengan baik daripada mengerjakan pengukuran pita dengan baik?
- 7-26. Terangkan bagaimana galat karena instrumen kurang teratur praktis dapat dihilangkan dalam melaksanakan sebuah jalur sipat datar memanjang.
- 7-27. Bagaimana galat-galat karena menurunnya instrumen dan rambu dapat dikurangi atau dihilangkan?
- 7-28. Galat-galat apa dalam sipat datar dihilangkan dengan jalan selalu menyamakan panjang bidikan plus dan minus?
- 7-29. Apakah perbedaan-perbedaan utama dalam melaksanakan sipat datar "biasa" dan "saksama" memakai tiga benang silang?
- 7-30. Bandingkan catatan sipat datar memanjang gaya terbuka (diperluas) dalam Apendiks D, Gambar D-3, dengan susunan tertutup (ringkas) yang kadang-kadang dipakai. Jenis mana yang lebih mudah diikuti dalam pengecekan?
- 7-31. Tuliskan empat pertimbangan seorang pemegang rambu yang menentukan pilihan TB dan BM.
- 7-32. Kapan pelaksanaan jalur sipat datar rambu ganda akan lebih disukai daripada jalur pergi dan pulang?
- 7-33. Buatlah sketsa tengara tangan dengan mana seorang pengamat atau pemegang rambu dapat menjelaskan kepada yang lain bahwa sebuah radio dua-arah telah rusak.

## DAFTAR PUSTAKA

- Berry, R.M. 1977. "Teknik Pengamatan untuk Pemakaian dengan Instrumen Sipat Datar Pemampas untaip Sipat Datar Orde-Pertama". *Surveying and Mapping* 37(no. 1): 15.
- Bouen, H.L. 1962. "Gabungan Rambu Sipat Datar dan Metode Sipat Datar". *Surveying and Mapping* 22(no. 4): 561.
- Federal Geodetic Control Committee. 1974. *Klasifikasi, Pembakuan Ketelitian dan Spesifikasi Pengukuran Titik Kontrol Geodetic*. U.S. Department of Commerce, National Ocean Survey, Rockville, MD.
- Federal Geodetic Control Committee. 1975. *Spesifikasi untuk Mendukung Klasifikasi Pembakuan Ketelitian, dan Spesifikasi Umum Pengukuran Titik Kontrol Geodetic*. U.S. Department of Commerce, National Ocean Survey Rockville, MD.
- Geisler, M. dan H. Papa. 1967. "Evaluasi Ketelitian Sipat Datar Saksama". *ASCE Journal of the Surveying and Mapping Division* 93(no. SU2): 103.
- Kulp, E.F. 1970. "Sipat Datar Kesaksamaan Tinggi dengan Instrumen Otomatik". *ASCE Journal of the Surveying and Mapping Division* 96(no. SU2): 121.
- Selley, A.P. 1977. "Sebuah Sipat Datar Trigonometrik Menyeberangi Selat Pulau Belle". *Canadian Surveyor* 31:249.
- Whalen, C.T., dan E.I. Balacz. 1977. "Hasil-hasil Pengujian Sipat Datar Orde-Pertama Kelas III". *Surveying and Mapping* 37(no. 1): 45.

# 8

## SUDUT, SUDUT ARAH, DAN AZIMUT

**8-1. PENGANTAR.** Lokasi titik-titik dan orientasi garis-garis sering tergantung pada pengukuran sudut dan arah. Dalam pengukuran tanah, arah ditentukan oleh sudut arah dan azimut.

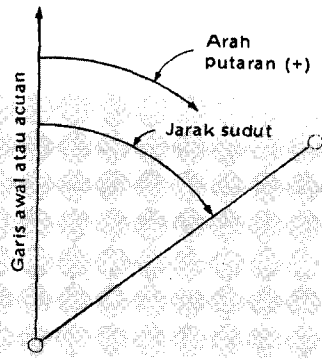
Seperti dijelaskan dalam Paragraf 2-2, sudut-sudut yang diukur dalam pengukuran tanah digolongkan sebagai *horisontal* atau *vertikal*, tergantung pada bidang datar di mana sudut diukur. Sudut horisontal adalah pengukuran dasar yang diperlukan untuk penentuan sudut arah dan azimut. Kegunaan sudut vertikal diterangkan di bagian lain dalam teks ini.

Sudut-sudut diukur *langsung* di lapangan dengan kompas, teodolit kompas, teodolit atau sextan. Sudut dapat dibentuk tanpa pengukuran pada bidang planset (lihat Bab 18). Kompas, teodolit kompas, dan teodolit dibicarakan dalam bab-bab menyusul.

Sebuah sudut dapat diukur *tak langsung* dengan metode pita yang dibicarakan dalam Paragraf 4-18.2 dan 4-18.3 dan harganya dihitung dari hubungan kuantitas yang diketahui dalam sebuah segitiga atau bentuk geometrik sederhana lainnya.

Tiga persyaratan dasar menentukan sebuah sudut. Seperti ditunjukkan dalam Gambar 8-1, persyaratan-persyaratan itu adalah (1) *garis awal atau acuan*, (2) *arah perputaran*, dan (3) *jarak sudut* (harga sudut). Metode-metode hitungan sudut arah dan azimut yang dibicarakan dalam bab ini didasarkan pada ketiga unsur itu.

**8-2. SATUAN-SATUAN PENGUKURAN SUDUT.** Sebuah satuan yang semata-mata dapat dipilih sendiri menentukan harga sebuah sudut. Sistem *sexagesimal* yang dipakai di Amerika Serikat dan banyak negara lain, sudah lama menjadi standar internasional.

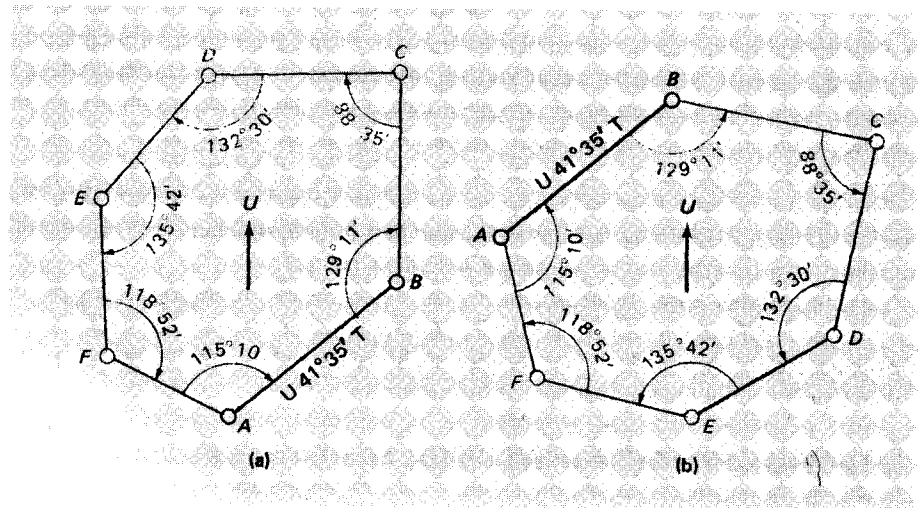


Gambar 8-1. Persyaratan dasar dalam penentuan sudut.

an terakhir lebih lanjut dibagi secara desimal. Di Eropa *grad*, adalah satuan baku (lihat Paragraf 2-3). Radial boleh jadi lebih cocok dalam hitungan-hitungan dan kenyataannya dipakai secara luas dalam komputer elektronik, tetapi sistem sexagesimal akan terus dipakai dalam kebanyakan pengukuran di Amerika Serikat dibanding dengan desimal derajat, radial atau grad.

**8-3. JENIS-JENIS SUDUT HORIZONTAL.** Jenis-jenis sudut horizontal yang paling biasa diukur dalam pengukuran tanah adalah (1) *sudut dalam*, (2) *sudut ke kanan*, dan (3) *sudut belokan*. Karena ketiganya amat berbeda, mana jenis yang dipakai harus ditunjukkan dengan jelas dalam catatan lapangan.

Sudut dalam, terlihat dalam Gambar 8-2, ada di sebelah dalam poligon tertutup. *Sudut luar*, terletak di luar poligon tertutup, adalah pelingkar (explement) sudut dalam.



Gambar 8-2. Poligon tertutup. (a) Sudut dalam searah jarum jam (sudut ke kanan). (b) Sudut-dalam berlawanan arah jarum jam (sudut ke kiri).

Keuntungan mengukur sudut luar adalah penggunaannya sebagai pengecekan, karena jumlah sudut dalam dan sudut luar pada sebuah stasiun harus sama dengan  $360^\circ$ .

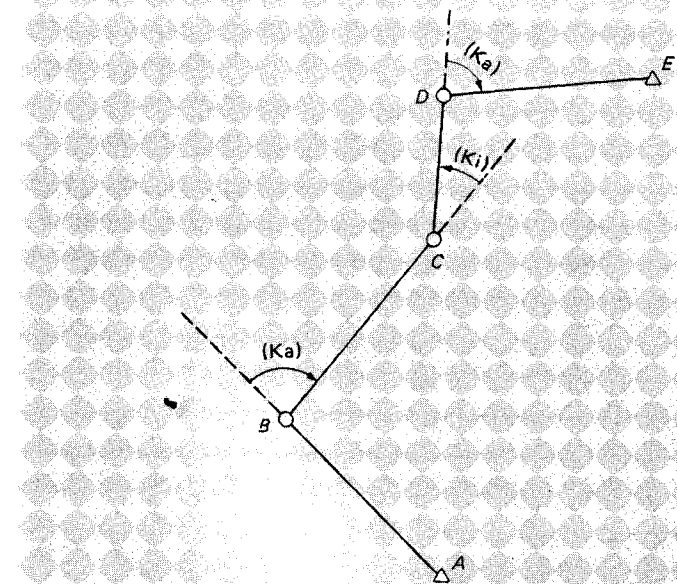
Seperti digambarkan dalam Gambar 8-2, sudut dalam dapat diputar searah (kanan) atau berlawanan arah jarum jam (kiri). Menurut definisi, *sudut ke kanan* diukur searah jarum jam dari stasiun *belakang* ke stasiun *depan*. Catatan: Selama pengukuran berjalan, biasanya stasiun-stasiun diberi nama urutan huruf abjad (seperti dalam Gambar 8-2) atau angka-angka naik. Jadi sudut-sudut dalam pada Gambar 8-2(a) juga sudut-sudut ke kanan. *Sudut-sudut ke kiri*, putaran berlawanan arah jarum jam dari stasiun belakang, digambarkan dalam Gambar 8-2(b). Perhatikan bahwa poligon-poligon pada Gambar 8-2 adalah "kanan" dan "kiri" – yaitu sama dalam bentuk tetapi berkebalikan seperti tangan kanan dan tangan kiri. Gambar 8-2(b) ditunjukkan hanya untuk menekankan sebuah kesalahan serius yang terjadi jika sudut-sudut searah dan berlawanan arah jarum jam dicampur-aduk. Karenanya harus dipakai prosedur yang seragam, misalnya bila mungkin *selalu mengukur sudut searah jarum jam*, dan arah putaran ditunjukkan dalam buku lapangan dengan sebuah sketsa.

Sudut belokan (Gambar 8-3) diukur ke kanan (searah jarum jam, minus) dari perpanjangan garis belakang ke stasiun depan. Sudut belokan selalu lebih kecil dari  $180^\circ$  dan arah putaran ditentukan dengan jalan menambahkan  $K_a$  atau  $K_i$  pada harga numerisnya. Jadi, sudut di  $B$  dalam Gambar 8-3 adalah kanan ( $K_a$ ) dan sudut di  $C$  adalah kiri ( $K_i$ ).

**8-4. ARAH SEBUAH GARIS.** Arah sebuah garis adalah sudut horizontal antara garis itu dan sebuah garis acuan yang dipilih tertentu disebut *meridian*. Meridian-meridian yang dipakai berbeda-beda. Meridian *astronomik* (kadang-kadang disebut "sebenarnya") adalah garis acuan utara-selatan melalui kutub-kutub geografik bumi.

Meridian *magnetik* ditentukan dengan jarum magnet bergerak bebas yang hanya terpengaruh oleh bidang magnetik bumi. Kutub magnetik adalah pusat konvergensi meridian magnetik.

Gambar 8-3. Sudut-sudut belokan.



Meridian *anggapan* (assumed meridian) dapat ditetapkan hanya dengan mengambil sembarang arah tertentu sebagai contoh, mengambil anggapan jalur jalan tertentu sebagai arah utara sebenarnya. Arah-arah semua garis yang lain kemudian didapatkan dalam hubungannya dengan arah ini. Kerugian memakai meridian anggapan adalah kesulitan atau barangkali tak mungkin menetapkannya kembali bila titik-titik aslinya hilang dan tidak sesuai dengan pengukuran-pengukuran dan peta-peta lainnya.

Pengukuran-pengukuran yang berdasarkan sistem koordinat negara bagian atau bidang datar lainnya, memakai meridian *kisi* (grid) untuk acuan. Pada kisi dipakai arah utara sebenarnya untuk meridian tengah yang dipilih dan dibuat sejajar terhadap untuk seluruh wilayah yang dicakup oleh sistem koordinat bidang datar (lihat Bab 21).

Jelaslah kiranya bahwa istilah-istilah utara *sebenarnya* atau utara *yang ada*, jika dipakai dalam sebuah pengukuran, harus diterangkan karena keduanya mungkin tidak menyatakan sebuah garis yang unik.

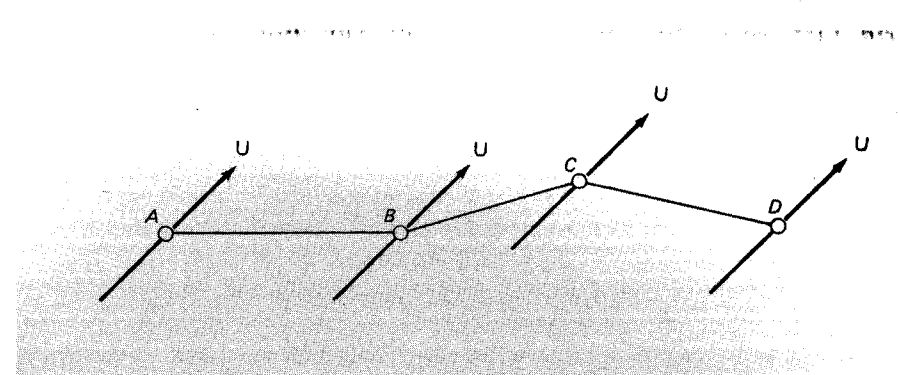
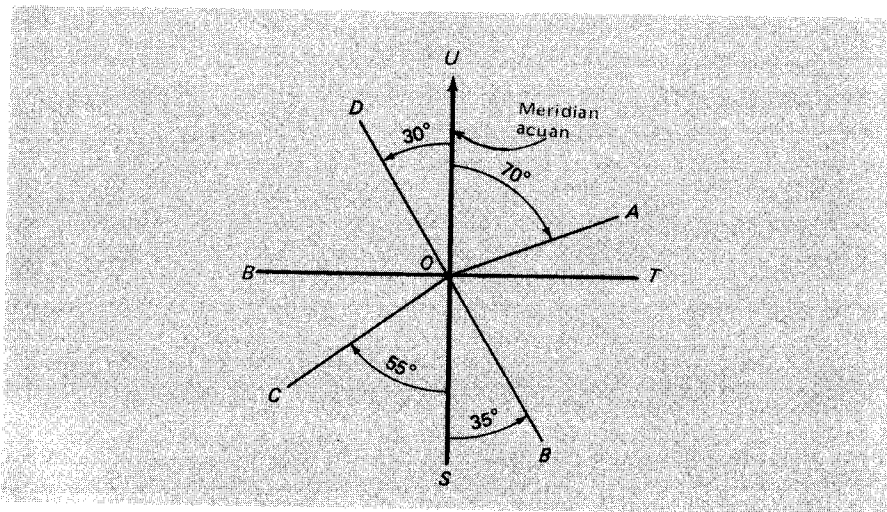
Meridian-meridian jenis lain dibicarakan dalam bab-bab menyusul termasuk meridian-meridian *pedoman*, *tengah*, *prima* dan *lokal*.

**8-5. SUDUT ARAH.** Sudut arah merupakan satu sistem penentuan arah garis dengan memakai sebuah sudut dan huruf-huruf kuadran. Sudut arah sebuah garis adalah sudut lancip horisontal antara sebuah meridian acuan dan sebuah garis. Sudutnya diukur dari utara maupun selatan ke arah timur atau barat untuk menghasilkan sudut kurang dari  $90^\circ$ . Kuadran yang terpakai ditunjukkan dengan huruf U atau S mendahului sudutnya dan T atau B mengikutinya. Contohnya adalah  $U80^\circ T$ .

Dalam Gambar 8-4, semua sudut arah dalam kuadran *UOT* diukur searah jarum jam dari meridian. Jadi sudut arah garis *OA* adalah  $U70^\circ T$ . Semua sudut arah dalam kuadran *SOT* adalah berlawanan arah jarum dari meridian, sehingga *OB* adalah  $S35^\circ T$ . Demikian pula, sudut arah *OC* adalah  $S55^\circ B$  dan untuk *OD*,  $U30^\circ B$ .

*Sudut-arah-sebenarnya* diukur dari meridian lokal astronomik atau meridian sebenarnya, sudut arah *magnetik* dari meridian magnetik lokal, sudut arah *anggapan* dari sembarang meridian yang dipakai, dan sudut arah *kisi* dari meridian kisi yang sesuai. Sudut arah magnetik dapat diperoleh di lapangan dengan mengamati sebuah jarum magnet dalam

Gambar 8-4. Sudut-sudut arah.



Gambar 8-5. Sudut-sudut arah ke muka dan belakang.

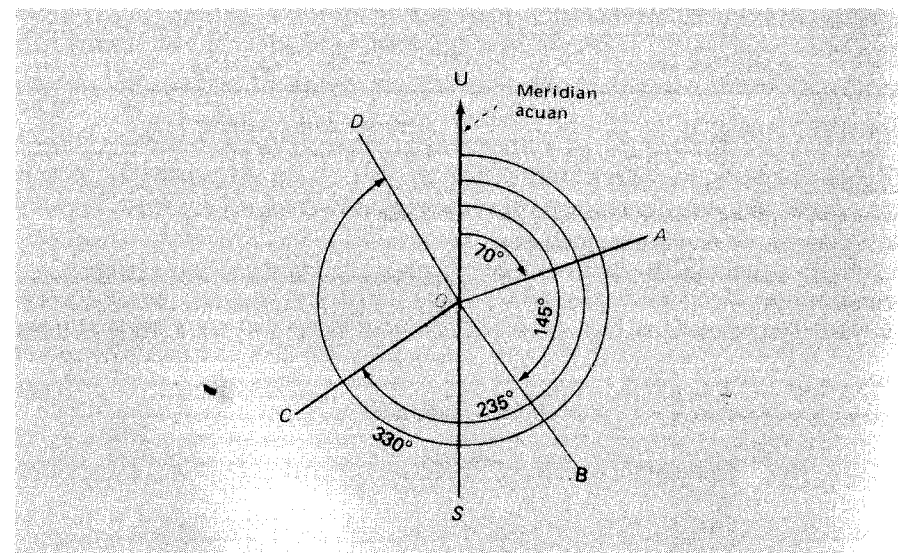
kompas, dan dipakai bersama dengan sudut-sudut terukur untuk menemukan *sudut arah terhitung*.

Dalam Gambar 8-5 anggapan sebuah kompas dipasang berturut-turut di titik-titik *A*, *B*, *C*, dan *D*, dan sudut arah dibaca pada garis-garis *AB*, *BA*, *BC*, *CB*, *CD*, dan *DC*. Sudut-sudut arah *AB*, *BC*, dan *CD* disebut *sudut arah belakang*. Sudut arah ke muka mempunyai nilai numeris yang sama dengan sudut arah belakang tetapi berlawanan huruf-hurufnya. Jika sudut arah *AB* adalah  $U44^\circ T$ , sudut arah *BA*  $S44^\circ B$ .

Dalam pengukuran persil, istilah *sudut arah catatan* (record bearing) menunjuk pada sudut arah yang dikutip dalam pengukuran sebelumnya, sudut-arah perjanjian (deed bearing) adalah yang dipakai dalam penjelasan akta pemilikan.

**8-6. AZIMUT.** Azimut adalah sudut yang diukur *searah jarum jam* dari sembarang meridian acuan. Dalam pengukuran tanah datar, azimut biasanya diukur dari utara, tetapi para ahli astronomi, militer dan National Geodetic Survey memakai selatan sebagai arah acuan.

Seperti ditunjukkan dalam Gambar 8-6, azimut berkisar dari  $0$  sampai  $360^\circ$  dan tak memerlukan huruf-huruf untuk menunjukkan kuadran. Jadi, azimut *OA* adalah  $70^\circ$ , azi-



Gambar 8-6. Azimut.

mut  $OB$ ,  $145^\circ$ , azimut  $OC$ ,  $235^\circ$ , dan azimut  $OD$ ,  $330^\circ$  Perlu untuk dinyatakan dalam catatan lapangan pada waktu permulaan pekerjaan, apakah azimut diukur dari utara atau selatan.

Azimut dapat merupakan *sebenarnya*, *magnetik*, *kisi*, atau *anggapan*, tergantung meridian yang dipakai. Azimut juga dapat bersifat ke depan atau azimut belakang. Azimut ke muka diubah menjadi azimut belakang, dan sebaliknya, dengan menambah atau mengurangi  $180^\circ$ . Sebagai contoh, jika azimut  $OA$  adalah  $70^\circ$ , azimut  $AO$  adalah  $70^\circ + 180^\circ = 250^\circ$ . Jika azimut  $OC$  adalah  $235^\circ$ , azimut  $CO$  adalah  $235^\circ - 180^\circ = 55^\circ$ .

Azimut dapat dibaca pada lingkaran berpembagian skala pada teodolit kompas atau teodolit repetisi setelah instrumen diatur dengan benar. Ini dapat dikerjakan membidik sepanjang sebuah garis yang diketahui azimutnya pada lingkaran dan kemudian memutar ke arah yang diinginkan. Azimut (*arah-arah*) dipakai dengan menguntungkan pada pengukuran titik kontrol topografik dan beberapa pengukuran lainnya maupun dalam hitungan-hitungan.

**8-7. PERBANDINGAN SUDUT ARAH DAN AZIMUT.** Karena sudut arah dan azimut dijumpai dalam demikian banyak pekerjaan pengukuran tanah, barangkali ada gunanya membuat sebuah perbandingan ringkas tentang sifat-sifatnya seperti dalam Tabel 8-1. Sudut arah dengan mudah dihitung dari azimut dengan memperhatikan kuadran di mana azimut berada, kemudian mengadakan konversi seperti ditunjukkan dalam tabel.

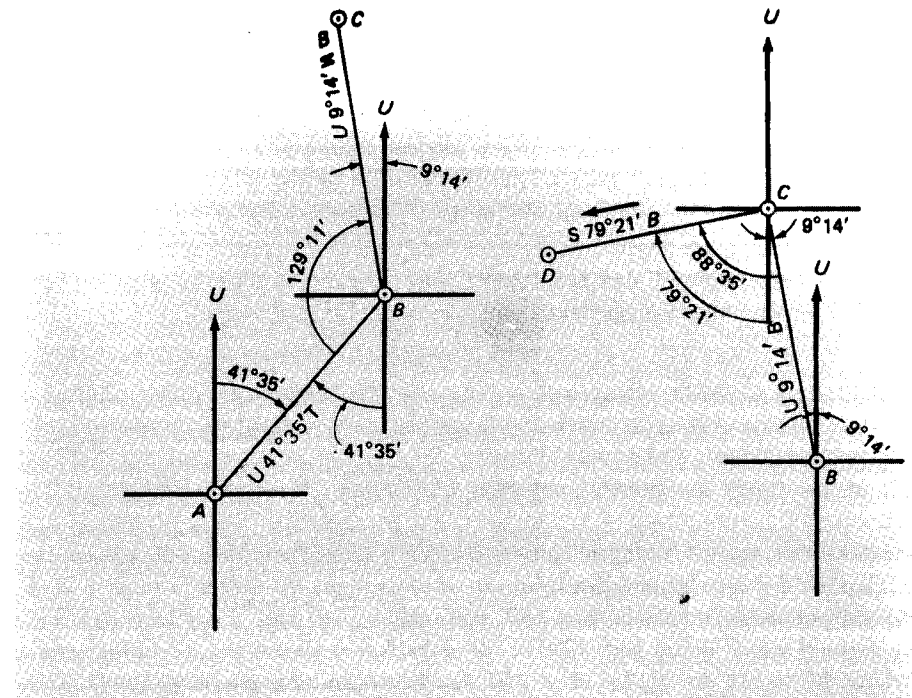
**8-8. MENGHITUNG SUDUT ARAH.** Banyak jenis pengukuran, terutama pengukuran untuk poligon, memerlukan hitungan sudut arah (atau azimut). Sebuah poligon adalah serangkaian jarak dan sudut, atau jarak dan sudut arah, atau jarak dan azimut menghubungkan titik-titik yang berturut-turut. Garis-garis batas sebidang tanah milik membentuk poligon jenis "poligon tertutup". Sebuah pengukuran jalan raya dari satu kota ke kota lainnya biasanya merupakan poligon "terbuka", tetapi bila mungkin harus ditutup dengan pengikatan pada titik-titik yang diketahui koordinatnya dekat titik-titik awal dan akhir. Poligon dibicarakan terperinci dalam Bab 12.

**TABEL 8-1. PERBANDINGAN SUDUT ARAH DAN AZIMUT**

SUDUT ARAH	AZIMUT
Berkisar dari 0 sampai $90^\circ$	Berkisar dari 0 sampai $360^\circ$
Memerlukan dua huruf dan sebuah harga numeris.	Hanya memerlukan sebuah harga numeris.
Dapat merupakan sebenarnya, magnetik kisi, anggapan, ke muka, atau belakang.	Sama
Diukur searah jarum jam dan berlawanan arah jaum jam.	Hanya diukur searah jarum jam.
Diukur dari utara dan selatan.	Diukur hanya dari utara dalam sebuah pengukuran, atau hanya dari selatan.

Contoh arah-arah untuk garis dalam empat kuadran (azimut dari utara):

Sudut arah:	Azimut
$U54^\circ T$	$54^\circ$
$S68^\circ T$	$112^\circ$ ( $180^\circ - 68^\circ$ )
$S51^\circ B$	$231^\circ$ ( $180^\circ + 51^\circ$ )
$U15^\circ B$	$345^\circ$ ( $360^\circ - 15^\circ$ )



**Gambar 8-7.** Hitungan sudut arah  $BC$  dari Gambar 8-2(a).

**Gambar 8-8.** Hitungan sudut arah  $CD$  dari Gambar 8-2(b).

Hitungan sudut arah sebuah garis disederhanakan dengan gambar sketsa seperti Gambar 8-7 dan 8-8, menunjukkan semua data. Dalam Gambar 8-7, anggaphlah sudut arah garis  $AB$  dalam Gambar 8-2(a) adalah  $U41^\circ35'T$ , dan sudut di  $B$  berputar searah jarum jam (ke kanan) dari garis  $BA$  yang diketahui, adalah  $129^\circ11'$ . Kemudian sudut arah garis  $BC$  adalah  $180^\circ - (41^\circ35' + 129^\circ11') = 9^\circ14'$ , dan dari sketsa, sudut arah  $BC$  adalah  $U9^\circ14'B$ .

Dalam Gambar 8-8, sudut searah jarum jam di  $C$  dari  $B$  ke  $D$  diukur sebesar  $88^\circ35'$ . Sudut arah  $CD$  adalah  $88^\circ35' - 9^\circ14' = S79^\circ21'B$ . Melanjutkan teknik ini, sudut-sudut arah dalam Tabel 8-2 telah ditentukan untuk semua garis dalam Gambar 8-2(a).

**TABEL 8-2. SUDUT-SUDUT ARAH GARIS-GARIS DALAM GAMBAR 8-2(a).**

ARAH	GAMBAR 8-2(a)
$AB$	$U41^\circ35'T$
$BC$	$U9^\circ14'B$
$CD$	$S79^\circ21'B$
$DE$	$S31^\circ51'B$
$EF$	$S12^\circ27'T$
$FA$	$S73^\circ35'T$
$AB$	$U41^\circ35'T$ ✓



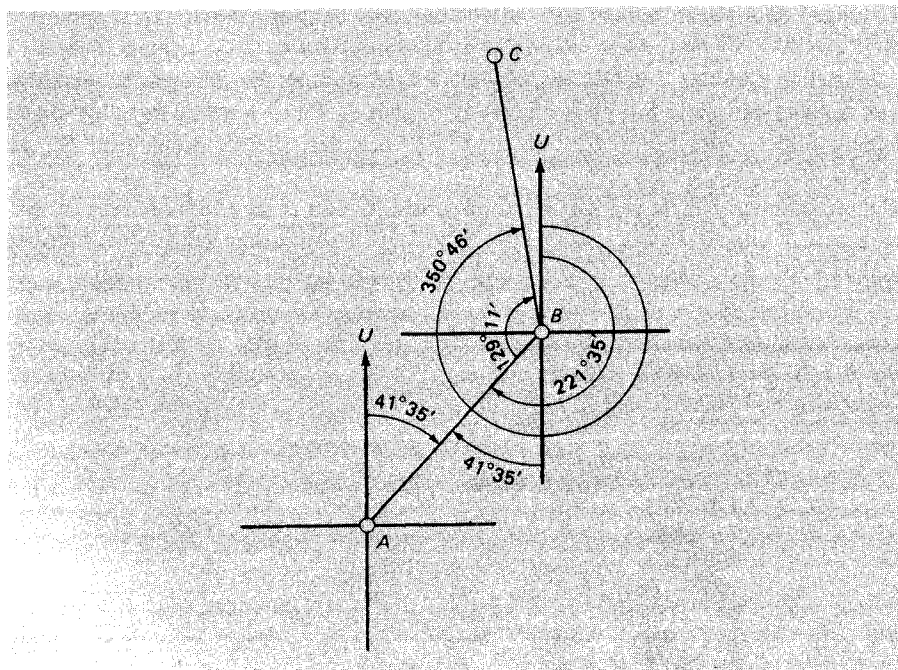
Sudut arah suatu arah awal harus dihitung kembali sebagai sebuah pengecekan memakai sudut terakhir. Adanya ketidaksesuaian menunjukkan bahwa (1) telah terjadi galat aritmetik atau (2) sudut-sudutnya tidak diratakan dengan benar sebelum menghitung sudut arah. Dalam Tabel 8-2, perhatikan bahwa sudut arah  $AB$  dalam Gambar 8-2(a), diperoleh dengan memakai sudut terukur  $115^{\circ}10'$  di  $A$ , menghasilkan sudut arah  $U41^{\circ}35'T$ , yang cocok dengan sudut arah awal.

Sudut-sudut poligon harus diratakan sesuai dengan penjumlahan geometrik yang benar sebelum sudut arah dihitung. Dalam poligon tertutup, jumlah sudut dalam sama dengan  $(n - 2)180^{\circ}$ , di mana  $n$  adalah banyaknya sisi (arah). Jika sudut-sudut poligon tidak menutup karena misalnya ada perbedaan 2 menit dan tidak diratakan sebelum menghitung sudut arah, maka sudut arah asli dan pengecekan yang dihitung untuk sudut arah  $AB$  juga akan berselisih 2 menit, dengan anggapan tiak ada kesalahan hitung lainnya.

**8-9. MENGHITUNG AZIMUT.** Banyak juru-ukur lebih menyukai azimut daripada sudut arah untuk menyatakan arah garis karena lebih mudah mengerjakannya, terutama kalau menghitung poligon dengan komputer elektronik. Sin dan cos sudut azimut memberikan tanda-tanda aljabar untuk komponen-komponen ordinat dan absis seperti dibicarakan dalam Bab 13.

Hitungan azimut, seperti hitungan untuk sudut arah, paling baik dibuat dengan bantuan sketsa. Gambar 8-9 menggambarkan hitungan untuk azimut  $BC$  dalam Gambar 8-2(a). Azimut  $BA$  didapat dengan menambahkan  $180^{\circ}$  pada azimut  $AB$ :  $180^{\circ} + 41^{\circ}35' = 221^{\circ}35'$ . Kemudian sudut  $B$  searah jarum jam,  $129^{\circ}11'$  ditambahkan pada azimut  $BA$  untuk memperoleh azimut  $BC = 221^{\circ}35' + 129^{\circ}11' = 350^{\circ}46'$ . Hitungan-hitungan dengan mudah ditangani dalam bentuk tabel.

Gambar 8-9. Hitungan azimut  $BC$  dari Gambar 8-2(a).



**TABEL 8-3. HITUNGAN AZIMUT (AZIMUT DARI UTARA) SUDUT-SUDUT KE KANAN [GAMBAR 8-2(a)]**

$41^{\circ}35' = AB$	$31^{\circ}51' = ED$
$+ 180^{\circ}00'$	$+ 135^{\circ}42'$
$\hline 221^{\circ}35' = BA$	$\hline 167^{\circ}33' = EF$
$+ 129^{\circ}11'$	$+ 180^{\circ}00'$
$\hline 350^{\circ}46' = BC$	$\hline 347^{\circ}33' = FE$
$- 180^{\circ}00'$	$+ 118^{\circ}52'$
$\hline 170^{\circ}46' = CB$	$\hline 466^{\circ}25'$
$+ 88^{\circ}35'$	$- *360^{\circ}00'$
$\hline 259^{\circ}21' = CD$	$\hline 106^{\circ}25' = FA$
$- 180^{\circ}00'$	$+ 180^{\circ}00'$
$\hline 79^{\circ}21' = DC$	$\hline 286^{\circ}25' = AF$
$+ 132^{\circ}30'$	$+ 115^{\circ}10'$
$\hline 211^{\circ}51' = DE$	$\hline 401^{\circ}35'$
$- 180^{\circ}00'$	$- *360^{\circ}00'$
$\hline 31^{\circ}51' = ED$	$\hline 41^{\circ}35' = AB$

\* Bila azimut yang dihitung melebihi  $360^{\circ}$ , azimut yang benar diperoleh dengan jalan mengurangi saja dengan  $360^{\circ}$ .

Tabel 8-3 berisi hitungan untuk semua azimut dari Gambar 8-2(a). Perhatikan lagi bahwa sebuah pengecekan diperoleh dengan jalan menghitung kembali azimut arah awal memakai sudut terakhir.

**8-10. KESALAHAN BESAR.** Beberapa kesalahan yang dibuat dalam memakai sudut arah dan azimut adalah:

1. Mencampur adukkan sudut-sudut arah magnetik dan sebenarnya.
2. Mencampur adukkan sudut-sudut searah dan berlawanan arah jarum jam.
3. Mengacaukan sudut arah dengan azimut.
4. Kelalaian merubah huruf-huruf sudut arah waktu memakai sudut arah belakang sebuah garis.
5. Memakai sebuah sudut pada ujung garis yang salah dalam menghitung sudut arah – yaitu, memakai sudut  $A$  dan mestinya  $B$  sewaktu memulai dengan garis  $AB$  sebagai acuan.
6. Tidak memperhitungkan sudut terakhir untuk menghitung kembali sudut arah atau azimut awal sebagai pengecekan – sebagai contoh, sudut  $A$  dalam poligon  $ABCD$ .
7. Mengurangkan  $360^{\circ}00''$  seolah-olah dianggap  $359^{\circ}100'$  di mana mestinya  $359^{\circ}60'$  atau memakai  $90^{\circ}$  yang mestinya  $180^{\circ}$  dalam hitungan sudut arah.
8. Mengambil garis acuan anggapan yang sulit untuk dinyatakan kembali.
9. Kelalaian meratakan sudut-sudut poligon sebelum menghitung sudut-sudut arah atau azimut bila ada kesalahan penutup.
10. Mengorientasikan instrumen yang kedua kalinya dengan bidikan ulang pada utara magnetik.
11. Membaca derajat dan desimal dari kalkulator seolah-olah harga itu derajat, menit dan sekon.

## SOAL-SOAL

Buatlah konversi-konversi tercatat pada Soal-soal 8-1 dan 8-2.

- 8-1. Konversikan  $82^{\circ}15'$  menjadi radial;  $92,65$  grad menjadi derajat, menit dan sekon; dan  $4200$  mils menjadi derajat, menit dan sekon.
- 8-2. Konversikan  $198^{\circ}30'20''$  menjadi radial;  $52^{\circ}29'42''$  menjadi grads; dan  $216,76$  grads menjadi derajat, menit dan sekon.

Dalam Soal 8-3 dan 8-4, konversikan azimut-azimut utara menjadi sudut-sudut arah.

- 8-3.  $54^{\circ}16'$ ,  $154^{\circ}18'$ ,  $261^{\circ}10'$ ,  $312^{\circ}38'$
- 8-4.  $71^{\circ}42'$ ,  $134^{\circ}27'$ ,  $195^{\circ}00'$ ,  $285^{\circ}26'$ .
- 8-5. Mengapa sudut-sudut dalam beberapa poligon lama diukur ke kiri?
- 8-6. Sudut belokan lebih tergantung pada penyetulan yang baik dari instrumen daripada sudut langsung, jadi mengapa dipakai dalam pengukuran lintas jalur?
- 8-7. Mengapa azimut diukur dari selatan dan bukan utara oleh para ahli astronomi dan National Geodetic Survey?
- 8-8. Bagaimana sudut arah belakang dan azimut belakang dipakai?

Konversikan sudut arah dalam Soal 8-9 dan 8-10 menjadi azimut dari utara dan hitunglah sudut lebih kecil daripada  $180^{\circ}$  antara sudut-sudut arah berturut-turut.

- 8-9.  $U15^{\circ}12'T$ ,  $S37^{\circ}52'T$ ,  $S49^{\circ}37'B$ ,  $U81^{\circ}26'B$ .
- 8-10.  $U35^{\circ}08'T$ ,  $S73^{\circ}51'T$ ,  $S90^{\circ}00'B$ ,  $U15^{\circ}23'B$ .

Hitung azimut dari selatan garis  $CD$  dalam Soal 8-11 sampai dengan 8-13. (Azimut garis  $AB$  juga dari selatan).

- 8-11. Azimut  $AB = 150^{\circ}39'$ ; sudut-sudut searah jarum jam  $ABC = 174^{\circ}28'$ ,  $BCD = 62^{\circ}47'$ .
- 8-12. Sudut arah  $AB = S14^{\circ}22'B$ ; sudut-sudut searah jarum jam  $ABC = 83^{\circ}17'$ ,  $BCD = 95^{\circ}05'$ .
- 8-13. Azimut  $AB = 191^{\circ}04'$ ; sudut-sudut searah jarum jam  $ABC = 125^{\circ}10'$ ,  $BCD = 207^{\circ}16'$ .
- 8-14. Hitunglah sudut-sudut dalam Persil 16 dalam Gambar 22-2.
- 8-15. Hitunglah sudut-sudut dalam Persil 50 dalam Gambar 22-2.
- 8-16. Untuk sebuah sudut arah  $DE = S47^{\circ}13'T$  dan sudut-sudut ke kanan hitunglah sudut arah  $FG$  jika sudut  $DEF = 147^{\circ}19'$  dan  $EFG = 201^{\circ}52'$ .

Arah  $AB$  sebuah lapangan segi-lima menuju utara. Stasiun  $C$  ada di sebelah barat  $B$ . Hitung dan tabelkan sudut-sudut arah dan azimut-azimut dari utara untuk tiap sisi sudut-dalam searah jarum jam pada poligon Soal 8-17 dan 8-18.

- 8-17.  $A = 75^{\circ}$ ,  $B = 135^{\circ}$ ,  $C = 60^{\circ}$ ,  $D = 70^{\circ}$ ,  $E = 200^{\circ}$ .
- 8-18.  $A = 73^{\circ}18'$ ,  $B = 125^{\circ}08'$ ,  $C = 119^{\circ}06'$ ,  $D = 91^{\circ}13'$ ,  $E = 131^{\circ}15'$ .

Dalam Soal 8-19 dan 8-20, hitunglah dan tabelkan sudut-sudut arah sebuah segi-enam beraturan, diberikan sudut arah awal sisi  $AB$ .

- 8-19. Sudut arah  $AB = S50^{\circ}10'$ . (Stasiun  $C$  ke arah timur dari  $B$ ).
- 8-20. Sudut arah  $AB = U12^{\circ}24'T$ . (Stasiun  $C$  ke arah barat dari  $B$ ).
- 8-21. Serupa Soal 8-19 kecuali untuk segi-lima beraturan.
- 8-22. Serupa Soal 8-20 kecuali untuk segi-delapan beraturan.
- 8-23. Hitunglah sudut-sudut arah untuk sudut-belokan poligon terbuka (pengukuran jalur lintas) berikut ini. Sudut arah  $0 + 00$  ke  $7 + 53,2 = S43^{\circ}12'T$ ; kemudian  $6^{\circ}15'$  Ka ke  $11 + 77,8$ ;  $9^{\circ}01'$  Ki ke  $14 + 29,3$ ;  $4^{\circ}53'$  Ka ke  $20 + 06,6$ ; dan  $2^{\circ}34'$  Ki ke  $25 + 48,0$ . Buatlah sketsa poligon itu.
- 8-24. Serupa Soal 8-23, kecuali sudut arah pertama adalah  $U39^{\circ}23'B$ .

Hitunglah semua sudut arah untuk sebuah poligon tertutup  $ABCDEFGHIJA$  yang mempunyai sudut-sudut dalam searah jarum jam, memakai sudut-sudut arah tetap yang ter-

cantum dalam Soal 8-25 dan 8-26.  $A = 183^{\circ}18'$ ,  $B = 19^{\circ}53'$ ,  $C = 177^{\circ}36'$ ,  $D = 94^{\circ}25'$ ,  $E = 152^{\circ}29'$ ,  $F = 140^{\circ}35'$ ,  $G = 162^{\circ}19'$ ,  $H = 126^{\circ}01'$ ,  $I = 98^{\circ}16'$ ,  $J = 185^{\circ}08'$ . Serupa Soal 8-25 dan 8-26, kecuali hitunglah azimut-azimut dari utara untuk azimut-azimut tetap tercatat dalam Soal 8-27 dan 8-28.

- 8-25. Sudut arah  $AB = S52^{\circ}47'T$ .
- 8-26. Sudut arah  $DE = S52^{\circ}47'T$ .
- 8-27. Azimut  $AB = 210^{\circ}48'$ .
- 8-28. Azimut  $CD = 346^{\circ}42'$ .
- 8-29. Azimut sebenarnya (geodetik) sebuah garis panjang  $XY$  adalah  $72^{\circ}16'35''$ . Azimut sebenarnya  $YX$  adalah  $252^{\circ}16'37''$ . Jelaskan.
- 8-30. Seimbangkan sudut-sudut belokan poligon tertutup berikut ini dan hitunglah sudut-sudut arahnya. Sudut arah  $AB$  adalah  $U48^{\circ}10'B$ . Sudut-sudutnya adalah  $B = 95^{\circ}23'Ki$ ,  $C = 84^{\circ}37'Ki$ ,  $D = 62^{\circ}10'Ki$ ,  $E = 33^{\circ}22'Ki$ ,  $F = 43^{\circ}27'Ka$ , dan  $A = 127^{\circ}50'Ki$ .
- 8-31. Bagaimana Anda dengan cepat dapat membuktikan rumus  $(n - 2)180^{\circ}$  untuk jumlah sudut-sudut dalam sebuah poligon sehingga tak perlu dihafalkan?
- 8-32. Terangkan tiga cara untuk menentukan azimut sebuah garis.
- 8-33. Sudut  $APB$  diukur pada waktu yang berbeda memakai berbagai instrumen dan prosedur. Hasilnya, yang diberi bobot tertentu, adalah sebagai berikut:  $33^{\circ}09'27''$ , bobot 4;  $33^{\circ}09'24''$ , bobot 3;  $33^{\circ}09'25''$ , bobot 1. Berapa harga sudut paling mentak?
- 8-34. Serupa Soal 8-33, tetapi dengan sebuah pengukuran tambahan  $33^{\circ}09'28''$ , bobot 2.
- 8-35. Apakah kerugian mengukur poligon dengan teodolit kompas memakai azimut dibandingkan dengan sudut-sudut langsung?

# 9

## KOMPAS

**9-1. PENGANTAR.** Kompas telah dipakai oleh para navigator dan lain-lain selama berabad-abad untuk menentukan arah. Sebelum ditemukan teodolit kompas dan sextan, kompas merupakan satu-satunya jalan yang praktis bagi juru-ukur untuk mengukur arah dan surut horisontal.

Kompas juru-ukur, seperti rantai Gunter, sekarang sudah hampir merupakan isi museum saja. Meskipun demikian, memahami kompas dan bekerjanya, perlu untuk mengecek dan mencari kembali garis-garis tanah yang asli di mana alat ini pernah dipakai. Kompas juga masih dipakai untuk pengukuran kasar untuk rekayasa dan tetap merupakan alat yang berharga bagi ahli-ahli geologi, kehutanan dan lain-lain.

Teodolit kompas insinyur (lihat Bab 10) dilengkapi dengan sebuah kompas. Kenyataannya, rancangan dini teodolit kompas Amerika didasarkan adanya sebuah jarum kompas yang panjang di tengah-tengah instrumen dan sebuah teropong bayangan-tegak. Ukuran teodolit kompas dan teodolit yang lebih kecil dewasa ini karena teropong pumpunan dalam yang lebih pendek dan tanpa kompas (yang tersedia untuk dipasang sebagai tambahan).

**9-2. TEORI KOMPAS.** Sebuah kompas terdiri atas sebuah jarum baja bermagnet dipasang pada sebuah sumbu-putar di titik pusat lingkaran berpembagian skala. Kalau tidak terganggu oleh gaya tarik lokal (lihat Paragraf 9-5), jarum menunjuk ke arah utara magnetik (di

pada lintang  $76,8^{\circ}\text{U}$ , bujur  $101,5^{\circ}\text{B}$ , dan lintang  $65,4^{\circ}\text{S}$ , bujur  $139,4^{\circ}\text{T}$ , dalam tahun 1980 (data USGS). Kedua kutub itu bergerak harian, barangkali sebesar 30 mil.<sup>1</sup>

Gaya magnet bumi mengatur arah jarum dan menarik atau menundukkan satu ujungnya di bawah kedudukan horisontal. *Sudut-junam* (angle of dip) berkisar dari  $0^{\circ}$  dekat ekuator sampai  $90^{\circ}$  di kutub-kutub magnetik. Di belahan bumi utara, ujung selatan jarum diberati dengan kumparan kawat yang amat kecil untuk mengimbangi pengaruh junam, dan membuatnya agar selalu horisontal. Kedudukan kumparan kawat dapat diatur untuk menyesuaikan terhadap lintang di mana kompas dipakai. Pemberat pada kompas teodolit dipasang untuk lintang rata-rata  $40^{\circ}\text{U}$  dan biasanya tak perlu diubah untuk lokasi di mana saja di Amerika Serikat.

Ketika kotak kompas diputar, jarum tetap menunjuk ke arah utara magnetik dan memberikan pembacaan yang tergantung pada kedudukan lingkaran berpembagian skala.

**9-3. DEKLINASI MAGNETIK.** *Deklinasi* adalah sudut horisontal dari sebuah meridian geografik sebenarnya sampai ke sebuah meridian magnetik. Navigator menamakan sudut ini *variasi* kompas; angkatan bersenjata memakai istilah *deviasi*.

Deklinasi timur terjadi bila meridian magnetik di sebelah timur arah utara sebenarnya; deklinasi barat bila meridian magnetik ada di sebelah barat arah utara sebenarnya. Deklinasi pada suatu lokasi dapat diperoleh (jika tak ada gaya tarik lokal) dengan menetapkan meridian sebenarnya dari pengamatan astronomis dan kemudian membaca kompas sambil membidik sepanjang meridian sebenarnya tadi.

Sebuah garis pada peta atau peta perairan yang menghubungkan titik-titik yang mempunyai deklinasi sama disebut *garis isogonik*. Garis melalui titik-titik yang deklinasinya nol dinamakan *garis agonik*. Pada garis ini jarum magnet menyatakan utara sebenarnya maupun utara magnetik.

Gambar 9-1 adalah peta isogonik meliputi Amerika Serikat untuk tahun 1980. Garis agonik (tebal, penuh) memotong diagonal melintas negara melalui Wisconsin, Illinois, Indiana, Kentucky, Tennessee, Alabama dan Florida, tetapi berangsur-angsur bergerak ke arah barat. Titik-titik di sebelah barat garis agonik mempunyai deklinasi timur, titik-titik sebelah timur mempunyai deklinasi barat. Untuk membantu mengingat, jarum dapat dipikirkan sebagai menunjuk ke arah garis agonik. Perhatikan adanya selisih deklinasi sebesar  $42^{\circ}$  antara negara bagian Maine dan Washington. Ini adalah perubahan yang amat besar bila seorang penerbang terbang dengan kompas antara kedua negara bagian!

*Perubahan tahunan* dalam deklinasi ditunjukkan dengan garis putus-putus pada peta-peta isogonik yang lebih besar dan mendetail, dan pada Gambar 9-1, membantu dalam penaksiran deklinasi beberapa tahun sebelum dan sesudah tanggal pembuatan peta.

*Perubahan abadi* (lihat Paragraf 9-4) untuk jangka waktu yang lebih panjang harus dihitung dari tabel-tabel yang ada mundur sampai waktu sedini mungkin diperlukan dalam tanggal adalah melaksanakan pengamatan astronomis atau memakai garis-garis kontrol yang ada. Bila ini tidak mungkin, sebuah deklinasi pendekatan dapat diperoleh dari National Geodetic Survey atau peta isogonik.

**9-4. KERAGAMAN DALAM DEKLINASI MAGNETIK.** Deklinasi magnetik pada suatu

titik beragam menurut waktu. Perubahan dapat dikategorikan sebagai abadi, harian, tahunan dan tak beraturan.

**Perubahan Abadi.** Karena besarnya, ini adalah yang terpenting di antara perubahan-peubahan itu. Sayangnya belum ada kaidah umum atau rumus matematis yang diketemukan untuk meramal perubahan abadi, dan perilakunya di masa lampau hanya dapat digambarkan dengan jalan membuat tabel-tabel terperinci dan peta-peta ikhtisar dari pengamatan-pengamatan. Catatan-catatan yang telah disimpan di London selama empat abad menunjukkan sebuah jangkau (range) dalam deklinasi magnetik dari  $11^{\circ}\text{T}$  dalam tahun 1580, sampai  $24^{\circ}\text{B}$  di tahun 1820, kembali ke  $8^{\circ}\text{B}$  dalam tahun 1960,  $6^{\circ}58'\text{B}$  dalam tahun 1975 dan  $6^{\circ}10'\text{B}$  di tahun 1980. Perubahan abadi merubah deklinasi magnetik di Baltimore, Maryland, dari  $5^{\circ}11'\text{B}$  di tahun 1960 menjadi  $5^{\circ}41'\text{B}$  dalam tahun 1700,  $0^{\circ}35'\text{B}$  di tahun 1800,  $5^{\circ}19'\text{B}$  di tahun 1900,  $7^{\circ}25'\text{B}$  dalam tahun 1950,  $7^{\circ}43'\text{B}$  di tahun 1960,  $8^{\circ}43'\text{B}$  dalam tahun 1975 dan  $9^{\circ}30'\text{B}$  di tahun 1980 (dengan perubahan tahunan sebesar  $6,8'\text{B}$ ).

Dalam melacak kembali garis-garis batas pemilikan lama yang diukur dengan kompas atau berdasarkan meridian magnetik, perlu memperhitungkan perbedaan deklinasi magnetik di waktu pengukuran semula dan sekarang. Perbedaan pada umumnya sebagian besar karena perubahan abadi.

**Perubahan Harian.** Perubahan harian deklinasi jarum magnetik menyebabkannya berputar melalui busur yang rata-rata sekitar 8 menit untuk Amerika Serikat. Jarum mencapai kedudukan paling timur pada kira-kira jam 8 pagi dan kedudukannya paling barat pada kira-kira jam 1:30 siang. Deklinasi pukul rata terjadi sekitar jam 10:30 pagi dan jam 8 malam. Jam-jam ini dan jangkau putaran harian berubah dengan lintang dan musim sepanjang tahun, tetapi mengabaikan perubahan harian biasanya masih cukup di bawah batas galat yang diperkirakan dalam pembacaan kompas.

**Perubahan Tahunan.** Putaran berkala ini besarnya di bawah busur 1 menit dan dapat diabaikan. Perubahan tahunan tidak boleh dikacaukan dengan perubahan tiap tahun (jumlah variasi perubahan abadi dalam setahun) yang terlihat pada beberapa peta isogonik.

**Perubahan Tak Beraturan.** Gangguan dan badai magnetik yang tak dapat diramalkan dapat menyebabkan variasi tak beraturan dalam jangka pendek sebesar satu derajat atau lebih.

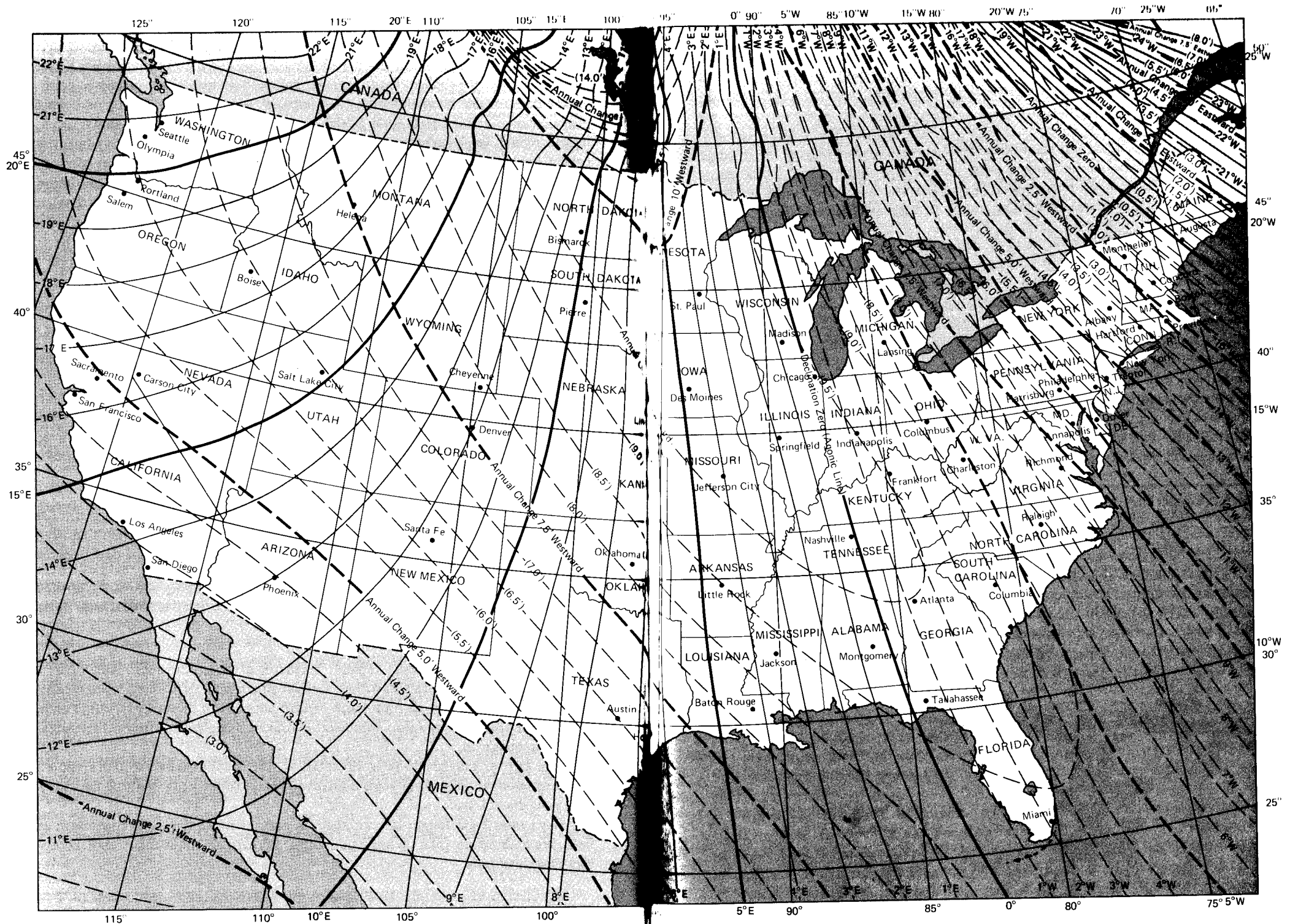
**9-5. GAYA TARIK LOKAL.** Medan magnetik dipengaruhi oleh obyek-obyek bersifat logam dan listrik arus-searah, keduanya menyebabkan gaya tarik lokal. Sebagai contoh, bila dipasang di samping sebuah tram kuno dengan jalur listrik di atasnya, jarum kompas akan berputar ke arah tram sewaktu mendekat dan akan mengikutinya sampai jaraknya di luar jangkauan pengaruh.

Jika sumber gangguan buatan itu tetap, semua sudut arah dari sebuah stasiun tertentu akan mempunyai galat yang sama besarnya. Tetapi sudut yang dihitung dari sudut-sudut arah yang diambil pada stasiun itu benar.

Gaya tarik lokal terjadi bila sudut-sudut arah ke muka dan belakang sebuah garis berbeda lebih daripada galat pengamatan biasa. Perhatikan sudut-sudut arah kompas pada satu rangkaian garis:

AB .....	$U24^{\circ}15'\text{B}$	CD .....	$U60^{\circ}00'\text{T}$
BA .....	$S24^{\circ}10'\text{T}$	DC .....	$S61^{\circ}15'\text{B}$
BC .....	$U76^{\circ}40'\text{B}$	DE .....	$U88^{\circ}35'\text{T}$
CB .....	$S76^{\circ}40'\text{T}$	ED .....	$S87^{\circ}25'\text{B}$

<sup>1</sup>Penelitian magnetisme dalam beberapa batuan mengandung zarah-zarah besi menunjukkan potongan-potongan logam kecil itu memadat dan mengatur diri mengarah ke kutub-kutub magnetik seperti jarum kompas. Kutub pencari-utara pecahan-pecahan logam menunjuk ke lokasi kutub utara magnetik. Para peneliti telah menemukan bahwa dalam ribuan tahun yang lampau, kutub utara dan selatan magnetik telah bertukar tempat beberapa kali (Nature and Science, 2 Maret 1970, hal. 4).



Gambar 9-1. Agihan deklinasi magnetik di Amerika Serikat untuk tahun 1980. (Atas kebaikan U.S.

Geological Survey).



Sudut arah ke muka  $AB$  dan sudut arah belakang  $BA$  cukup dapat dianggap cocok, menunjukkan bahwa tak ada atau amat kecil adanya gaya tarik lokal di  $A$  atau  $B$ . Keadaan yang sama juga berlaku untuk titik  $C$ . Tetapi sudut-sudut arah di  $D$  berbeda dari sudut arah yang bersangkutan di  $C$  dan  $E$  sebesar kurang lebih  $1^{\circ}15'$  ke arah barat dari utara.

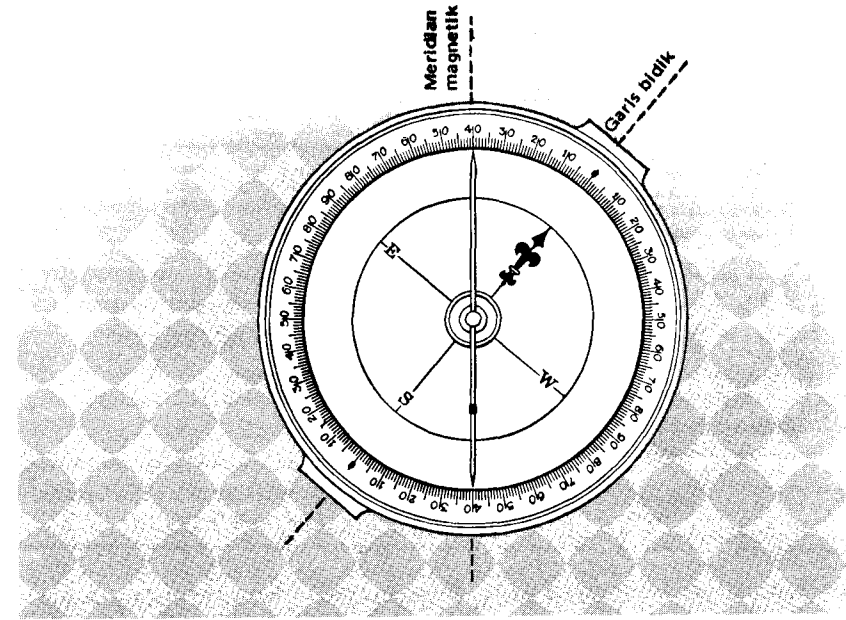
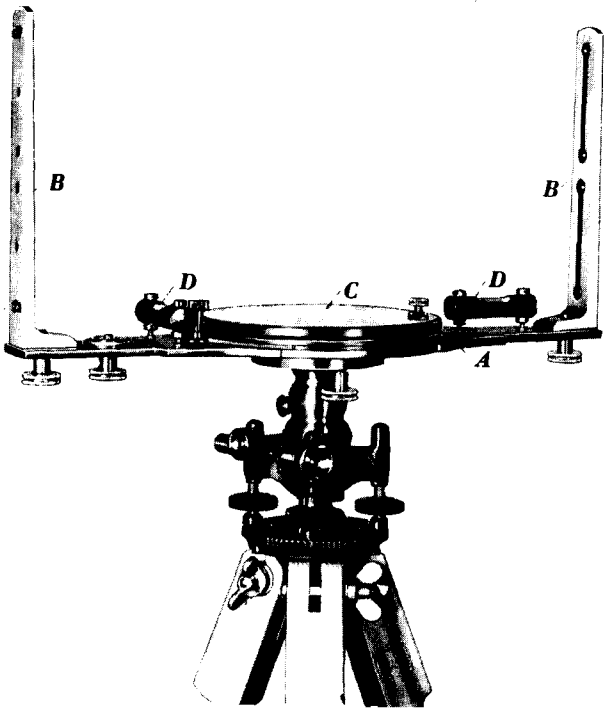
Jelaslah kiranya bahwa untuk mengetahui adanya gaya tarik lokal, stasiun-stasiun yang berturutan pada poligon kompas harus diduduki dan dibaca sudut-sudut arah ke muka dan belakang, walaupun arah-arah semua garis dapat ditentukan hanya dengan pemasangan instrumen pada stasiun secara berselang-seling.

**9-6. KOMPAS JURU UKUR.** Kompas juru ukur terlihat pada Gambar 9-2 dan 9-3. George Washington dan ribuan juru-ukur berikutnya menggunakan instrumen jenis ini untuk mengukur garis-garis tanah yang masih menentukan penguasaan hak milik dan karenanya harus ditetapkan kembali. Dengan demikian penting untuk memahami konstruksi dan sifat-sifatnya.

Lingkar kompas diberi pembagian skala dalam derajat atau setengah derajat tetapi dapat dibaca barangkali sampai 5 atau 10 menit dengan perkiraan. Instrumen terdiri dari sebuah bidang dasar logam  $A$  (lihat Gambar 9-2) dengan dua batang bidikan vertikal  $B$  pada ujung-ujungnya. Batang bidikan adalah bilah-bilah logam dengan celah-celah vertikal untuk membentuk garis bidik. Kotak kompas ada di  $C$ , dan dua tabung nivo kecil  $D$  dipasang di atas bidang dasar tegak lurus kotak dan satu sama lain. Bila gelembung-gelembung dalam tabung nivo diseimbangkan, bidang dasar dan kompas adalah horisontal dan siap pakai.

Kotak kompas (lihat Gambar 9-3) mempunyai sebuah jarum bentuk kerucut di pusatnya untuk menopang jarum magnet dan tutup kaca untuk melindunginya. Sebuah pembagian skala melingkar di tepi luar kotak membagi dalam derajat dan setengah-derajat. Tanda nol ada di titik-titik utara dan selatan sejajar dengan celah-celah bilah bidikan. Pembagian skala diberi angka dalam kelipatan  $10^{\circ}$ , searah dan berlawanan arah jarum jam dari  $0^{\circ}$  di

Gambar 9-2. Kompas juru ukur. (Atas kebaikan W & L.E. Gurley).



Gambar 9-3. Kotak kompas.

utara dan selatan, sampai  $90^{\circ}$  di timur dan di barat. Sewaktu bilah-bilah bidikan dan kotak kompas diputar, jarum menetapkan sudut arah garis yang diamati, yang dapat dibaca dengan perkiraan sampai 10 atau 15 menit terdekat.

Perhatikan bahwa huruf-huruf E (Timur) dan W (Barat) di kotak kompas dibuat terbalik terhadap kedudukan normal untuk menghasilkan *pembacaan langsung* sudut arah. Jadi, dalam Gambar 9-3, sudut arah garis bidik melalui bilah-bilah adalah  $U40^{\circ}T$ .

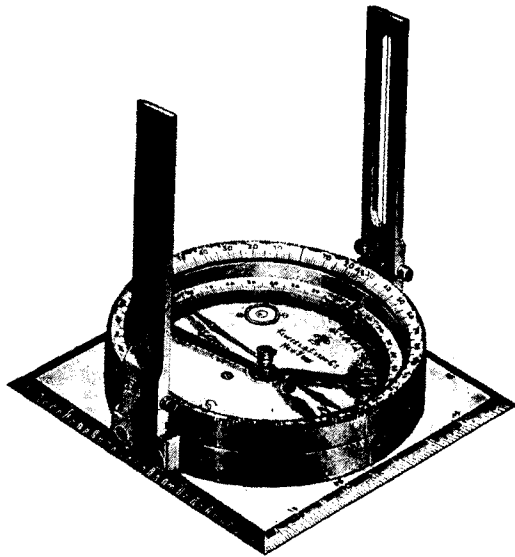
Ketelitian kompas tergantung pada kepekaan jarumnya. Jarum yang peka dengan mudah tertarik ke arah sepotong besi kecil yang dipegang di dekatnya tetapi kembali pada kedudukan semula setiap kali rangsangan dihilangkan. Kepekaan itu sendiri dihasilkan dari jarum yang mempunyai (a) bentuk dan imbangan yang benar, (b) magnetisme yang kuat, (c) titik putar kerucut yang tajam, dan (d) lekukan halus yang bertumpu pada ujung titik putar. Ketukan pada kaca penutup melepaskan jarum yang tak berputar bebas. Sentuhan pada penutup dengan jari basah menghilangkan listrik statik yang bila ada dapat mempengaruhi jarum.

Memagnetkan kembali jarum kompas nisbi mudah, tetapi membentuk kembali titik putar itu sulit. Untuk menjaga bentuk kerucut daripada titik putar dan mencegah tumpulnya menjadi bentuk bulat atau datar yang menyebabkan seret, jarum harus diangkat dari titik putar dan ditempatkan di kaca tutup bila instrumen sedang dipindahkan atau disimpan.

Kompas-kompas lama didukung oleh sebuah kaki yang disebut *tongkat Jacob* (Jacob staff). Sebuah sendi peluru dan pengunci dipakai untuk mendatarkan instrumen dan memasang bidang dasar agar horisontal. Kompas-kompas buatan lebih baru dipasang pada sebuah dasar dengan empat sekrup penyetel seperti terlihat dalam Gambar 9-2.

Kotak kompas sebuah teodolit kompas adalah serupa konstruksinya dengan kompas juru-ukur. Tanda-tanda nol di titik-titik utara selatan letaknya sejajar dan di bawah garis bidik teropong. Penyetelan khusus pada beberapa kompas memutar lingkaran berskala dalam busur yang mengimbangi deklinasi yang diberikan, jadi menvebahkan dapat dibaca.





Gambar 9-4. Kompas. (Atas kebaikan Keuffel & Esser Company).

nya sudut arah "sebenarnya" dari jarum. Karena adanya gaya tarik lokal yang berbeda-beda pada stasiun-stasiun berikutnya, pemakaiannya mungkin tidak terlalu praktis.

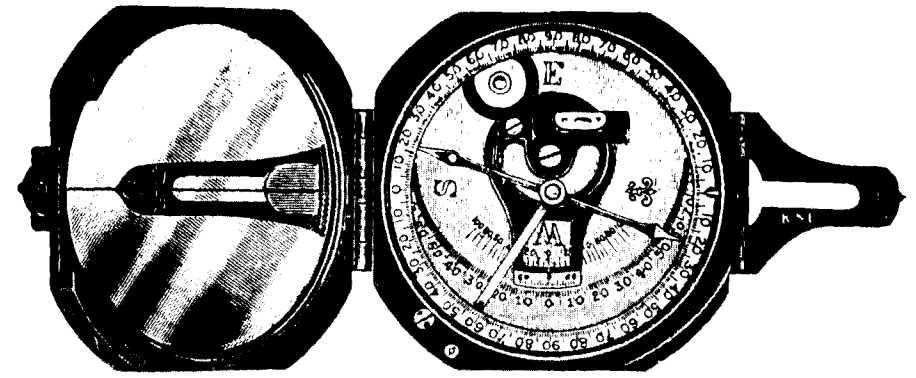
**9-7. KOMPAS KEHUTANAN DAN GEOLOGI.** Gambar 9-4 menunjukkan satu jenis kompas yang dipakai oleh para ahli geologi dan U.S. Forest Service. Alat ini dapat dipakai sebagai instrumen yang dipegang dengan tangan atau didukung pada sebuah tongkat atau kaki tiga.

Instrumen ini dibuat dari aluminium dan mempunyai bidikan dari kuningan dan penyetelan deklinasi untuk bagian tinggi (atas) cincin kompas yang berpembagian skala. Cincin (bawah) pengukur sudut dipakai untuk membelok tegak lurus atau untuk mengukur sudut vertikal dengan menempatkan tepi bidang dasar pada permukaan datar.

**9-8. KOMPAS BRUNTON.** Gambar 9-5 menunjukkan sebuah kompas saku Brunton, yang menggabungkan ciri-ciri utama sebuah kompas bidik, kompas prismatik, alat sipat datar tangan, dan klinometer. Instrumen ini mudah dan cukup teliti untuk banyak jenis grafik dan pengukuran pendahuluan. Alat ini dapat dipegang tangan atau dipasang pada sebuah tongkat Yacob atau kaki tiga. Alat ini dipakai secara luas oleh para ahli geologi.

Kompas Brunton terdiri atas kotak tembaga berengsel pada dua sisinya. Tutup di sebelah kiri mempunyai sebuah cermin yang bagus di mana ada garis tepat di tengahnya pada permukaan dalam. Di ujung paling kiri ada titik bidikan yang berengsel dan titik bidikan di ujung paling kanan dapat dilipat ke luar bila instrumen dipakai. Sudut arah sebuah garis dibaca dari kedudukan jarum kompas, sementara itu titik yang diamati dipantulkan lewat bilah bidik pada cermin. Pengaturan deklinasi dapat dilaksanakan dengan memutar cincin kompas yang ditinggikan.

Busur klinometer (sudut vertikal), di bagian dalam cincin kompas, diberi pembagian skala sampai derajat dan dibaca sampai 5 menit terdekat dengan sebuah nonius pada batang klinometer. Untuk membaca sudut vertikal atau persentase gradien, kompas dipegang vertikal, tidak horisontal. Busur lain memberikan persentase gradien baik untuk elevasi maupun dipresi (junam). Kompas saku Brunton berukuran  $2\frac{3}{4} \times 2\frac{3}{4} \times 1$  in dan beratnya kira-kira 8 ons.



Gambar 9-5. Kompas saku Brunton. (Atas kebaikan Keuffel & Esser Company).

Instrumen lain yang kecil dan mudah adalah kompas Suunto yang berisi cairan. Pembagian skalanya dalam derajat, pembacaan dapat dikira sampai 10 menit. Kompas ini berukuran  $3 \times 2 \times \frac{9}{16}$  in.

**9-9. MASALAH-MASALAH KHAS.** Masalah-masalah khas dalam pengukuran dengan kompas memerlukan konversi dari sudut arah sebenarnya menjadi sudut arah magnetik, sudut arah magnetik menjadi sudut arah sebenarnya, dan sudut arah magnetik menjadi sudut arah magnetik untuk deklinasi yang ada pada tanggal yang berbeda.

#### CONTOH 9-1.

Misalnya sudut arah magnetik sebuah garis batas hak milik tercatat sebagai  $S43^{\circ}30'T$  dalam tahun 1862. Deklinasi magnetik di lokasi pengukuran adalah  $3^{\circ}15'B$ . Sudut arah sebenarnya diperlukan untuk pengkaplingan rencana pemilikan tanah.

#### PENYELESAIAN

Sebuah sketsa serupa Gambar 9-6 membuat hubungan jelas dan sebaiknya dipakai oleh para pemula untuk menghindari kesalahan. Utara sebenarnya digambarkan dengan panah panjang ujung-penuh dan utara magnetik dengan panah setengah-ujung yang lebih pendek. Sudut-arah-sebenarnya terlihat sebesar  $S43^{\circ}30'T + 3^{\circ}15' = S46^{\circ}45'T$ . Untuk lebih memperjelas sketsa dapat dipakai pensil-pensil warna untuk menunjukkan arah utara sebenarnya, utara magnetik, dan garis-garis di tanah.

#### CONTOH 9-2.

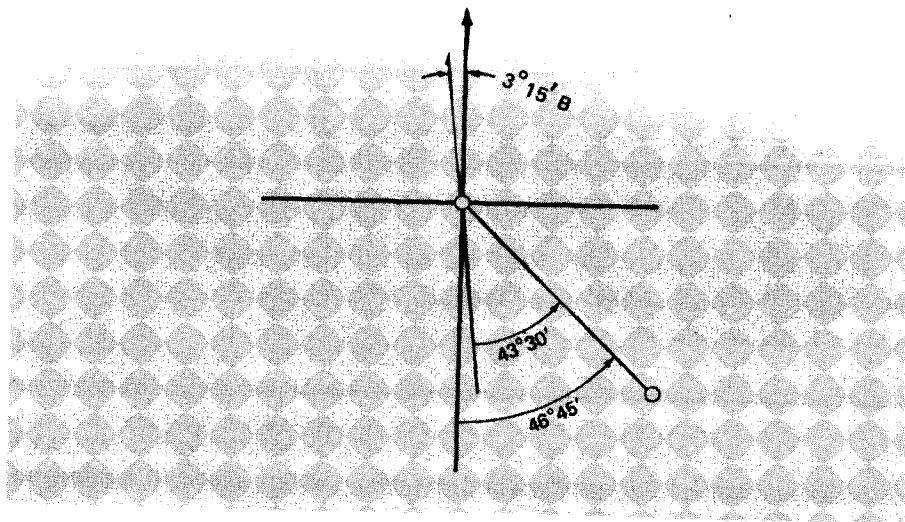
Misalkan sudut arah magnetik garis  $AB$  terbaca di tahun 1878 adalah  $U26^{\circ}15'T$ . Deklinasi di waktu dan tempat itu adalah  $7^{\circ}15'B$ . Dalam tahun 1984 deklinasinya  $4^{\circ}30'T$ . Diperlukan sudut arah magnetik dalam tahun 1984.

#### PENYELESAIAN

Sudut-sudut deklinasi ditunjukkan dalam Gambar 9-7. Sudut arah magnetik garis  $AB$  sama dengan sudut arah tanggal sebelumnya dikurangi jumlah sudut-sudut deklinasi, atau

$$U26^{\circ}15'T - (7^{\circ}15' + 4^{\circ}30') = U14^{\circ}30'T$$

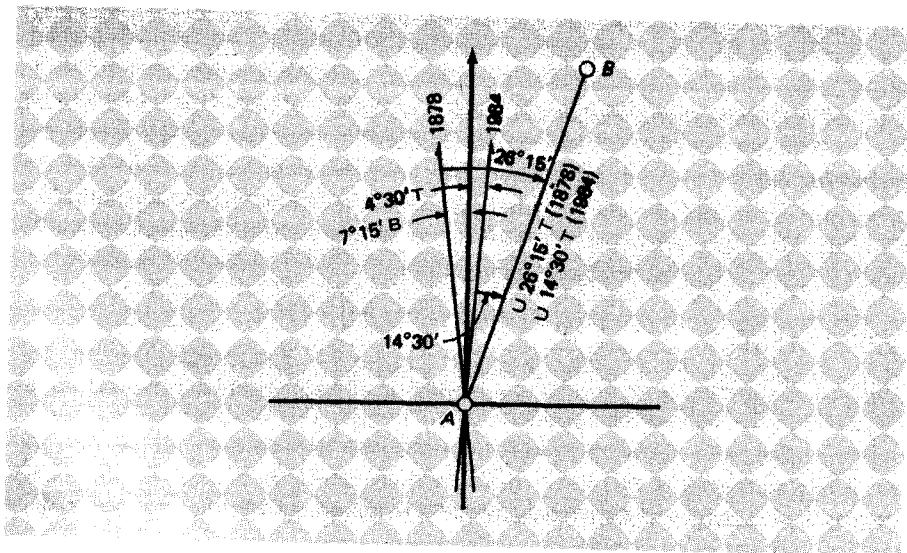
**9-10. SUMBER-SUMBER GALAT DALAM PEKERJAAN KOMPAS.** Beberapa sumber galat dalam memakai kompas adalah:



Gambar 9-6. Menghitung sudut-arah-sebenarnya dari sudut arah magnetik dan deklinasi.

1. Kompas tidak mendatar.
2. Titik putar tidak tajam atau tidak tepat di pusat lingkaran berpembagian skala.
3. Jarum atau bilah-bilah bidikan bengkok.
4. Jarum lemah magnetismenya.
5. Variasi magnetik.
6. Gaya tarik lokal disebabkan karena jalur listrik di atasnya, kandungan bijih di bawah tanah, paku lapangan, anjir logam, buku-buku lembar lepas, pisau kecil, mobil berhenti di dekatnya, dan sebagainya.

Gambar 9-7. Menghitung perubahan-perubahan sudut arah magnetik disebabkan deklinasi magnetik.



**9-11. KESALAHAN BESAR.** Beberapa kesalahan yang cukup khas dalam pekerjaan kompas adalah:

1. Membaca ujung jarum yang keliru.
2. Pemasangan deklinasi pada sisi yang salah dari utara.
3. Deklinasi meleset pada waktu pembacaan sudut arah magnetik.
4. Paralaks (membaca sambil melihat dari samping jarum, seharusnya tepat dari atasnya dan sepanjang jarum itu).
5. Lalai mengecek sudut-sudut arah ke muka dan belakang bila mungkin.
6. Tidak membuat sketsa menunjukkan data yang diketahui dan diinginkan.

## SOAL-SOAL

- 9-1. Pada kecepatan perubahan deklinasi di masa sekarang (lihat Gambar 9-1), berapa kecepatan kira-kira dalam mil per tahun dan di arah mana, garis agonik sedang bergerak di seluruh Amerika Serikat?
- 9-2. Tentukan dari Gambar 9-1 deklinasi-deklinasi pendekatan dalam tahun 1980 dan 1990 di Boston, Miami, Los Angeles dan Seattle.
- 9-3. Berapa jumlah beda deklinasi magnetik antara New York City dan San Francisco?
- 9-4. Dengan menganggap kecepatan perubahan deklinasi tahunan tetap dalam Gambar 9-1 (belum pernah), hitunglah deklinasi, pendekatan di Atlanta dalam tahun 1900. Cocokkan jawaban Anda dalam buku ukur lama.
- 9-5. Sebutkan tiga kemungkinan penyebab perubahan tak beraturan jangka pendek yang lebih dari satu derajat. Tidak diperhitungkan badai dan butir-butir pada Paragraf 9-10.
- 9-6. Apakah sebuah nonius berguna pada kompas juru-ukur? Terangkan.
- 9-7. Deklinasi magnetik pada sebuah tugu adalah  $3^{\circ}45'T$ . Berapa sudut arah magnetik utara sebenarnya? Selatan sebenarnya? Barat sebenarnya?
- 9-8. Terangkan mengapa huruf-huruf E (Timur) dan W (Barat) pada kompas (lihat Gambar 9-3) terbalik dari kedudukannya yang normal?
- 9-9. Sudut arah magnetik sebuah garis ukur lama tercatat  $U7^{\circ}15'T$  sekarang adalah  $U2^{\circ}00'B$ . Berapa perubahan deklinasi magnetik dan arahnya?
- 9-10. Sudut arah magnetik garis XY dalam tahun 1929 adalah  $U46^{\circ}28'T$  dan deklinasinya  $2^{\circ}30'T$ . Sekarang deklinasinya  $1^{\circ}15'B$ . Berapa sudut arah magnetik harus dipakai untuk menetapkan kembali garis XY?
- 9-11. Di manakah di permukaan bumi garis-garis gaya magnetik horisontal? Di mana vertikal?
- 9-12. Bagaimana Anda menentukan deklinasi magnetik di lapangan?
- 9-13. Dapatkah gaya tarik lokal ditentukan dengan pemasangan alat di satu stasiun?
- 9-14. Golongkan jenis galat karena gaya tarik lokal.
- 9-15. Seseorang mengadakan perjalanan ke utara pada sebuah meridian sejauh 2 mil, ke arah timur pada paralel sejauh 1 mil, ke arah selatan pada sebuah meridian sejauh 1 mil dan kembali ke titik semula. Di mana titik awal itu?
- 9-16. Apakah gaya tarik di sebuah titik mempengaruhi besarnya sudut yang dihitung dari sudut arah magnetik terbaca di sana? Terangkan.
- 9-17. Sudut arah yang diamati pada sepotong garis adalah  $S88^{\circ}22'B$ . Sudut arahnya yang benar adalah  $U89^{\circ}12'B$ . Carilah harga dan arah gaya tarik lokal.
- 9-18. Setelah tak menemukan adanya gaya tarik lokal di pusat A, sudut-sudut arah terbaca  $AB = U36^{\circ}B$ ,  $BA = S37\frac{1}{4}^{\circ}T$ ,  $BC = S40\frac{1}{2}^{\circ}B$ . Berapa sudut lancip di B dan sudut arah BC yang benar?
- 9-19. Pembacaan sebuah kompas juru-ukur untuk mengecek deklinasi lokal adalah  $U12^{\circ}45'B$ ,  $U12^{\circ}45'B$ ,  $U12^{\circ}40'B$ ,  $U12^{\circ}45'B$ ,  $U12^{\circ}50'B$ , dan  $U12^{\circ}45'B$ . Hitunglah harga deklinasi paling mentak dan galat standarnya.

Konversikan sudut-sudut arah magnetik menjadi sudut-sudut arah sebenarnya dalam Soal 9-20 dan 9-21.

9-20.  $U62^{\circ}25'B$ , deklinasi  $10^{\circ}T$ .

9-21.  $S11^{\circ}45'T$ , deklinasi  $12^{\circ}30'B$ .

Berapa sudut arah diperlukan untuk mencari kembali garis  $CD$  untuk kondisi-kondisi yang dinyatakan dalam Soal 9-22 sampai dengan 9-25.

	SUDUT ARAH MAGNETIK 1875	DEKLINASI 1875	DEKLINASI SEKARANG
9-22.	$U64^{\circ}15'T$	$2^{\circ}20'B$	$3^{\circ}10'T$
9-23.	$S83^{\circ}15'B$	$1^{\circ}22'T$	$0^{\circ}52'B$
9-24.	$U89^{\circ}45'B$	$1^{\circ}56'T$	$3^{\circ}18'B$
9-25.	$S54^{\circ}30'T$	$5^{\circ}46'B$	$8^{\circ}33'T$

Hitung deklinasi magnetik garis  $EF$  dalam tahun 1870 berdasarkan data-data sebagai berikut dari sebuah catatan pengukuran lama.

	SUDUT ARAH MAGNETIK 1870	SUDUT ARAH MAGNETIK SEKARANG	DEKLINASI MAGNETIK SEKARANG
9-26.	$S00^{\circ}15'T$	$S02^{\circ}30'T$	$5^{\circ}20'T$
9-27.	$S61^{\circ}15'B$	$S50^{\circ}30'B$	$15^{\circ}37'T$
9-28.	$U02^{\circ}30'B$	$U01^{\circ}15'B$	$3^{\circ}00'T$
9-29.	$U22^{\circ}00'T$	$U24^{\circ}15'T$	$3^{\circ}30'T$

Hitunglah kalau ada gaya tarik lokal dan tuliskan sudut arah  $BC$  dan  $CD$  yang dikoreksi, untuk Soal 9-30 dan 931. Sudut arah  $AB$  dianggap  $U34^{\circ}T$ .

9-30.  $BA = S33^{\circ}B$ ,  $BC = S68^{\circ}T$ ,  $CB = U70^{\circ}B$ ,  $CD = S0^{\circ}$ .

9-31.  $BA = S35^{\circ}B$ ,  $BC = U82^{\circ}T$ ,  $CB = S86^{\circ}B$ ,  $CD = U75^{\circ}B$ .

Sudut-sudut dari pengamatan kompas sebuah poligon sisi-lima  $ABCD A$  diberikan dalam Soal 9-32 dan 9-33. Hitunglah sudut-sudut dalam dan jelaskan kesalahan penutupnya.

	$AB$	$BC$	$CD$	$DE$	$EA$
9-32.	$U20^{\circ}00'T$	$U64^{\circ}45'T$	$U85^{\circ}15'B$	$S39^{\circ}30'B$	$U88^{\circ}30'T$
9-33.	$S64^{\circ}30'T$	$S12^{\circ}45'T$	$S85^{\circ}00'B$	$U29^{\circ}45'T$	$U43^{\circ}15'T$

## DAFTAR PUSTAKA

- Barker, N. 1978. "Butir-butir Utama". *Surveying and Mapping* 38(no. 3): 203.  
 Boyum, B.H. 1982. "Kompas Yang Merubah Pengukuran Tanah". (*Professional Surveyor*) 2:28.  
 Huey, S.E. 1952. "Pengukuran Tanah dengan Kompas Magnetik". *Surveying and Mapping* 12(no. 4): 293.  
 Sipe, F.H. 1980. *Pengukuran Persil dengan Kompas*. Landmark Enterprises, Rancho Cordova, CA 95670.

# 10

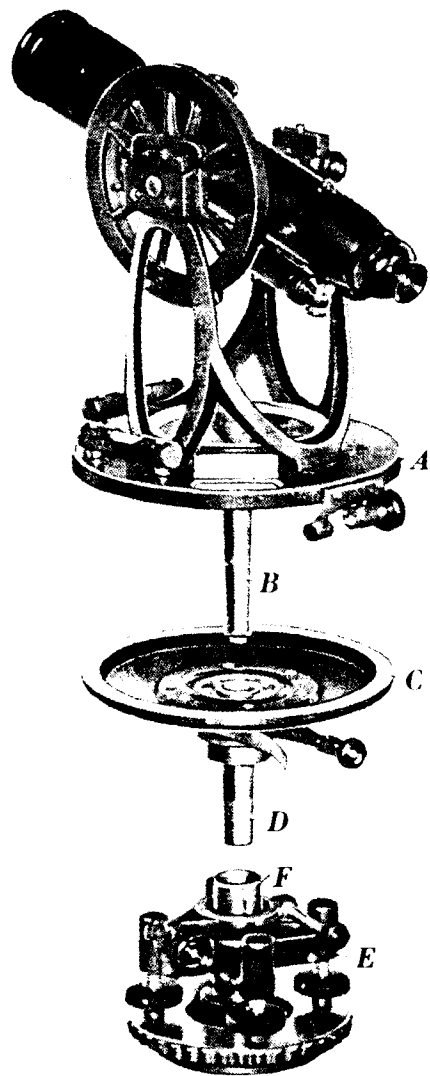
## TEODOLIT KOMPAS DAN TEODOLIT

**10-1. PENGANTAR.** Teodolit kompas (transit) dan teodolit barangkali merupakan instrumen ukur tanah yang paling universal. Walaupun kegunaan utama keduanya adalah untuk pengukuran atau pemasangan sudut horisontal dan vertikal dengan teliti, biasa juga dipakai untuk beraneka ragam tugas lain misalnya menentukan jarak horisontal dan vertikal secara optis (lihat Bab 15), memperpanjang garis lurus, dan sipat datar memanjang orde-rendah.

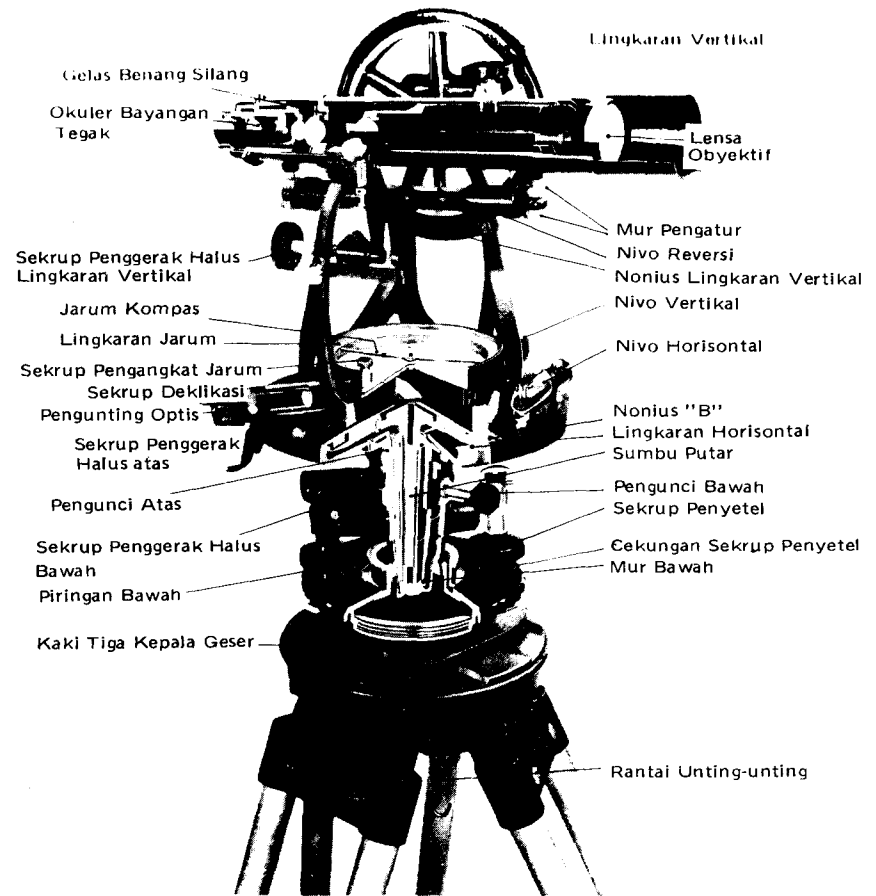
Bagian-bagian utama sebuah teodolit kompas (transit) atau teodolit adalah teropong bidik, dua lingkaran berpembagian skala yang dipasang pada bidang-bidang yang saling tegak lurus satu sama lain, dan tabung-tabung nivo. Sebelum pengukuran sudut, lingkaran "horisontal" diorientasikan pada bidang horisontal dengan bantuan tabung-tabung nivo, yang secara otomatis meletakkan lingkaran lainnya pada bidang vertikal. Sudut horisontal dan vertikal kemudian dapat diukur langsung pada bidang acuan yang bersangkutan masing-masing.

Tidak ada pengertian yang diterima secara internasional di antara para juru-ukur tentang perbedaan tepat yang dinyatakan oleh istilah-istilah transit dan teodolit. Di Eropa istilah *teodolit transit* mula-mula dipakai untuk instrumen ukur sudut jenis ini. Perkataan *transit* berarti bahwa teropong dapat *diputar pada bidang vertikal, diputar horisontal* atau *diputar mengelilingi sumbunya sendiri*. Orang-orang Eropa akhirnya menghilangkan kata sifatnya dan hanya memakai nama teodolit, sedangkan orang-orang Amerika menyingkat istilahnya menjadi transit.

Setelah bertahun-tahun, di samping pemakaian nama-nama berbeda bagi instrumen ukur sudut, lahir lebih ciri-ciri khas rancangan dasar yang berbeda-beda yang sekarang pada umumnya



Gambar 10-1. Bagian-bagian transit A, piringan atas; B, sumbu putar dalam; C, piringan bawah; D, sumbu putar luar; E, bidang sekrup penyettel; F, tampuk. (Atas kebaikan E & L.E. Gurley).



Gambar 10-2. Transit Amerika. (Atas kebaikan W & L.E. Gurley).

transit di Amerika Serikat. Walaupun ada perbedaan antara kedua jenis instrumen, keduanya bekerja atas prinsip dasar yang sama, dan bagian-bagian serta hubungan yang dijelaskan untuk transit langsung berlaku pada teodolit.

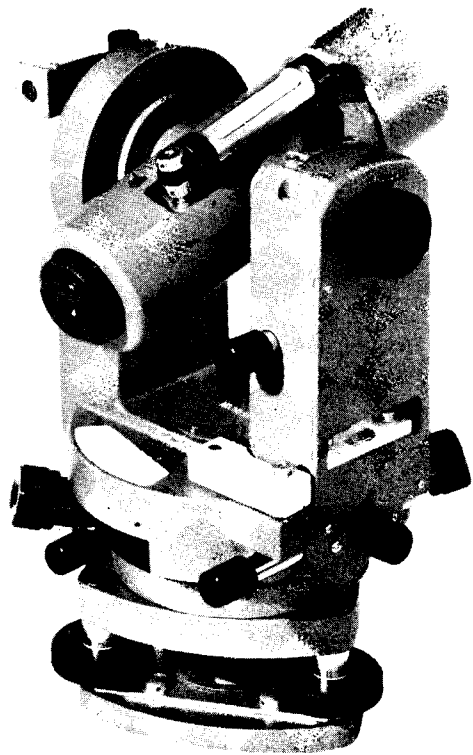
## BAGIAN I TRANSIT (TEODOLIT KOMPAS)

**10-2. BAGIAN-BAGIAN TRANSIT.** Transit dibuat untuk pemakaian umum dan khusus, tetapi semua mempunyai tiga bagian utama: (1) alidade dan piringan atas, (2) piringan bawah, dan (3) bidang sekrup penyettel. Ketiganya diperlihatkan dalam kedudukan nisbinya pada Gambar 10-1 dan terakit dalam Gambar 10-2. Berpedoman pada gambar-gambar ini akan diperoleh pengertian yang lebih baik mengenai penjelasan yang diberikan dalam paragraf-paragraf berikutnya.

Berbagai bagian transit dan bekerjanya dapat dipelajari sebaik-baiknya dengan jalan benar-benar memeriksa dan menanganinya sebuah instrumen. Sekali sebuah transit telah dibongkar dan dirakit, walaupun alat tua atau rusak tak terpakai lagi, pembuatan dan konstruksinya yang seksama pasti membahayakan keselamatan pada peralatan sebegitu.

nya dianggap kriteria untuk membedakan transit dengan teodolit. Transit Amerika, ditunjukkan dalam Gambar 10-1 dan 10-2, mempunyai rancangan "terbuka" dengan lingkaran logam yang dibaca memakai nonius. Teodolit Eropa berciri rancangan "tertutup" (lihat Gambar 10-9 sampai dengan 10-12) dan, kecuali untuk teodolit digital elektronik (lihat Paragraf 10-14), memakai lingkaran dari kaca. Pembacaan diambil dari pembagian skala halus pada kaca atau mikrometer, yang diamati lewat sistem optis mikroskopik dalam. Perbedaan-perbedaan lain digambarkan menyusul dalam bab ini. Beberapa instrumen, misalnya yang ada dalam Gambar 10-3, menggabungkan beberapa ciri rancangan transit maupun teodolit, disebut *transit-pembacaan-optis*. Alat-alat ini mempunyai lingkaran dari kaca dan dibaca dari nonius kaca yang dilihat lewat okuler pembesar.

Secara umum, teodolit mampu memberikan kesaksamaan dan ketelitian lebih tinggi dalam pengukuran sudut dibanding dengan transit. Karena ini dan keuntungan-keuntungan lain (lebih ringan, lebih mudah dibaca, dan lain-lain) teodolit dengan cepat mendesak



Gambar 10-3. Transit pembacaan optis. (Atas kebaikan Dietzgen Corp.)

**10-3. PIRINGAN ATAS.** Alidade yang berisi piringan atas (*A* dalam Gambar 10-1) adalah sebuah piringan horisontal yang digabung dengan sebuah sumbu putar vertikal *B*, yang menyebabkan piringan dapat berputar mengelilingi sumbu satu. Rancangan yang meruncing pada sumbu putar transit Amerika, menjamin agar tetap terpusat dan terpasang dengan baik, walaupun aus, kecuali rusak karena debu atau kecelakaan. Menempel pada piringan itu terdapat dua tabung nivo, sebuah sejajar teropong (*nivo vertikal*) dan lainnya tegak lurus padanya (*nivo horisontal*) (lihat Gambar 10-2) dan dua buah *nonius* yaitu pada *A* dan *B*, terpisah  $180^\circ$ . Ada perlengkapan untuk mengatur nonius dan tabung-tabung nivo.

Dua buah *penopang* vertikal, jenis A atau U, merupakan bagian terpadu dengan piringan atas untuk mendukung *penopang silang* horisontal pada teropong dalam sudut arah. Teropong berputar pada bidang vertikal mengelilingi garis sumbu melalui pusat penopang silang yang disebut *sumbu II*.

Teropong yang mirip alat sipat datar jenis semua-tetap (Paragraf 6-7), berisi sebuah okuler, benang silang berupa satu garis vertikal dan tiga garis horisontal, dan sebuah sistem lensa obyektif. Sebuah tabung nivo yang peka menempel pada tabung teropong sehingga transit dapat dipakai sebagai instrumen sipat datar pada pekerjaan di mana sudah cukup perbesaran lebih rendah dan nivo teropong yang tidak begitu peka.

Teropong dikatakan dalam kedudukan *biasa* bila tabung nivo ada di bawahnya. Memutar teropong pada sumbu dua membawa teropong pada kedudukan *luar biasa*. Agar teropong dapat digunakan untuk sipat datar dalam kedudukan biasa maupun luar biasa, diperlukan *nivo timbal-balik* (melengkung dan berpembagian skala baik pada bidang atas maupun bawahnya sehingga dapat dipakai pada kedua kedudukan).

Sebuah *lingkaran vertikal* didukung oleh penopang silang, berputar bersama teropong. Lingkaran itu biasanya dibagi menjadi selang  $\frac{1}{2}^\circ$  dengan pembacaan sampai menit terdekat diperoleh dari sebuah nonius yang mempunyai 30 pembagian skala. Nonius dipasang pada sebuah penopang dengan perlengkapan untuk menyetel. Jika teratur dengan baik, harus terbaca nol bila gelembung teropong diseimbangkan. Jika tak diatur, akan terbaca *galat indeks* pada lingkaran vertikal dengan nivo seimbang dan harus dikoreksikan pada semua sudut vertikal, dengan tanda yang sesuai untuk memperoleh harga yang benar.

Piringan atas juga berisi *kotak kompas* dan mempunyai *sekrup penggerak halus* (bagian atas).

*Sekrup pengunci lingkaran vertikal* (untuk sumbu II) diketatkan untuk memasang teropong agar horisontal atau pada kemiringan tertentu yang dikehendaki. Setelah sekrup ini diketatkan, gerakan vertikal terbatas dapat diperoleh dengan memutar *sekrup penggerak halus lingkaran vertikal*.

**10-4. PIRINGAN BAWAH.** Piringan bawah (*C* dalam Gambar 10-1) adalah sebuah piringan horisontal, dengan pembagian skala di permukaannya. Bagian bawahnya dilekatkan pada sebuah sumbu vertikal berongga dan berbentuk meruncing *D*, di mana piringan atas terletak dengan pas. Piringan atas seluruhnya menutup piringan bawah, kecuali dua lubang di mana nonius-nonius tepat menempel lingkaran berpembagian skala.

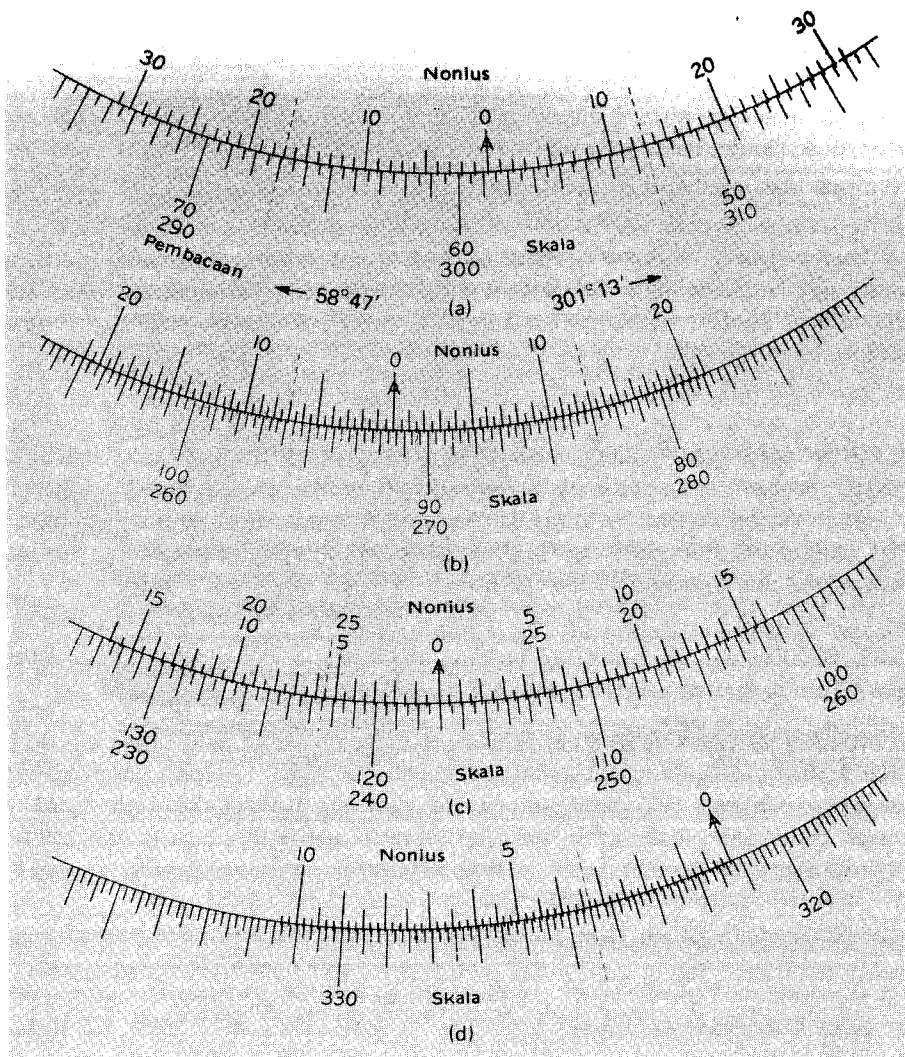
*Sekrup pengunci atas* (lihat Gambar 10-2) mengikat piringan-piringan atas dan bawah bersama. Gerakan pendek sepanjang tertentu masih dimungkinkan setelah penguncian, dengan *sekrup penggerak halus-atas* yang ada pada piringan atas.

**10-5. BIDANG SEKROP PENYETEL.** Bidang sekrup penyetel (*E* dalam Gambar 10-1) terdiri atas sebuah bidang dasar horisontal dan sebuah "laba-laba" (jari-jari penopang) dengan empat *sekrup penyetel*. Sekrup-sekrup penyetel, dipasang pada lekukan (cekungan) untuk mencegah pengikisan bidang dasar, tertutup sebagian atau seluruhnya sama sekali untuk melindungi dari debu dan kerusakan. Bidang dasar mempunyai lubang bergalur yang dapat disekrupkan terhadap bidang atas kaki tiga.

Sebuah sendi (*F* dalam Gambar 10-1) pada bidang sekrup penyetel mempunyai *pengunci bawah* (lihat Gambar 10-2) untuk mengikat piringan bawah. *Sekrup penggerak halus bawah* dipakai untuk menepatkan dengan saksama setelah pengunci bawah diketatkan. Dasar tampuk terpasang ke dalam sendi peluru yang terletak pada piringan bawah bidang sekrup penyetel, di mana sendi ini dapat bergeser horisontal. Sebuah *rantai pemusat* (unting-unting) dilekatkan pada pusat sumbu sebagai penggantung tali unting-unting. Pada beberapa transit, terdapat *pemusat optis* (pengunting optis), yang merupakan teropong melalui pusat (sumbu) vertikal. Pemusat ini mengarah vertikal bila piringan-piringan dalam keadaan datar dan dibidik tegak lurus (horisontal) dengan bantuan prisma agar mudah pengamatannya.

Sebuah ikhtisar pemakaian berbagai pengunci dan penggerak halus dapat berguna bagi pemula. Sekrup pengunci lingkaran vertikal dan penggerak halus pada satu penopang mengendalikan gerak teropong di bidang vertikal. Sekrup pengunci atas mengunci jadi satu piringan atas dan bawah, dan sekrup penggerak halus atas memungkinkan sedikit gerak geser antara keduanya. Pengunci bawah mengikat piringan bawah pada sendi, dan setelah penguncian sekrup penggerak halus bawah dapat dipakai memutar piringan bawah dengan sudut kecil. Jika piringan atas diketatkan terhadap piringan bawah, keduanya tentu saja bergerak bebas dalam kesatuan bila pengunci bawah dikendorkan.

Kaki tiga untuk transit, baik jenis kaki tetap atau dapat diatur panjang-pendek, dipakai saling tukar dengan alat sipat datar.



Gambar 10-4. Nonius transit.

**10-6. PEMBAGIAN DERAJAT (SKALA).** Lingkaran horisontal pada piringan bawah dapat dibagi dalam berbagai cara, tetapi pada umumnya lingkaran diberi pembagian skala dengan selang 30 atau 20 menit. Agar memudahkan dalam pengukuran sudut ke kanan atau ke kiri, pembagian diberi angka dari 0° sampai 360° baik searah maupun berlawanan arah jarum jam. Gambar 10-4 menunjukkan susunan ini. Pada transit-transit yang lebih baru, angka-angka dimiringkan untuk menunjukkan arah ke mana lingkaran harus dibaca. Garis pembagian yang beda panjangnya menunjukkan pembagian utama 10°, 5°, 1° dan yang utama lainnya.

Lingkaran horisontal pada instrumen-instrumen yang lebih saksama diberi pembagian skala menjadi 10 atau 15 menit. Pada beberapa transit model lama rangkaian angka sebelah luar berkisar dari 0° sampai 180° dan kembali ke 0°. Instrumen-instrumen kuno mempunyai lingkaran yang dibagi menjadi kuadran-kuadran seperti kotak kompas. Pembagian

skala 360° memudahkan pembacaan azimuth dan sudut sudut langsung, karenanya telah menggantikan sistem angka kuadran, yang dulu dipakai untuk pembacaan sudut sudut arah.

Lingkaran vertikal pada kebanyakan transit dibagi menjadi selang-selang sebesar 30 menit. Biasanya diberi angka dari nol di bawah (untuk bidikan horisontal) sampai 90° pada kedua arah (untuk bidikan-bidikan vertikal), dan kemudian kembali ke nol di bagian atas. Ini memudahkan pembacaan baik sudut elevasi maupun junam (depression) (lihat Paragraf 11-15) dengan teropong dalam kedudukan biasa maupun luar biasa.

Lingkaran-lingkaran transit diberi pembagian skala secara otomatis dengan mesin pembagi-saksama. Setelah tiap garis digores dengan alat tajam, sebuah roda-gigi saksama menggerakkan alat ke depan untuk goresan berikutnya. Galat kecil yang terjadi pada roda gigi, dibetulkan dengan bubungan pampas (compensating cam). Di bawah mikroskop, goresan pembagian nampak agak kasar, tetapi dengan mata telanjang nampak halus. Tanda goresan dicat agar jelas terlihat menonjol. Pembagian skala pada transit adalah benar dalam batas kira-kira 2 sekon.

**10-7. NONIUS-NONIUS.** Prinsip nonius telah ditunjukkan dalam Paragraf 6-19 dan satuan nonius diperoleh dari hubungan berikut ini:

$$\text{satuan nonius} = \frac{\text{harga pembagian terkecil skala utama}}{\text{banyaknya pembagian pada nonius}}$$

Gabungan pembagian skala dan pembagian nonius yang biasa dipakai pada transit di perlihatkan dalam Tabel 10-4.

**Nonius Langsung atau Tunggal.** (Gambar 10-4(d). Ini hanya dibaca dalam satu arah dan karenanya harus diatur agar pembagian ada di muka tanda nol (penunjuk) dalam arah pemutar.

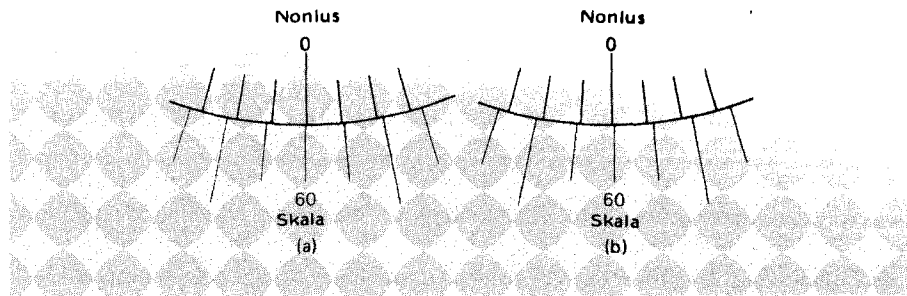
TABEL 10-1. PEMBAGIAN SKALA DAN NONIUS TRANSIT

PEMBAGIAN SKALA	PEMBAGIAN NONIUS	SATUAN NONIUS	GAMBAR
30'	30	1'	10-4(a)
20'	40	30"	10-4(b)
30'	60	30"	10-4(c)
15'	45	20"	
10'	60	10"	10-4(d)

**Nonius Ganda** (Gambar 10-4(a), (b) dan (c). Sebuah nonius ganda dapat dibaca baik searah maupun berlawanan arah jarum jam, dan sekali baca hanya setengahnya yang dipakai. Sekali tanda penunjuk (indeks) ditepatkan dengan 0°00' pada lingkaran, atau sembarang harga yang diketahui, seorang pengamat tak terbatas hanya dapat memutar sudut ke satu jurusan saja.

**Nonius Lipat** (Gambar 10-4(c). Jenis ini tidak memerlukan bidang nonius yang panjang seperti nonius ganda biasa. Panjangnya sama dengan nonius-langsung dengan setengah pembagian ditempatkan pada kedua belah sisi tanda penunjuk. Kecuali mungkin untuk lingkaran vertikal, pemakaian nonius lipat tidak membuktikan penghematan biaya atau ruang dan mungkin menyebabkan salah baca.





Gambar 10-5. Pembacaan nonius.

**10-8. PEMBACAAN NONIUS.** Nonius dibaca dengan jalan menemukan garis pembagiannya yang berimpit dengan *sembarang* garis pembagian lingkaran. Ada dua garis berimpit demikian pada nonius ganda, satu untuk sudut searah dan lainnya untuk sudut berlawanan arah jarum jam. Garis penunjuk nonius menunjukkan angka derajat (dan kadang-kadang kelipatan 10, 15, 20, atau 30 menit) yang terbaca pada pembagian skala utama. Garis pembagian nonius yang berimpit langsung memberikan tambahan pecahan satu derajat. Garis-garis pembagian di sebelah garis-garis yang nampaknya berimbang harus dicek apakah polanya sudah itidal (symmetry).

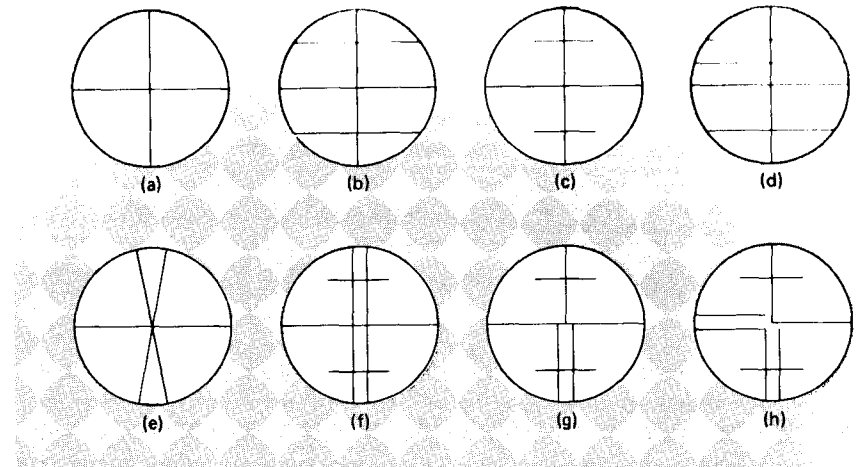
Dalam Gambar 10-5(a), tanda-petunjuk nonius (nol) terpasang tepat pada sebuah garis pembagian skala, karena jarak antara garis-garis pembagian nonius kedua dan skala-utama kedua di kedua belah pihak dari nol adalah sama. Jika dua susunan garis nampak hampir berimpit dan terbentuk pola itidal (symmetry), seperti pada Gambar 10-5(b) oleh nol dan garis pembagian pertama di sebelah kiri, pembacaannya adalah di antara keduanya, dengan interpolasi.

Gambar 10-4(a) menunjukkan sebuah nonius ganda dan dua susunan angka pada lingkaran. Pembacaan pada susunan dalam adalah  $58^{\circ}30' + 17' = 58^{\circ}47'$ . Untuk lingkaran luar pembacaannya  $301^{\circ}00' + 13' = 301^{\circ}13'$ . Perhatikanlah bahwa *nonius selalu dibaca searah dari nol dengan urutan angka pada lingkaran – yaitu, pada nonius ganda dalam arah sudut meningkat*.

Pembacaan susunan angka sebelah dalam dari nonius ganda dalam Gambar 10-4(b) adalah  $91^{\circ}20' + 07' = 91^{\circ}27'$ ; untuk susunan luar pembacaannya adalah  $268^{\circ}20' + 13' = 268^{\circ}33'$ . Nonius lipat pada Gambar 10-4(c) terbaca  $117^{\circ}05'30''$  pada susunan angka dalam dan  $242^{\circ}54'30''$  pada susunan angka dalam dan  $242^{\circ}54'30''$  pada susunan luar. Nonius-langsung dalam Gambar 10-4(d) terbaca  $321^{\circ}13'20''$  untuk sudut searah-jarum jam.

Pengertian tentang nonius sebaiknya diperoleh dengan latihan membaca berbagai macam dan dengan menghitung serta menggambar satuan nonius untuk gabungan garis-garis pembagian skala lingkaran dan nonius yang berbeda. Kesalahan-kesalahan yang khas dalam membaca menit dan sekon dari nonius disebabkan karena yang berikut:

1. Tidak memakai kaca pembesar.
2. Membaca dalam arah yang salah dari nol, atau di pihak yang salah pada nonius ganda.
3. Salah dalam menentukan satuan nonius.
4. Menghilangkan 10, 15, 20 atau 30 menit bila penunjuk melewati tanda-tanda angka ini



Gambar 10-6. Susunan benang silang.

**10-9. SIFAT-SIFAT TRANSIT.** Transit dirancang agar ada imbalan baik antara perbesaran dan hasil pisahan (resolution) teropong, satuan nonius, dan kepekaan gelembung-gelembung nivo piringan dan gelembung nivo teropong. Dalam rancangan diperkirakan bidikan rata-rata sekitar 300 ft. Jadi sebuah instrumen standar 1-menit mempunyai sifat-sifat:

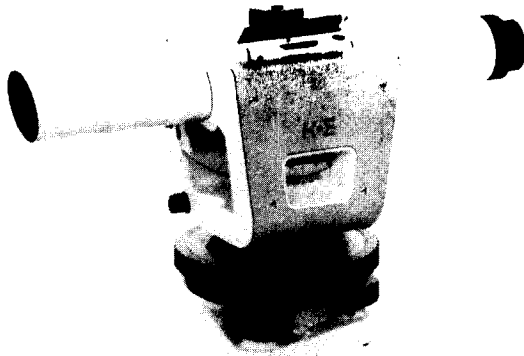
- Perbesaran, 18 sampai 28 diam.
- Bidang pemandangan,  $1^{\circ}$  sampai  $1^{\circ}30'$ .
- Hasil pisahan, 3 sampai 5 sekon.
- Pumpunan minimum, kira-kira 3 sampai 7 ft.
- Kepekaan nivo piringan tiap pembagian 2 mm, 70 sampai 100 sekon.
- Kepekaan tabung nivo teropong tiap pembagian 2 mm, 30 sampai 60 sekon.
- Berat instrumen atas tanpa kaki tiga, 11 sampai  $18\frac{1}{2}$  pon.

Benang silang biasanya terdiri atas benang tengah vertikal dan horisontal, dan dua benang ukur jarak optis, seperti ditunjukkan dalam Gambar 10-6(b) dan (c). Benang ukur jarak optis yang pendek, dipakai pada bidang benang silang dari kaca [Gambar 10-6(c)], menghindarkan kekacauan antara benang tengah dengan benang ukur jarak optis.

Sebuah benang perempatan ditempatkan di tengah antara benang atas dan tengah (Gambar 10-6(d), kadang-kadang dipakai untuk meningkatkan jangkauan pembacaan ukur jarak optis, seperti ditulis dalam Bab 15.

Pola X [Gambar 10-6(e)] kadang-kadang dipakai dalam instrumen-instrumen saksama untuk mencegah agar anjir atau obyek terlihat pada jarak jauh tidak terhalang seluruhnya di balik benang vertikal. Pola ini juga memungkinkan pengamat mengimbangkan jarak-jarak antara rambu dan benang di kedua belah pihak dari bagian atas dan bawah untuk menjamin pembidikan, sebuah tugas yang dikerjakan dengan dayaguna tinggi oleh mata manusia. Susunan seperti pada Gambar 10-6(f) atau salah satu dari variasi dalam Gambar 10-6(g) dan (h) juga bertujuan agar bidikan obyek tak terhalang dan membantu dalam pemusatan.

Transit adalah *instrumen repetisi* karena sudut-sudut dapat diukur dengan mengulang berkali-kali dan jumlahnya terkumpul pada piringan. Keuntungan-keuntungan prosedur repetisi adalah (1) ketelitian yang lebih baik, diperoleh dengan mengambil harga pukul rata



Gambar 10-7. Alat sipat datar transit untuk bangunan. (Atas kebaikan Keuffel & Esser Company).

dan (2) pengungkapan galat dengan membandingkan harga-harga pembacaan tunggal dan ganda.

Alat *sipat-datar-transit* bangunan adalah instrumen dengan harga lebih murah untuk pemakaian pada pekerjaan yang hanya memerlukan bidikan dekat dan kesaksamaan sedang. Model yang terlihat dalam Gambar 10-7 mempunyai teropong dengan perbesaran 20 diam, hasil pisahan 4,7 sekon, tabung nivo teropong dengan kepekaan 90 sekon/2-mm pembagian, sebuah lingkaran horisontal dan vertikal dengan pembacaan sampai 5 menit. Harganya kira-kira sepertiga harga transit biasa.

**10-10. PENANGANAN DAN PEMASANGAN TRANSIT.** Transit diambil dari kotaknya dengan memegang bidang sekrup penyetel, bagian bawah piringan-bawah, atau kedua penyangga (*tidak* dengan mengangkatnya pada teropong). Alat harus disekrupkan dengan cukup pada kaki tiga. Transit yang dibawa ke dalam rumah harus dijinjing dalam kedudukan horisontal dengan satu tangan, dengan bagian atas di depan. Cara yang sama juga sesuai untuk membawanya di wilayah yang bersema belukar. Dalam lapangan terbuka, instrumen boleh dijinjing di atas bahu. Bila transit dibawa, teropongnya harus dikuncikan sepenuhnya dalam kedudukan tegak lurus piringan-piringan. Pengunci piringan diketatkan seperlunya untuk mencegah ayunan, sementara itu masih memungkinkan gerakan mudah bila instrumen terbentur.

Mur bersayap pada kaki tiga harus ketat untuk mencegah luncuran dan putaran bagian atas. Mur-mur ini teratur baik bila kaki tiga meluncur sendiri karena beratnya waktu ditempatkan dalam kedudukan horisontal. Jika mur terlalu ketat, atau bila ada tekanan silang pada kaki (yang dapat mematahkannya) yang semestinya tekanan memanjang untuk pemasangannya di tanah, kaki tiga dalam keadaan tegang. Akibatnya dapat berupa gerakan bagian atas instrumen tak terlihat setelah pengamatan mulai. Kaki-kaki tiga harus terpisah cukup jauh agar stabil dan teropong ditempatkan pada ketinggian yang memudahkan pengamat. Alas kaki tiga harus teguh. Prosedur-prosedur lapangan yang baik dapat menghilangkan kebanyakan kesalahan instrumen yang belum teratur, tetapi tak ada cara untuk mengatasi kaki tiga yang rusak dengan kaki-kayu yang lapuk kecuali membuang atau memperbaikinya.

Sebuah tali bandul unting-unting tergantung pada pengait di ujung bawah sumbu memakai simpul-luncur untuk menaikkan atau menurunkan bandul tanpa mengikatkan kembali dan menghindari simpul. Sebuah alat luncur kecil juga dapat membantu maksud ini. Bandul unting-unting harus dipasang langsung di atas titik tertentu misalnya paku di patok kayu, dan kemudian piringan didatarkan. Kaki-kaki tiga dapat digerakkan masuk, ke

luar atau ke samping untuk mendatarkan piringan secara kasar sebelum sekrup-sekrup penyetel dipakai. Menggeser kaki mempengaruhi kedudukan bandul unting-unting dan membuatnya lebih sulit memasang transit daripada memasang alat sipat datar.

Ada dua cara untuk memasang bandul agar berada dalam batas  $\frac{1}{4}$  in sekitar titiknya yang benar. Pada cara pertama, transit dipasang di atas titik dan satu kaki atau lebih digerakkan untuk membawa bandul ke kedudukannya. Satu kaki mungkin harus digerakkan pada arah keliling agar piringan dapat mendarat tanpa banyak mengganggu pemusatan. Para pemula kadang-kadang mengalami kesulitan dengan cara ini karena pada awalnya sumbu I transit terlalu jauh meleset dari titiknya, atau piringan terlalu miring. Beberapa gerakan kaki tiga kemudian dapat gagal mendatarkan piringan maupun memusatkan bandul sambil menjaga agar tinggi pemasangan tetap baik. Jika dipakai kaki yang bisa diatur panjangnya, satu atau dua kaki dapat dipanjangkan atau dipendekkan agar bandul terpasang tepat di titiknya.

Dalam cara kedua, yang khususnya cocok untuk mendatarkan alat di tanah miring seragam, transit dipasang dekat titiknya dan piringan-piringan didatarkan secara kasar dengan menggerakkan kaki tiga seperlunya. Kemudian, dengan satu kaki dipegang tangan kiri, satu lagi di ketiak kiri dan yang ketiga diangkat dengan tangan kanan, transit diangkat dan ditempatkan pada titiknya. Sedikit geseran sebuah kaki seharusnya dapat menempatkan bandul unting-unting dalam batas jarak mungkin  $\frac{1}{4}$  in terhadap kedudukan yang benar dan piringan praktis sudah datar.

Pemusatan dilaksanakan secara tepat dengan mengendorkan keempat sekrup penyetel dan meluncurkannya di bidang dasar memakai alat penggeser yang bersendi peluru yang memungkinkan gerakan terbatas. Agar dapat bergerak ke segala jurusan, ujung atas alat penggeser harus kurang lebih terpusat di piringan bawah sebelum pemasangan instrumen, dan bila menyimpannya dalam kotak.

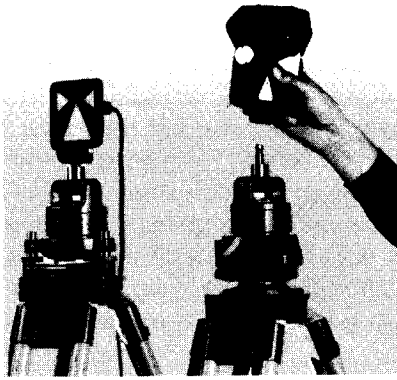
Transit didatarkan secara teliti memakai keempat sekrup penyetel dengan cara yang hampir sama dengan untuk alat sipat datar. Tetapi tiap tabung nivo di piringan atas pertama-tama dipasang di atas dua sekrup penyetel yang berhadapan, dan karena ada dua tabung nivo, kedudukan teropong tak perlu dirobah selama proses mendatarkan. Setelah gelembung-gelembung diseimbangkan dengan hati-hati dan teropong diputar, bila gelembung menyimpang terlalu jauh, mungkin perlu atau lebih baik mengatur tabung nivo seperti dijelaskan dalam Paragraf A-6.1.

Jika bandul unting-unting masih tepat pada tanda titiknya setelah mendatarkan instrumen, maka instrumen siap untuk dipakai. Tetapi bila piringan amat tidak datar, atau sekrup-sekrup penyetel tidak terputar seragam, pemusatan akan meleset dari titiknya selama mendatarkan. Sekru-sekrup kemudian harus dikendorkan dan digeser lagi, serta transit didatarkan kembali. Jelaslah bahwa waktu dapat dihemat kalau mulai dengan piringan cukup datar untuk menghindari putaran sekrup penyetel terlalu banyak hingga kehabisan galur ulir daripada sekrupnya.

## BAGIAN II TEODOLIT

**10-11. SIFAT-SIFAT TEODOLIT.** Dalam penampilan umum teodolit berbeda dengan transit Amerika (ringkas, ringan dan "ramping") dan dalam rancangan karena berbagai ciri, di antaranya yang penting adalah sebagai berikut:

1. *Teropongnya* pendek, mempunyai benang silang digoreskan pada kaca, dan dilengkapi dengan alat bidikan senapan atau kolimator untuk pengarah kasar.
2. *Lingkaran-lingkaran horisontal dan vertikal* dibuat dari kaca dengan garis-garis pembagian skala dan angka digoreskan di permukaannya. Garis-garisnya amat tipis



Gambar 10-8. Kerangka-bawah-teodolit baku untuk kebanyakan teodolit dirancang untuk saling tukar dengan berbagai alat tambahan. Di sini kerangka-bawah teodolit ditunjukkan cocok dengan sasaran bidik (kiri) dan pemantul EDM (kanan). (Atas kebaikan Wild Heerbrugg Instruments, Inc.).

(0,004 mm), pendek (0,05 sampai 0,10 mm) dan lebih jelas tajam daripada hasil goresan pada logam. Lingkaran-lingkaran bergaris tengah kecil dengan pembagian skala saksama dapat dibuat dan inilah alasan mengapa instrumen demikian ringkas. Lingkaran-lingkaran dibagi dalam derajat sexagesimal konvensional dan bagian-bagiannya ( $360^\circ$ ), atau dalam "grades" sentesimal (lingkaran penuh dibagi menjadi  $400^\circ$ ).

3. *Lingkaran vertikal* kebanyakan teodolit diberi penunjuk saksama terhadap arah gaya tarik bumi dengan satu dari dua cara: (a) dengan sebuah pemampas otomatis atau (b) dengan *nivo kolimasi* atau *nivo lingkaran vertikal*, biasanya jenis ujung gelembung-berimpit dihubungkan dengan sistem pembacaan lingkaran vertikal. Keduanya menyebabkan adanya bidang acuan yang lebih teliti untuk pengukuran sudut vertikal daripada nivo piringan yang dipakai pada transit.

4. *Sistem-sistem pembacaan* lingkaran pada dasarnya terdiri atas sebuah mikroskop dengan optika di dalam instrumen. Sebuah okuler pembacaan biasanya ada di dekat okuler teropong atau ditempatkan di salah satu penopang. Beberapa instrumen memiliki mikrometer optis untuk pembacaan pecahan interval lingkaran (pembagian skala mikrometer dilihat melalui mikroskop-baca); sedangkan lainnya bersifat baca "langsung". Pada kebanyakan teodolit, ada sebuah cermin ditempatkan pada satu penopang yang dapat diatur untuk memantulkan sinar ke dalam instrumen dan menerangi lingkaran untuk pemakaian siang hari. Sistem pembacaan lingkaran dapat dilengkapi dengan sistem penerangan memakai baterai untuk pekerjaan malam hari dan di bawah tanah. Beberapa teodolit yang lebih baru juga memakai sistem penerangan memakai baterai pengganti cermin untuk pekerjaan siang hari.

5. Putaran mengelilingi *sumbu I* terjadi dalam tabung baja atau pada bola-bantalan-poros (precision ball bearings) saksama, atau gabungan keduanya.

6. *Bidang sekrup penyatel* terdiri dari tiga sekrup atau *roda sisir*.

7. *Dasar atau kerangka-bawah teodolit* sering dirancang agar instrumen dapat saling tukar dengan alat-alat tambahannya (sasaran, EDM, batang-ukur jarak, dan seterusnya) tanpa mengganggu pemusatan pada titik pengukuran. Gambar 10-8, misalnya, menunjukkan penempatan sasaran bidik dan sebuah pemantul EDM pada kerangka bawah teodolit.

8. *Pemusat optis*, terpasang ke dalam dasar atau alidade kebanyakan teodolit, menggantikan bandul unting-unting dan menyebabkan pemusatan dapat dilakukan dengan ketelitian tinggi.

9. *Kotak pembawa* untuk teodolit terbuat dari baja, logam campuran, atau plastik berat. Kotak pembawa biasanya ringkas, kedap air dan dapat dikunci.

10. *Alat-alat ukur jarak* dapat bersifat bagian permanen dan terpadu dari teodolit.

Lakimeter misalnya, adalah teodolit yang mengukur jarak lereng secara otomatis merubahnya menjadi komponen-komponen horizontal dan vertikal. Beberapa teodolit mempunyai alat EDM terpasang-tetap yang memungkinkan pengukuran jarak lereng, sudut sudut horizontal dan vertikal dengan sekali pemasangan alat (lihat Paragraf 5-6).

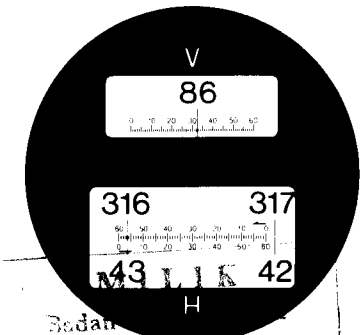
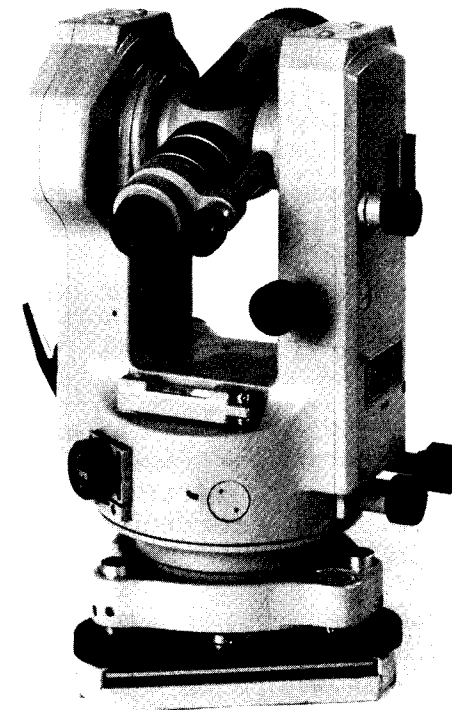
11. Berbagai *alat tambahan* meningkatkan kemampuan teodolit, sehingga dapat digunakan secara khusus misalnya pengamatan astronomis. Kompas lebih merupakan alat tambahan daripada bagian terpadu sebuah teodolit. Perlengkapan giroskopik adalah sangat mahal tetapi berharga untuk pemakaian-pemakaian tertentu.

12. *Kaki tiganya* jenis kerangka-lebar. Beberapa di antaranya dari logam dan mempunyai alat untuk mendatarkan secara kasar bagian atasnya dan pemusatan mekanik ("penguntingan") sehingga tak perlu bandul unting-unting atas pemusatan optis.

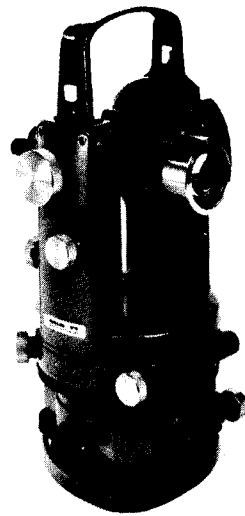
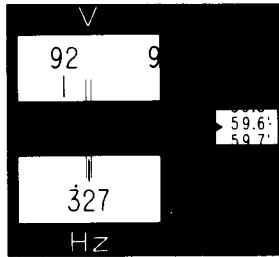
10-12. **TEODOLIT REPETISI.** Teodolit dibagi menjadi dua kategori dasar: jenis *repetisi* (atau *pusat rangkap*) dan model *arah* (raiterasi atau *triangulasi*). Teodolit repetisi dilengkapi dengan sistem sumbu tegak rangkap (serupa dengan transit Amerika tetapi biasanya berbentuk silindris) atau sebuah pengunci repetisi. Seperti pada transit Amerika, rancangan ini menyebabkan sudut-sudut dapat diulang beberapa kali dan langsung ditambahkan pada lingkaran instrumen.

Gambar 10-9 dan 10-10 memperlihatkan contoh teodolit jenis repetisi. Sistem pembacaan optis tiap instrumen ditunjukkan pada gambar-gambar sisipan kecil. Masing-masing teodolit ini dapat dibaca langsung ke menit terdekat, dengan kemungkinan menaksir sampai 0,1 menit. Kedua instrumen mempunyai pemampas lingkaran vertikal yang otomatis.

Gambar 10-9. Teodolit repetisi Lietz TS6. (Atas kebaikan Lietz Company).



Badan  
Sasaran Jawa Timur



Gambar 10-10. Teodolit repetisi T-1. (Atas kebaikan Wild Heerbrugg Instruments, Inc.)

teropong dengan okuler standar perbesaran 30X, pemusatan optis dan kepekaan gelembung nivo lingkaran 30 sekon/2-mm pembagian skala.

Sistem pembacaan teodolit Lietz TS6 pada Gambar 10-9 terdiri atas pembagian skala pada kaca dengan bentang  $1^\circ$  yang nampak ditindihkan pada pembagian derajat-derajat lingkaran utama. Skala ini dibaca langsung dengan mikroskop yang okulernya terletak di sebelah teropong. Untuk membaca, hanya perlu mengamati angka derajat mana terletak dalam bentang  $1^\circ$  skala kaca dan memilih menit yang ditunjukkan oleh tanda penunjuk (indeks). Pembacaan-pembacaan lingkaran vertikal dan lingkaran horisontal searah jarum jam untuk TS6 pada Gambar 10-9 adalah berturut-turut  $86^\circ 32,5'$  dan  $316^\circ 56,5'$  (Pembacaan lingkaran horisontal lawan arah jarum jam adalah  $43^\circ 03,5'$ ). Jadi pada instrumen ini lingkaran-lingkaran vertikal dan horisontal dapat diamati dan dibaca serentak melalui mikroskop baca.

Sistem pembacaan Wild T-1 pada Gambar 10-10 terdiri atas sebuah mikrometer optis. Untuk membaca, pengamat pertama harus menepatkan tanda acuan antara dua garis tanda derajat dengan memutar tombol mikrometer. Mikrometer menempuh  $1^\circ$  pada lingkaran utama dan dengan menempatkan tanda acuan bagian menit sudut dapat dibaca pada jendela mikrometer di sebelah kanan bidang pemandangan mikroskop baca. Sudut horisontal yang ditunjukkan dalam Gambar 10-10 adalah sebesar  $327^\circ 59,6'$ . Mikrometer harus dipasang lagi untuk membaca sudut vertikal.

**10-13. TEODOLIT REITERASI.** Teodolit arah (reiterasi) adalah jenis instrumen tanpa-ulang yang tak mempunyai gerakan bawah. Yang dibaca lebih baik disebut "arah" daripada sudut. Setelah dibuat bidikan pada sebuah titik, arah garis dibaca pada lingkaran. Pengamatan ke titik berikutnya, menghasilkan arah baru, sehingga sudut antara dua garis adalah arah kedua dikurangi arah pertama.

Teodolit reiterasi mempunyai sumbu vertikal tunggal dan karenanya tak dapat mengukur sudut dengan metode repetisi. Tetapi teodolit ini mempunyai *gerakan orientasi-lingkaran* untuk membuat pemasangan kasar lingkaran horisontal pada kedudukan sembarang yang dikehendaki.

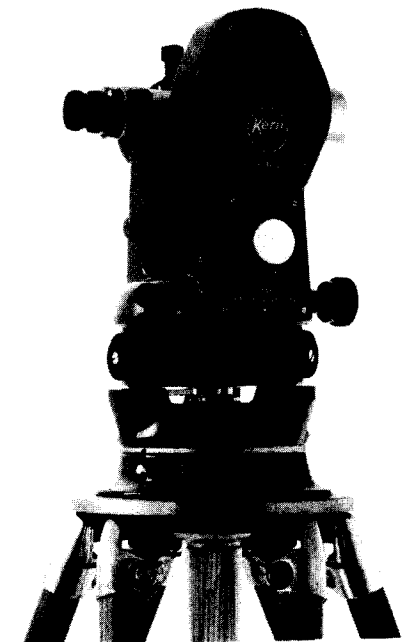
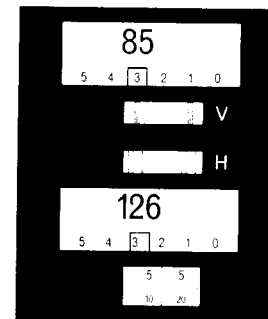
Pada semua teodolit reiterasi tiap pembacaan merupakan *harga menengah* dari dua pihak pembacaan berlawanan diametris pada lingkaran, dimungkinkan karena pengamat dengan serentak mengamati kedua pihak tadi melalui optika dalam. Prosedur pembacaan ini, sama dengan memukul rata pembacaan-pembacaan nonius A dan B pada transit, secara otomatis memampas galat simpang-pusat (eccentricity) (lihat Paragraf 11-18.1).

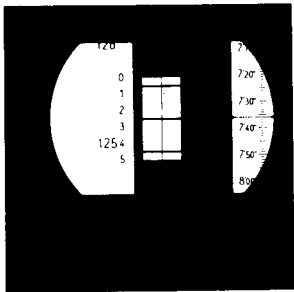
Teodolit reiterasi biasa misalnya pada Gambar 10-11 dan 10-12. Masing-masing mempunyai mikrometer yang memberikan pembacaan lingkaran-lingkaran horisontal dan vertikal langsung sampai 1 sekon, dengan kemungkinan perkiraan sampai 0,1 sekon terdekat. Keduanya mempunyai pemampas otomatis untuk orientasi lingkaran vertikal, pemusat optis dan gelembung nivo lingkaran dengan kepekaan 20 sekon/2-mm pembagian skala.

Gambar sisipan masing-masing menunjukkan sistem pembacaan lingkaran instrumen lingkaran-lingkaran vertikal dan horisontal pada DKM2-A (lihat Gambar 10-11) membawa dua pembagian skala sepusat, sebuah dengan pembagian skala garis-tunggal, lainnya dengan pembagian skala sistem garis-rangkap. Mikroskop-baca lingkaran menunjukkan bagian sebuah pembagian skala, menindih pada bagian lawan-diametris yang lain. Dalam membaca sudut, pengamat memutar tombol instrumen optis untuk menggeserkan kedua pembagian skala sehingga skala tunggal nampak tepat di antara kedua garis rangkap. Sewaktu mikrometer diputar, ada gerakan serentak sebuah *tahan-medan* (field stop), yang merangkum angka pembagian 10 menit dalam pembacaan. Pemusatan dengan mikroskop harus dikerjakan secara terpisah untuk lingkaran horisontal dan lingkaran vertikal.

Dalam Gambar 10-11, mikrometer telah dipasang untuk membaca lingkaran vertikal sehingga garis tunggal pembagian skala ditepatkan antara garis rangkap pada jendela bertanda V. (Perhatikan bahwa garis tidak ditepatkan pada jendela H). Pembacaan adalah  $85^\circ$  (terlihat langsung di jendela atas) ditambah  $3 \times 10$  atau 30 menit (3 adalah yang terambil dari kerangka tahan-medan di jendela itu juga), ditambah  $5' 14,0''$  (dari jendela bawah). Jadi pembacaan lingkaran vertikal adalah  $85^\circ 35' 14,0''$ . Kedudukan mikrometer harus diulangi sebelum memutuskan untuk mencatat 14 sekon dan bukan 13 atau 15 sekon.

Gambar 10-11. Teodolit reiterasi DKM2-A. (Atas kebaikan Kern Instruments, Inc.)





Gambar 10-12. Teodolit reiterasi Th-2. (Atas kebaikan Carl Zeiss Oberkochen).

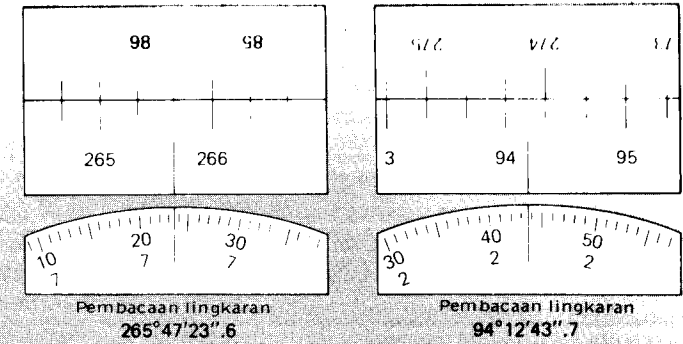
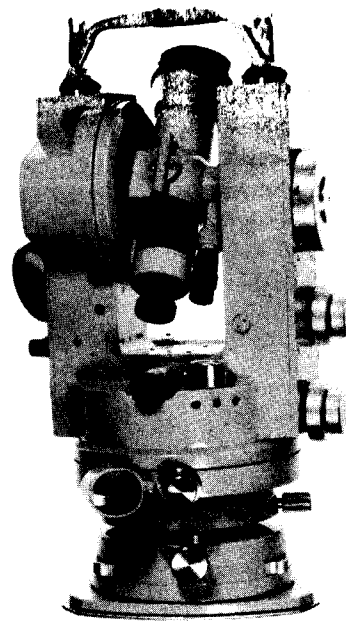
Sistem pembacaan pada Th-2 yang ditunjukkan pada Gambar 10-12 adalah serupa dengan sistem pada DKM2-A. Sebuah tombol pemilih memungkinkan melihat salah satu, atau lingkaran horisontal atau lingkaran vertikal lewat mikroskop; kedua lingkaran tak dapat dilihat serentak. Jendela tengah pada Gambar 10-12 menunjukkan pembagian skala pada bagian lingkaran yang berlawanan-letak diametris. Mikrometer telah diatur untuk pembacaan dengan jalan mengimpitkan garis pembagian skala yang berlawanan, dan dalam kedudukan itu angka yang bersangkutan pada kelipatan 10 menit dalam pembacaan ditunjukkan dalam jendela kiri langsung di sebelah angka derajat. Bagian-bagian menit dan sekon pembacaan diambil dari jendela paling kanan. Jadi sudut yang ditunjukkan dalam Th-2 adalah  $125^\circ$ , ditambah  $4 \times 10$  menit (keduanya dari jendela kiri), ditambah  $7'36''$  (pada jendela kanan), memberikan pembacaan akhir sebesar  $125^\circ 47'36''$ .

Sistem pembacaan pada versi-lama teodolit reiterasi T-2 yang banyak dipakai dijelaskan pada Gambar 10-13. Dalam susunan ini, lingkaran dibagi menjadi selang-selang 20-menit dan tanda-tanda derajat bulat diberi angka.

Pembacaan diperoleh dengan memutar tombol mikrometer agar garis-garis pembagian (yang bergerak pada arah yang berlawanan) berimpit. Karena diperoleh pembacaan purata dari dua pihak lingkaran, masing-masing pembagian skala dihitung sebagai 10 menit agar nanti tak perlu membagi dua. Jangkauan mikrometer terbatas sampai 10 menit. Serangkaian angka yang nampak terbalik adalah angka yang berada di pihak berlawanan pada lingkaran.

Dalam Gambar 10-13, terbaca arah  $265^\circ 40'$  dihitung pada jumlah pembagian (4) antara  $265^\circ$  dan pembagian yang berlawanan diametris yaitu  $85^\circ$ . Skala mikrometer memberikan menit dan sekon tambahan – dalam contoh ini sebesar  $7'23,6''$ . Lingkaran vertikal, dibaca dengan cara yang sama, melengkapi dengan jarak zenit (penyiku sudut vertikal) untuk menghindari perlunya tanda.

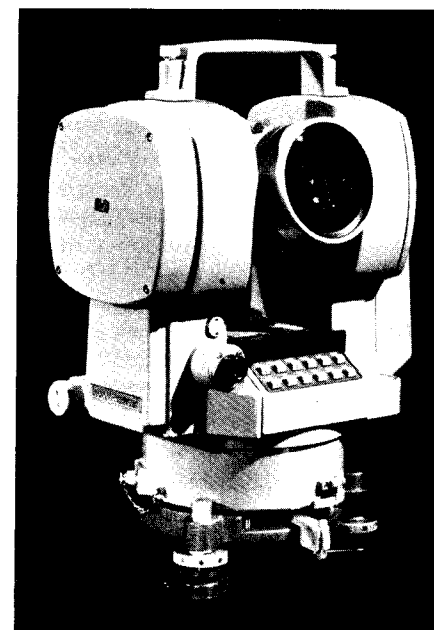
Sebuah tambahan instrumen reiterasi amat saksama yang dipakai untuk triangulasi orde-pertama yaitu DKM-3, diperlihatkan dalam Gambar 20-8.



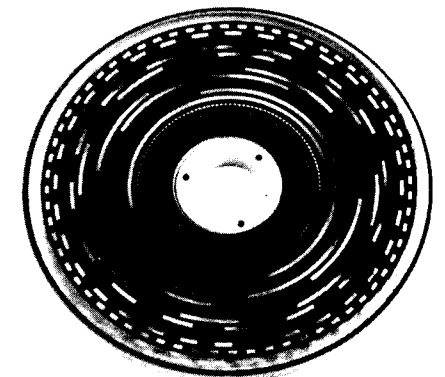
Gambar 10-13. Sistem pembacaan lingkaran horisontal versi teodolit reiterasi T-2 yang lebih tua.

**10-14. TEODOLIT DIGITAL ELEKTRONIK.** Kemajuan-kemajuan teknologi modern akhir-akhir ini mendorong produksi teodolit digital elektronik yang secara otomatis dapat membaca dan merekam sudut-sudut horisontal dan vertikal. Alat ini dapat dipakai khusus untuk pengukuran sudut, namun seringkali digabung dengan sebuah EDM dan mikrokomputer untuk menghasilkan apa yang disebut instrumen *stasiun-kotah* seperti HP 3820 yang diperlihatkan pada Gambar 10-14. Satuan-satuan stasiun-kotah kadang-kadang juga disebut *takimeter elektronik*, (lihat Paragraf 5-6).

Gambar 10-14. Instrumen stasiun-kotah Hewlett-Packard 3820, yang menggabungkan teodolit digital elektronik dan EDM. (Atas kebaikan Hewlett-Packard Co.)



Gambar 10-15. Lingkaran ukur dari kaca dengan tondihan pada lapisan logam untuk pemecahan sudut secara otomatis dalam instrumen stasiun-kotah HP 3820. (Atas kebaikan Hewlett-Packard Co.)



Rancangan teodolit digital elektronik mirip dengan rancangan teodolit biasa yang di bicarakan dalam paragraf-paragraf sebelumnya. Perbedaan yang mendasar adalah kemampuannya untuk secara otomatis menemukan harga-harga sudut dan mengujukkannya ke luar dalam bentuk digital, karenanya tak perlu membaca lingkaran lewat mikroskop. Untuk mengunjukkan dapat dipakai diode pancar-sinar (LEDs) atau diode kristal-cair (LCDs). Yang terakhir ini memerlukan tenaga-lebih kecil tetapi perlu penerangan untuk pembacaan malam hari.

Metode-metode untuk memperoleh pengukuran sudut secara otomatis agak berbeda pada instrumen-instrumen ini, tetapi sistem yang dipakai dalam HP 3820 dapat dijadikan contoh dan dibicarakan dengan singkat di sini. Lingkaran ukur dari kaca terlihat dalam Gambar 10-15 mempunyai pola lapisan logam yang unik. Seberkas sinar diarahkan lewat lingkaran itu dan terik (intensity) yang melewatinya berbeda karena timbrungan (interference) di dalam pola. Fotodiode mengukur terik berbeda ini dan merubahnya menjadi arus listrik, yang pada gilirannya dirubah oleh komputer di dekatnya untuk menghasilkan kedudukan-kedudukan sudut berkas sinar pada lokasi berbeda dalam lingkaran. Sistem ini mirip dengan yang sekarang dipakai pada mesin belanjaan (checkout machines) otomatis dalam toko pangan dan toko serba ada yang modern, yang bekerja dengan melewati berkas sinar melalui pola unik garis-garis hitam yang berbeda ketebalan dan selangnya.

Baik lingkaran horisontal maupun vertikal pada HP 3820 dilengkapi dengan sistem yang baru saja disebutkan tadi dan dapat menentukan sudut dengan ketelitian sampai batas  $\pm 3$  sekon. Hasilnya diunjukkan secara visual dalam instrumen tetapi dapat pula direkam secara otomatis dalam sebuah alat memori tahana-padat (solid state). Beberapa instrumen lain memakai alat simpan pita-magnetik. Sekali terkumpul, data dapat langsung dipindahkan ke sistem komputer untuk pengolahan.

**10-15. PENANGANAN DAN PEMASANGAN TEODOLIT.** Teodolit harus diangkat hati-hari dari kotak pembawanya dengan genggaman pada penopang (beberapa instrumen yang lebih baru dilengkapi dengan pegangan untuk maksud ini), dan instrumen dipasang kokoh pada kaki tiga memakai kerangka bawah (tribrach). Kaki tiga bersama instrumen ditempatkan pada titik di tanah dengan cara yang dijelaskan untuk pemasangan transit (lihat Paragraf 10-10). Para pemula dapat memakai bandul unting-unting untuk mendekati kedudukan pemasangan yang diperlukan. Pemusatan tepat pada titiknya dikerjakan dengan pemusatan optis, yang mempunyai garis bidik tertuju ke bawah berimpit dengan sumbu I teodolit. Instrumen harus didatarkan dengan nivonya agar pemusatan optis dapat menentukan garis vertikal. Kebanyakan kerangka bawah teodolit mempunyai nivo kotak yang nisbi tak peka, untuk mendatarkan awal secara kasar sebelum mulai mendatarkan tahap akhir dengan gelembung nivo lingkaran. Beberapa kerangka bawah juga mempunyai pemusat optis.

Proses pemasangan memakai instrumen dengan pemusat optis, pasangan kerangka bawah dengan nivo kotak dan kaki tiga yang dapat diatur panjangnya adalah paling mudah dilaksanakan dalam langkah-langkah seperti berikut: (a) aturlah kedudukan kaki tiga dengan mengangkat dan menggerakkan instrumen secara keseluruhan sehingga titiknya dekat dengan garis bidik pemusat optis; (b) tanamkan ujung kaki dan imbangkan gelembung nivo kotak dengan mengatur panjangnya kaki tiga (titiknya masih akan tetap di dekat garis bidik pemusat optis); (c) datarkan instrumen memakai nivo piringan dan sekrup penyetel, dan (d) kendorkan sekrup kerangka bawah geserkan instrumen (jangan memutarinya) hingga tepat terpasang titiknya pada benang silang pemusat optis. Ulangi langkah (c) dan (d) sehingga diperoleh pemusatan dan keseimbangan nivo yang sempurna. Sebelum mulai, instrumen harus dipusatkan di bidang atas kaki tiga agar pergeseran dapat maksimum [langkah (d)] ke segala arah.

Sudah dikemukakan bahwa teodolit mempunyai sebuah bidang tiga-sekrup penyetel dan sebuah gelembung nivo piringan tunggal. Untuk mendatarkan instrumen, nivo piringan ditempatkan sejajar garis melalui sembarang dua sekrup penyetel, dan nivo diseimbangkan dengan dua sekrup ini, kemudian diputar  $90^\circ$  diseimbangkan hanya dengan sekrup ketiga saja. Proses ini diulang dan dengan cermat dicek untuk meyakinkan bahwa gelembung tetap seimbang. (Sebagaimana halnya dengan transit dan alat sipat datar, *gelembung bergerak dalam arah ibu jari kiri bila sekrup penyetel diputar*). Pemasangan kaki tiga yang kokoh adalah penting untuk teodolit yang mempunyai gelembung amat peka, dan instrumen harus dilindungi penebus jika dipasang di terik matahari; kalau tidak, gelembung akan mengembang dan bergerak ke arah ujung yang lebih hangat bila instrumen kena panas.

## SOAL-SOAL

- 10-1. Sebutkan perbedaan-perbedaan yang mendasar antara transit dan teodolit.
- 10-2. Jelaskan bagaimana dan mengapa sumbu dan pusat-ganda meruncing pada transit Amerika dapat tepat dan terpusat baik, kecuali bila rusak.
- 10-3. Mengapa transit atau teodolit seharusnya tidak diangkat dengan memengangnya pada teropong?
- 10-4. Tindakan hati-hati apakah yang harus diambil menghadapi instrumen yang sekrup penyetelnya terpasang pada lekukan?
- 10-5. Mengapa dipakai dua buah tabung nivo piringan pada sebuah transit dan bukan sebuah?
- 10-6. Apakah tujuan mengendorkan mur bersayap pada kaki tiga transit atau teodolit sebelum pemasangan?
- 10-7. Buatlah sketsa lingkaran transit terbagi menjadi selang-selang 5 menit dan sebuah nonius yang dapat dipakai untuk membacanya sampai 10 sekon terdekat.
- 10-8. Gambarkan lingkaran dan nonius dengan pembagian skala grad yang dapat dibaca sampai  $\frac{1}{8}$  grad.
- 10-9. Tentukan satuan nonius untuk gabungan skala utama dan nonius berikut ini:
  - (a) Limabelas pembagian skala pada nonius transit meliputi 14 pembagian skala utama 5 menit.
  - (b) Tigapuluh pembagian skala pada nonius transit meliputi 29 pembagian skala utama 30 menit.
  - (c) Sepuluh pembagian skala pada nonius bujur derajat meliputi 9 pembagian skala utama  $2^\circ$ .
- 10-10. Uraikan perbedaan-perbedaan dasar antara teodolit repetisi dan teodolit reiterasi.
- 10-11. Jelaskan prosedur mendatarkan teodolit yang mempunyai tiga sekrup penyetel dan nivo-piringan tunggal.
- 10-12. Jelaskan berbagai bentuk benang-silang yang terdapat pada transit dan teodolit. Jelaskan kebaikan atau tujuan masing-masing rancangan.
- 10-13. Apakah alasan-alasan dipakainya prisma okuler pada transit atau teodolit?
- 10-14. Sebutkan beberapa keuntungan dan kerugian pemusat optis dibanding dengan bandul unting-unting.
- 10-15. Jelaskan "jalannya mikrometer" pada teodolit reiterasi.
- 10-16. Dapatkah metode repetisi dipakai untuk mengukur sudut vertikal dengan transit atau teodolit? Uraikan.
- 10-17. Terangkan mengapa teodolit reiterasi tak dapat dipakai untuk mengukur sudut horisontal dengan repetisi.
- 10-18. Sebutkan dan jelaskan sebuah instrumen yang dipakai untuk menempatkan dengan teliti sebuah teodolit di puncak menara, tepat di atas stasiun di tanah.
- 10-19. Apakah teodolit giroskopik itu, dan di mana alat ini dapat dipakai paling menguntungkan?



10 20. Terangkan bagaimana instrumen stasion kotah Hewlett Packard 3820 dapat mengukur sudut secara otomatis.

## DAFTAR PUSTAKA

- Haller, R. 1963. "Sistem-sistem sumbu Teodolit—Rancangan, Pembuatan dan Kesaksamaannya". *Surveying and Mapping*, 23 (no. 4): 575.
- Kissam, P. 1961. "Ketelitian Lingkaran, nilainya bagi Insinyur dan Manfaat Pemakaiannya". *Surveying and Mapping* 21(no. 2): 193
- Kivioya, L.A., dan J.E. Petty. 1973. "Guncangan Sumbu Horisontal Teodolit". *Surveying and Mapping* 33(no. 4): 481.
- McDonnell, P.W., Jr. 1982. "Pengukuran Transit/Teodolit". *Point of Beginning* 7(no. 6): 14.
- . 1982. "Pengukuran Transit/Teodolit, Bagian II". *Point of Beginning* 8(no. 1): 18.

# 11

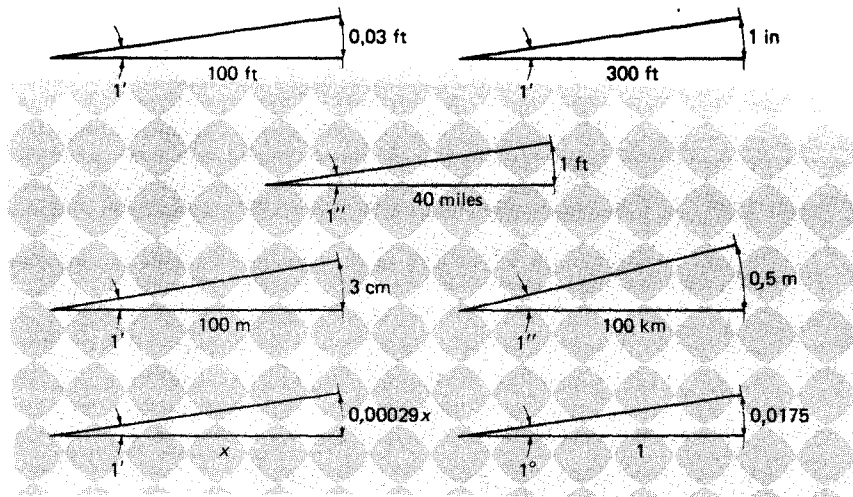
## PEKERJAAN LAPANGAN DENGAN TRANSIT DAN TEODOLIT

**11-1. PENGANTAR.** Seperti telah disebutkan dalam Paragraf 10-1, transit (teodolit kompas) dan teodolit terutama dipakai untuk pengukuran sudut-sudut horisontal dan vertikal. Dalam beberapa kasus, harga-harga sudut yang tak diketahui harus ditentukan sehingga kedudukan titik-titik dapat dihitung; dalam kasus-kasus lain, sudut-sudut yang diketahui harus diukurkan (dipasang) untuk menetapkan titik-titik di lokasi tertentu yang diberikan dalam rencana konstruksi. Memanjangkan garis lurus, sipat datar memanjang (lihat Bab 6), pengukuran jarak horisontal dan vertikal secara optis (lihat Bab 15), dan pemasangan pancang pelurusan adalah tugas-tugas lain di mana transit dan teodolit biasa dipakai.

Metode-metode pengukuran sudut dan memanjangkan garis lurus itu berbeda-beda tergantung jenis instrumen yang dipakai (repetisi atau reiterasi) serta persyaratan dan kebutuhan khusus pengukuran-pengukuran yang berbeda. Metode yang beraneka ragam itu dibicarakan dalam bab ini.

**11-2. HUBUNGAN SUDUT DAN JARAK.** Pengukuran dengan kualitas terbaik dihasilkan bila ada kebersamaan antara ketelitian sudut-sudut terukur dan jarak-jarak terukur. Untuk memilih instrumen dan prosedur pengukuran yang perlu untuk mencapai kepanggaan, dan mengevaluasi pengaruh-pengaruh galat dari berbagai sumber, ada manfaatnya mengingat hubungan antara sudut dan jarak yang diberikan di sini dan dijelaskan dalam Gambar 11-1.

busur  $1' = 0,03$  ft pada 100 ft, atau 3 cm pada 100 m (pendekatan)



Gambar 11-1. Hubungan sudut dan jarak.

busur  $1'' = 1 \text{ ft}$  pada 40 mil, atau  $0,5 \text{ m}$  pada 100 km (pendekatan)

$$\sin 1' = \text{tg } 1' = 0,00029 \text{ (pendekatan)}$$

$$\sin 1^\circ = \text{tg } 1^\circ = 0,0175 \text{ (pendekatan)}$$

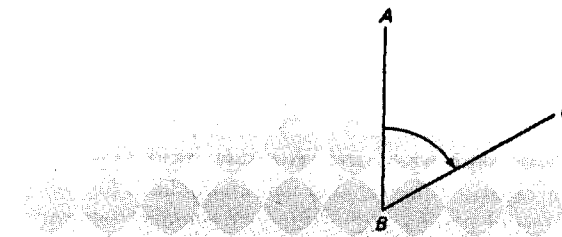
Sesuai dengan hubungan-hubungan tersebut di atas, kira-kira galat 1 menit akan dihasilkan dalam sebuah sudut yang diukur bila garis bidik meleset sebesar 1 in pada jarak 300 ft. Ini menggambarkan pentingnya kesaksamaan pemasangan instrumen dan sasaran di atas titiknya masing-masing, terutama bila terdapat bidikan-bidikan jarak pendek. Jika sebuah sudut diharapkan teliti sampai batas  $\pm \frac{1}{2}$  menit untuk bidikan 500 ft, maka jaraknya harus benar dalam batas  $500 \times (0,00029/2) = \pm 0,07 \text{ ft}$  agar sesuai. Untuk memahami kemampuan saksama sebuah teodolit mutu-tunggi, sebuah pembacaan instrumen sampai 0,1 sekon terdekat, secara teoritis mampu mengukur sudut antara dua titik yang terpisah kira-kira 1 in sejauh 40 mil! (Tetapi seperti telah dibicarakan dalam Paragraf 11-4, galat-galat dalam pemusatan instrumen, membidik titik, dan membaca lingkaran membuat sulit, bila bukan tak mungkin, untuk benar-benar mencapai ketelitian ini).

**11-3. MENGUKUR SUDUT HORIZONTAL DENGAN TRANSIT.** Sudut-sudut horisontal diukur memakai transit dengan menggunakan pengunci atas, pengunci bawah dan sekrup penggerak halus. Pengunci lingkaran-vertikal dan sekrup penggerak halus dipakai untuk membawa obyek yang dibidik ke pusat bidang pemandangan.

Para pemula mungkin memperoleh manfaat bila mengingat ketentuan-ketentuan berikut ini mengenai pemakaian pengunci atas dan pengunci bawah:

1. Pengunci bawah hanya dipakai untuk bidikan belakang.
2. Pengunci atas dipakai untuk mengatur piringan menjadi nol, atau sembarang sudut yang diinginkan dan untuk bidikan depan.

Pengunci atas dan sekrup penggerak halus dipakai untuk mengatur tepat  $0^\circ 00'$  (atau sembarang harga diinginkan) pada piringan sebelum membidik senaingan garis acuan dan



Gambar 11-2. Mengukur sebuah sudut.

untuk memperoleh gerakan geser antara piringan-piringan bila bidikan depan. Dengan perkataan lain pengunci bawah dan sekrup penggerak halus dipakai untuk membawa garis bidik ke sepanjang garis acuan, dari mana sudut akan diukur. Prosedur langkah demi langkah untuk mengukur sudut langsung (sudut dalam)  $ABC$  pada Gambar 11-2 diringkaskan untuk menggambarkan bekerjanya gerakan atas dan gerakan bawah.

1. Pasanglah instrumen pada titik  $B$  dan datarkan. Kendorkan kedua gerakan. Perkirakan besarnya sudut sebagai pengecekan harga yang akan diperoleh.
2. Aturlah lingkaran agar terbaca mendekati nol dengan jalan memegang piringan atas sambil memutar piringan bawah dengan memberi tekanan arah singgung bagian bawahnya. Kunci pengunci atas (cukup ketat tetapi tidak seperti ketatnya mur dan baut). Piringan atas dan bawah sekarang terikat satu sama lain.
3. Tempatkan tanda penunjuk nonius tepat pada pembacaan nol memakai sekrup penggerak halus atas. Pakailah selalu putaran positif (searah jarum jam) untuk menetapkan akhir sekrup penggerak halus. Jika nol diputar melewati titiknya, undurkan kembali dan selalu selesaikan dengan gerakan positif. Ini mencegah *lecutan-balik* (lepasnya tegangan pegas yang dapat merubah kedudukan piringan).
4. Bidiklah titik  $A$  lewat teropong. Tepatkan benang silang vertikal pada, atau hampir pada garis tengah anjir atau obyek lain yang menandai  $A$  dengan memutar instrumen memakai kedua tangan pada tepi piringan atau penopang-penopang (bukan pada teropong).
5. Kunci pengunci bawah. Piringan bawah sekarang terikat pada tampuk (socket).
6. Tempatkan benang silang tepat pada sasaran dengan jalan memutar sekrup penggerak halus bawah, diselesaikan dengan gerakan positif. Kedua gerakan sekarang terkunci satu sama lain, jadi terhadap sendi, piringan-piringan terbaca nol dan teropong terarah ke  $A$ . Karenanya transit sudah *terorientasi*, di mana garis bidik sudah pada arah yang diketahui dengan harga yang sesuai ( $0^\circ 00'$ ) pada piringan-piringan. Bacalah arah kompas untuk garis  $BA$ .
7. Kendorkan pengunci atas dan putarlah piringan hingga benang vertikal pada atau hampir pada titik  $C$ . Piringan bawah yang mempunyai lingkaran-berpembagian skala masih terikat pada tampuk, dan garis-pembagian nol masih terarah ke  $A$ . Ketatkan pengunci atas.
8. Tempatkan benang vertikal tepat pada sasaran  $C$  dengan memutar sekrup gerak halus atas.
9. Bacalah sudut pada piringan, memakai nonius di muka tanda nol (pada arah jarum jam yang sama dengan putaran sudut). Bacalah sudut arah kompas untuk garis  $BC$ . Sudut agar dicek dengan membandingkan harga terukur terhadap sudut yang dihitung dari sudut arah kompas.

Karena pemasangan instrumen, kejelasan garis, sasaran-sasaran yang dibidik dan sebagainya, telah siap, sedikit saja waktu tambahan yang diperlukan untuk pengukuran ulang yang merupakan pengecekan, menghilangkan galat-galat instrumental dan memberikan hasil yang lebih bisa dipercaya.

**11-4. MENGUKUR SUDUT DENGAN MEMAKAI INSTRUMEN REPETISI.** Jika sebuah sudut akan diukur dengan cara repetisi (diputar dua kali atau lebih), metode yang baru dibicarakan tadi dilaksanakan untuk pembacaan pertama. Kemudian dengan pembacaan untuk sudut pertama tetap pada lingkaran, dibidik lagi *A*, seperti tadi, *hanya memakai pengunci bawah dan sekrup penggerak halus agar tetap terpasang sudutnya*. Sekarang instrumen terorientasi di kedudukan awal, tetapi pada lingkaran tidak terbaca  $0^{\circ}00'$  melainkan harga sudut tunggal tadi.

Pengunci atas dikendorkan, titik *C* dibidik lagi, pengunci atas diketatkan, dan benang silang ditepatkan pada sasaran dengan sekrup penggerak halus atas. Sekarang pada lingkaran ada jumlah dua putaran pertama sudutnya. Proses ini dapat diteruskan sebanyak ulangan yang dikehendaki.

Transit atau teodolit harus didatarkan bila perlu setelah putaran sudut, tetapi *sekrup-sekrup pengatur tidak boleh dipakai antara bidikan belakang dan bidikan depan* seperti disyaratkan pada sipat datar memanjang. Sebaiknya banyaknya repetisi adalah bilangan genap, setengahnya dengan teropong *biasa* dan setengahnya lagi dengan kedudukan teropong *luar biasa*. Dengan kedudukan kebalikan ini dihilangkan pengaruh-pengaruh beberapa kemungkinan belum teraturnya instrumen seperti dibicarakan dalam Apendiks A. (Istilah lain untuk kedudukan teropong biasa dan luar biasa adalah *hadap kiri* dan *hadap kanan*, yang menunjukkan apakah lingkaran vertikal ada di kiri atau di kanan teropong).

Jumlah sudut yang terkumpul pada lingkaran dibagi dengan banyaknya repetisi menghasilkan sebuah harga purata. Jumlah sudut mungkin lebih besar dari  $360^{\circ}$ , sehingga perlu menambah kelipatan  $360^{\circ}$  pada pembacaan sebelum pembagian. Oleh karena itu, selalu lebih baik mencatat sudut tunggal setelah bidikan depan pertama.

Barangkali dianggap bahwa putaran sebuah sudut 10, 50 atau 100 kali akan menghasilkan harga yang makin baik, tetapi ini tidak benar. Pengalaman menunjukkan bahwa memakai sebuah transit 1-menit dengan sifat-sifat yang biasa, seorang pengamat rata-rata dapat mengarahkan instrumen (menepatkan benang vertikal) dalam batas ketelitian kira-kira 2 sampai 5 sekon.

Nonius 1-menit dapat dibaca sampai batas 30 sekon. Sebuah sudut pada piringan, misalnya sebesar  $42^{\circ}11'29''$  secara teoritis akan dibaca  $42^{\circ}11'$  oleh pengamat berpengalaman memakai kaca pembesar. Jika sudut pada piringan adalah  $42^{\circ}11'31''$ , barangkali akan diperoleh pembacaan sampai menit terdekat dari  $42^{\circ}12'$ . Dalam kasus tadi yang manapun, harga yang tercatat akan ada dalam batas 30 sekon dari harga yang benar.

*Bila transit dalam keadaan teratur, didatarkan, tepat dipusatkan dan dilayani seorang pengamat berpengalaman dalam keadaan yang cocok, hanya ada dua sumber galat dalam pengukuran sebuah sudut – pengarah teropong dan pembacaan piringan.* Untuk galat pengarah rata-rata 5-sekon dan penyimpangan maximum 30 sekon dalam pemasangan pada nol dan dalam membaca pembagian skala nonius 1-menit, banyaknya repetisi yang diperlukan untuk membuat imbangan antara pembacaan dan pengarah adalah kira-kira tujuh. Karena angka genap harus diambil untuk banyaknya repetisi pengukuran agar banyaknya kedudukan teropong biasa sama dengan kedudukan luar biasa, maka biasanya diambil enam atau delapan putaran.

Rumus umum untuk menghitung galat acak maksimum akibat dari sudut diulang, dapat

$$E = \frac{1}{N} \sqrt{E_0^2 + 2NE_p^2 + E_R^2} \quad (11-1)$$

di mana  $E_0$  adalah galat dalam penepatan pada nol,  $N$  banyaknya repetisi sudut,  $E_p$  galat dalam pengarah, dan  $E_R$  galat dalam pembacaan.  $E_0$  dan  $E_R$  sama dengan setengah satu an nonius atau sistem pembacaan.

#### CONTOH 11-1

Sebuah transit 1-menit dipakai dan sebuah sudut diukur dengan repetisi dua kali kedudukan biasa dan dua kali kedudukan luar biasa (2B, 2LB). Bila galat pengarah dianggap  $\pm 3$  sekon, hitunglah galat maksimum dalam sudut yang diharapkan. Bandingkan ini dengan galat yang diharapkan jika sudut diukur empat kali secara terpisah dan dipukul-rata.

#### PENYELESAIAN

Dengan mengabaikan galat-galat kecil pembagian skala piringan, masih ada dua galat pembacaan – pemasangan awal dan pembacaan akhir – namun delapan pengarah. Kemudian, dengan menganggap  $E_0$  dan  $E_R$  adalah  $\pm 30$  sekon, memakai Pers. (11-1) galat pada sudut yang diperoleh dengan repetisi adalah

$$\frac{1}{4} \sqrt{(30)^2 + 8(3)^2 + (30)^2} = \frac{1}{4}(43.3) = 10.8''$$

Jika diukur empat kali secara terpisah dan hasilnya dipukul-rata, galat acak maksimum, dari Pers.(2-12) menjadi:

$$E = \frac{1}{\sqrt{4}} \sqrt{(30)^2 + 2(3)^2 + (30)^2} = 21.3''$$

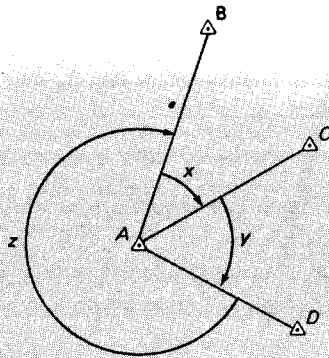
Jelaslah kiranya keuntungan metode repetisi.

*Sudut-sudut langsung*, diukur satu-satu atau dengan repetisi, biasa dipakai dalam pengukuran batas, pekerjaan hidrografik dan konstruksi.

**11-5. MENGUKUR SUDUT CARA KELILING (CLOSING THE HORIZON).** Mengukur sudut cara keliling adalah proses pengukuran sudut mengelilingi sebuah titik untuk memperoleh pengecekan pada jumlahnya yang harus sama dengan  $360^{\circ}$ . Sebagai contoh, jika dalam Gambar 11-3 hanya sudut-sudut  $x$  dan  $y$  yang diperlukan, lebih baik bila sudut  $z$  juga diputar untuk cara keliling di *A*. Metode itu merupakan cara mudah bagi para penula menguji pembacaan dan pengarah. Gambar 11-4 memperlihatkan halaman kiri catatan mencakup pengukuran sudut-sudut dalam Gambar 11-3. Pembacaan lingkaran diubah sedikit pada tiap bidikan belakang untuk memberikan latihan dalam membaca instrumen dan tujuan-tujuan pengecekan. Masing-masing sudut sendiri dihitung dengan mengurangi pembacaan sebelumnya.

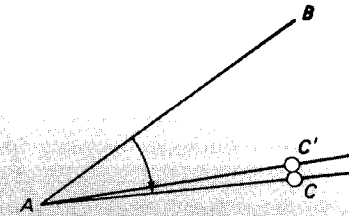
Selisih antara  $360^{\circ}$  dan jumlah sudut  $x$ ,  $y$  dan  $z$  disebut *kesalahan penutup horison*. Untuk contoh ini, besarnya adalah 02 menit. Harga kesalahan penutup yang dibolehkan akan menentukan apakah sebuah pekerjaan harus diulang.

Gambar D-7 memperlihatkan sebuah contoh susunan catatan menggambarkan pengukuran sudut memakai transit dengan repetisi mengukur keliling. Khususnya dalam susunan ini, nonius A diatur untuk terbaca nol hanya pada awal pekerjaan, dan seterusnya pembacaan akhir untuk masing-masing sudut – misalnya  $253^{\circ}13'00''$  – menjadi pembacaan awal untuk sudut berikutnya. Baik *kesalahan penutup nonius* (selisih antara pembacaan pembacaan nonius awal dan akhir) maupun kesalahan penutup horison diperoleh dengan prosedur yang ketat ini.



**11-6. MEMASANG SEBUAH SUDUT DENGAN INSTRUMEN REPETISI.** Untuk memasang sebuah sudut  $BAC$  sama dengan  $25^{\circ}30'$  dengan instrumen di titik  $A$  (Gambar 11-5), lingkaran dipasang pada nol dan titik  $B$  dibidik memakai gerakan bawah. Pengunci atas dikendorkan, teropong diputar hingga lingkaran terbaca  $25^{\circ}30'$ , dan pengunci atas diketatkan lagi. Garis bidik membentuk  $AC$  pada sudut yang benar dengan  $AB$ .

Untuk mengukur sudut  $BAC$  sama dengan  $25^{\circ}30'40''$  dengan repetisi memakai instrumen 1-menit, sebuah sudut  $BAC'$  sebesar  $25^{\circ}30'$  dipasang seperti yang dijelaskan



Gambar 11-5. Memasang sudut dengan repetisi.

sebelumnya dan ditandai titik  $C'$ . Sudut  $BAC'$  kemudian diukur dengan repetisi sebanyak diperlukan kesaksamaannya. Selisih antara sudut  $BAC'$  dan  $25^{\circ}30'40''$  dapat ditandai dengan mengukur jarak  $AC'$  dan menempatkan  $C$  memakai hubungan berikut: Jarak  $C'C = AC' \text{ tg } C'AC$ . Sudut  $BAC$  kemudian dapat diputar dengan repetisi sebagai pengecekan.

Dalam Gambar 11-5, jika sudut  $BAC'$  diketemukan dengan repetisi adalah  $25^{\circ}30'20''$ , maka  $C'AC = 20''$ . Jika jarak  $AC'$  adalah 300 ft, maka  $C'C = 300 \text{ tg } 20'' = 300(0,00029/3) = 0,029$  ft.

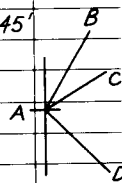
**11-7. SUDUT-SUDUT BELOKAN.** Sudut belokan (dibicarakan dalam Paragraf 8-3) adalah sudut horisontal diukur dari perpanjangan garis sebelumnya, ke kanan atau ke kiri, sampai garis berikutnya. Dalam Gambar 11-6(a), sudut belokan di  $F$  adalah  $12^{\circ}15'$  ke kanan ( $12^{\circ}15'$ Ka). Di  $G$  sudut belokan adalah  $16^{\circ}20'$ Ki.

Garis lurus antara titik-titik terminal secara teoritis adalah jalur paling ekonomis dibangun dan dipelihara untuk jalan raya, jalur pipa, saluran, dan jalur tenaga listrik. Secara praktis, hambatan, kondisi tanah dan tata guna tanah memerlukan belokan-belokan sepanjang jalur, tetapi penyimpangan dari garis lurus diusahakan sekecil mungkin. Pemakaian sudut belokan, karenanya cocok untuk visualisasi, pembuatan sketsa dan hitungan, dibanding sudut langsung yang besar.

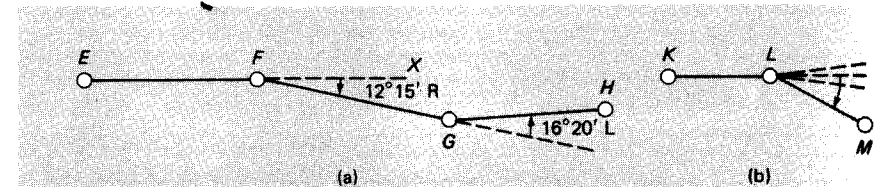
Jika sebuah instrumen dalam keadaan teratur sempurna (yang tidak mungkin), sudut belokan di  $F$  [lihat Gambar 11-6(a)] diukur dengan memasang lingkaran pada nol dan membidik belakang pada titik  $E$  dengan teropong luar biasa, kemudian membuatnya luar biasa lagi. Garis bidik sekarang pada  $EF$  diperpanjang dan diarahkan pada  $X$ . Pengunci atas dikendorkan, titik  $G$  dibidik, pengunci atas diketatkan, dan benang vertikal ditempatkan tepat pada tandanya dengan bantuan sekrup penggerak halus atas. Nonius akan ada di bawah ujung okuler teropong, sehingga pengamat dapat membaca sudut belokan tanpa berpindah mengelilingi transit.

Gambar 11-4. Catatan lapangan pengukuran sudut cara keliling.

PENGUKURAN SUDUT CARA KELILING				
Titik dibidik	Pmbcaan	Sudut	Sdt. arah Magnetik	Sdt. di hitung dr. sdt. arah
⌘ di titik A				
B	$3^{\circ}26'$		$N22^{\circ}15'E$	
C	$45^{\circ}38'$	$42^{\circ}12'$		$42^{\circ}15'$
C	<del><math>47^{\circ}08'</math></del> <del><math>42^{\circ}08'</math></del>		$N64^{\circ}30'E$	
D	$107^{\circ}04'$	$59^{\circ}56'$		$60^{\circ}00'$
D	$110^{\circ}35'$		$S55^{\circ}30'E$	
B	$8^{\circ}29'$	$257^{\circ}54'$		$257^{\circ}45'$
		$360^{\circ}02'$		
Kesalahan penutup		$0^{\circ}02'$		



Gambar 11-6. Sudut-sudut belokan.



Sudut belokan dapat terkena galat serius jika instrumen dalam keadaan tak teratur, dan dapat lebih besar atau lebih kecil daripada harga-harganya yang benar tergantung pada apakah garis bidik setelah kedudukan luar biasa adalah di kanan atau kiri perpanjangan sebenarnya [lihat Gambar 11-6(b)].

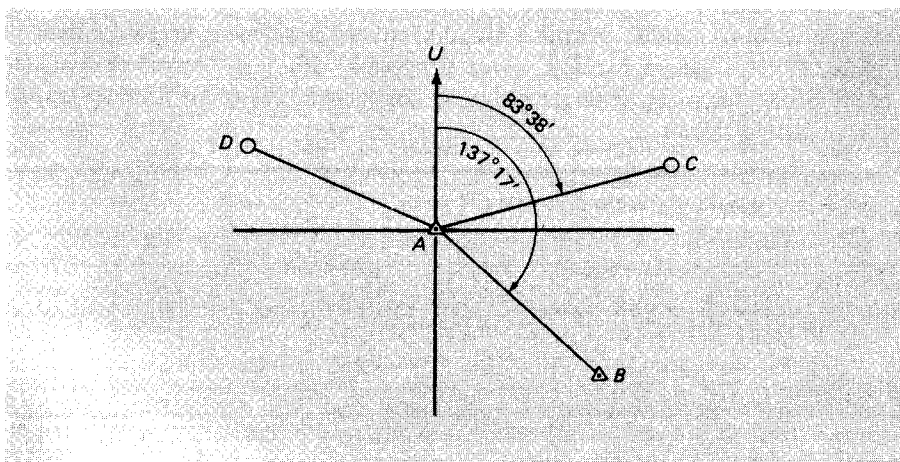
Untuk menghilangkan galat dari sebab ini, sudut-sudut biasanya dilipatduakan atau dilipatempatkan dengan prosedur sebagai berikut: Bidikan belakang pertama diambil dengan lingkaran dipasang pada nol dan kedudukan teropong biasa. Setelah diberi kedudukan luar biasa, sudut diukur dan tersimpan tetap di lingkaran. Bidikan belakang yang kedua diambil memakai gerakan bawah, tetap menyimpan sudut pertama, dan kedudukan teropong tetap luar biasa. Teropong dikembalikan pada kedudukan biasa untuk bidikan depan, dan sudut diukur kembali. Dengan membagi dua jumlah sudut, dihasilkan sudut purata yang galat instrumentalnya telah dihilangkan dengan pengimbangan. Dalam garis besarnya, metode itu adalah sebagai berikut:

1. Bidiklah belakang dengan teropong biasa. Jadikan luar biasa dan ukurlah sudutnya.
2. Bidiklah belakang dengan teropong dalam kedudukan luar biasa. Kembalikan ke biasa dan ukurlah sudutnya.
3. Bacalah jumlah sudut dan bagilah dua untuk puratanya.

**11-8. AZIMUT.** Azimut diukur dari sebuah arah acuan yang harus ditentukan dari (a) pengukuran sebelumnya, (b) jarum magnetik, (c) pengamatan matahari atau bintang, atau (d) anggapan. Misalnya dalam Gambar 11-7 azimut garis  $AB$  yang menghubungkan dua stasiun triangulasi diketahui sebesar  $137^{\circ}17'$  dari utara sebenarnya. Dengan instrumen repetisi untuk menemukan azimut sembarang garis lain dari  $A$ , misalnya  $AC$ , pertama pasanglah  $137^{\circ}17'$  pada lingkaran yang angkanya searah dengan jarum jam, dan bidiklah belakang pada titik  $B$ . Instrumen sekarang teorientasi, karena garis bidik terletak pada arah diketahui, dengan sudut yang cocok pada lingkaran. Kendorkan gerakan atas, putarlah teropong searah jarum jam ke  $C$ , dan bacalah sudut searah jarum jam. Dalam hal ini pembacaan akan sebesar  $83^{\circ}38'$ .

Perhatikan bahwa setelah pengunci bawah dan penggerak halus dipakai untuk bidikan belakang pada titik  $B$ , keduanya tak terganggu berapapun banyak sudut dibaca dari titik  $A$ .

Gambar 11-7. Orientasi dengan azimut.



POLIGON AZIMUT-PITA				
Titik kedudukan	Titik dibidik	Jarak	Azimut	Sdt. arah Magnetik
A	Ut. Mag.		$0^{\circ}00'$	Due N
	B	126.24	$23^{\circ}32'$	$N23^{\circ}30'E$
B	A		$203^{\circ}32'$	$S23^{\circ}30'W$
	C	82.50	$93^{\circ}51'$	$S86^{\circ}15'E$
C	B		$273^{\circ}51'$	$N87^{\circ}00'W$
	D	122.58	$137^{\circ}39'$	$S42^{\circ}30'E$
D	C		$317^{\circ}39'$	$N43^{\circ}00'W$
	A	216.35	$264^{\circ}46'$	$S84^{\circ}45'W$
A	D		$84^{\circ}46'$	$N84^{\circ}45'E$
	B		$23^{\circ}34'$	$N23^{\circ}30'E$
Kesalahan penutup $0^{\circ}02'$				

Gambar 11-8. Catatan lapangan untuk poligon azimut (orientasi awal pada utara magnetik).

Bila lingkaran terbaca nol, teropong terarah ke utara sebenarnya. Sebagai pengecekan, jika sedang dipakai transit yang dilengkapi dengan kompas, jarum dapat diturunkan dan dibaca. Jika teropong mengarah ke utara, jarum harus menunjukkan besarnya deklinasi di tempat itu (asal tak ada gaya tarik lokal di titik  $A$ ).

Dalam Gambar 11-7, jika instrumen dipasang di  $B$  bukan di  $A$ , azimut  $BA$  ( $317^{\circ}17'$ ) atau azimut belakang  $AB$  dipasang pada lingkaran dan titik  $A$  dibidik. Gerakan atas dikendorkan dan dibidik titik-titik yang azimutnya dari  $B$  diinginkan. Lagi, bila instrumen diputar hingga lingkaran terbaca nol, teropong terarah ke utara sebenarnya.

Metode alternatif dan lebih singkat untuk mengorientasikan instrumen di  $B$ , bila diberi kedudukan luar biasa dengan benar adalah dengan membiarkan azimut  $AB$  ( $137^{\circ}17'$ ) pada lingkaran, sementara bidikan belakang ke titik  $A$  dengan teropong luar biasa. Teropong kemudian diberi kedudukan kembali biasa untuk membuat garis bidik sepanjang garis  $AB$  diperpanjang dengan azimutnya yang benar pada lingkaran.

Gambar 11-8 memperlihatkan halaman kiri contoh susunan catatan untuk sebuah poligon diukur dengan azimut. Perhatikan bahwa pengukuran mulai dengan pemasangan di titik  $A$  dan diakhiri dengan menduduki kembali titik  $A$ . Prosedur ini menghasilkan pengecekan pada seluruh pekerjaan, karena azimut  $AB$  yang diukur kembali harus sama dengan harga semula. Dalam contoh ini kesalahan penutup sudut sebesar 2 menit yang diperoleh, akan diratakan dengan prosedur-prosedur yang dibicarakan pada Paragraf 13-2.

**11-9. MENGUKUR DENGAN TEODOLIT REITERASI.** Seperti dikemukakan dalam Paragraf 10-13, teodolit reiterasi dapat dipakai untuk menentukan sudut horisontal, tetapi



ARAH-ARAH DIUKUR DARI					
Kddkan No.	Stasiun dibidik	STASIUN A		Hrg. menengah	Arah tereduksi
		Pmbcaan biasa	Pmbcaan luar biasa		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
		o   II	o   II	''	o   II
1	B	0 00 05	180 00 04	04	0 00 00
	C	42 12 15	222 12 16	16	42 12 12
	D	102 08 33	202 08 28	30	102 08 26
2	B	45 00 03	225 00 06	04	0 00 00
	C	87 12 12	267 12 20	16	42 12 12
	D	147 08 35	327 08 28	32	102 08 28
3	B	90 00 08	270 00 05	06	0 00 00
	C	132 12 20	312 12 22	21	42 12 15
	D	192 08 28	12 08 31	30	102 08 24
4	B	135 00 07	315 00 05	06	0 00 00
	C	177 12 15	357 12 19	17	42 12 11
	D	237 08 30	57 08 34	32	102 08 26

Gambar 11-9. Catatan lapangan untuk pengukuran arah-arah.

prosedur lapangannya terdiri atas pengukuran "arah-arah", yang tidak lain adalah pembacaan-pembacaan lingkaran horisontal terhadap stasiun-stasiun yang dibidik berturut-turut keliling horison. Selisih arah-arah antara dua stasiun sembarang adalah sudutnya.

Gambar 11-9 memperlihatkan serangkaian catatan lapangan untuk arah-arah yang diukur di stasiun A pada Gambar 11-3. Catatan ini sebenarnya adalah hasil dari empat "kedudukan" masing-masing merupakan pembacaan di setiap stasiun keliling horison dengan kedudukan instrumen baik biasa maupun luar biasa.

Walaupun tidak ada gerakan bawah pada teodolit reiterasi, lingkaran horisontal dapat ditetapkan secara mendekati harga yang dipilih. Untuk mengagihkan pembacaan ke seluruh keliling lingkaran, dan karenanya meminimumkan galat pembagian skala lingkaran yang mungkin ada, bidikan awal pada kedudukan biasa diatur pertama kali mendekati  $0^{\circ}00'$ , kemudian meningkat kira-kira  $180^{\circ}/n$  untuk arah pertama tiap pembidikan selanjutnya, di mana  $n$  adalah banyaknya arah yang diukur. Untuk catatan lapangan pada Gambar 11-9, pembacaan awal pada empat arah dengan kedudukan biasa dipasang harga mendekati  $0^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$  dan  $135^{\circ}$ , dan karenanya pembacaan permulaan dengan teropong luar biasa adalah mendekati  $180^{\circ}$ ,  $225^{\circ}$ ,  $270^{\circ}$ , dan  $315^{\circ}$ , jadi memberikan agihan (distribution) pembacaan seragam keliling lingkaran.

Dalam catatan lapangan Gambar 11-9, nomor kedudukan ada dalam kolom (1); stasiun yang dibidik dalam kolom (2); pembacaan dengan kedudukan teropong biasa dan luar biasa berturut-turut dalam kolom (3) dan (4); harga menengah bagian detik untuk pem-

bacaan biasa dan luar biasa dalam kolom (5); dan arah tereduksi (diperoleh dengan mengurangi harga menengah untuk stasiun B dari semua harga arah menengah lainnya) dalam kolom (6). Perhatikan pada kedudukan no. 2 kolom (6) harga-harga  $0^{\circ}00'00''$ ,  $42^{\circ}12'12''$  dan  $102^{\circ}08'28''$  diperoleh dengan mengurangi pembacaan awal sebesar  $45^{\circ}00'04''$  dari harga-harga lain dalam kolom (5) untuk kedudukan itu.

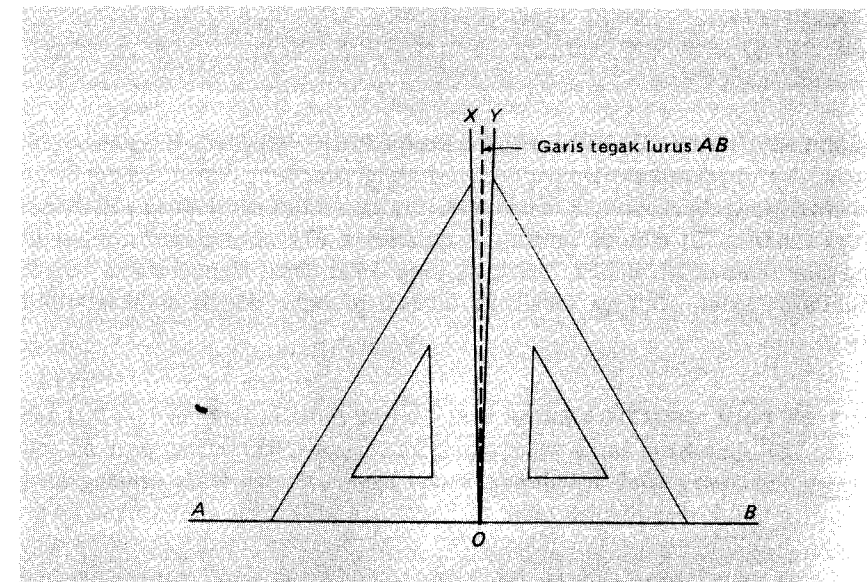
Kumpulan harga dalam kolom (6) harus dicocokkan satu sama lain dan memenuhi kriteria sebelum meninggalkan stasiun yang diduduki sehingga kedudukan-tambahan dapat diukur bila perlu. Sudut dapat dihitung dari arah-arah, tetapi dalam hitungan triangulasi, arah-arah seringkali lebih disukai.

**11-10. TITIK BIDIK DAN TANDA BIDIK.** Obyek yang biasa dipakai untuk titik bidik dalam pengukuran tanah datar adalah anjir, paku lapangan, pensil, benang unting-unting dan sasaran yang ditopang kaki tiga (lihat Gambar 10-8). Untuk bidikan-bidikan dekat, tali lebih disukai daripada anjir karena garis tengahnya yang kecil menyebabkan pembidikan lebih teliti. Untuk memungkinkan jarak pengamatan yang lebih panjang, pada tali dapat ditempatkan kepingan-kepingan kecil logam tipis atau karton berwarna merah dan putih.

Ada galat yang timbul bila anjir yang dibidik tidak tegak lurus. Pengamat harus membidik serendah mungkin pada anjir bila tanda itu sendiri tidak dapat dilihat, dan pemegang rambu harus bertindak hati-hati dalam mengunting anjir, barangkali dengan memakai nivo rambu atau bandul unting-unting.

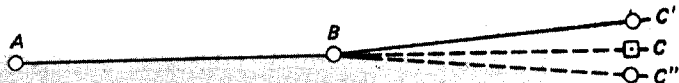
Dalam pekerjaan rancangan konstruksi dan dalam pemetaan topografik, dapat ditetapkan bidikan belakang dan bidikan depan dengan *permanen*. Ini dapat berupa tanda pada bangunan seperti dinding, menara, tangki air, dan jembatan, atau dapat berupa sasaran buatan yang tetap. Bidikan ini memberikan titik-titik tertentu yang dapat dipakai oleh pengamat untuk mengecek orientasi tanpa bantuan pemegang rambu.

**11-11. MEMPERPANJANG GARIS LURUS.** Pada pengukuran jalur lintas, garis-garis lurus dapat berlanjut dari satu pancang melalui beberapa yang lain. Untuk memperpanjang sebuah garis lurus dari bidikan belakang, benang vertikal ditepatkan pada titik bidik bela-



Gambar 11-10. Prinsip timbal-balik.





Gambar 11-11. Pemusatan-rangkap.

kang memakai gerakan bawah, teropong diputar menjadi luar biasa, dan sebuah atau beberapa titik dipasang segaris di muka.

Untuk menghilangkan pengaruh belum teraturnya instrumen dipakai prosedur yang sama dalam beberapa pengaturan alat, yaitu yang dikenal sebagai prinsip timbal-balik. Metode yang dipakai, sebenarnya *timbang-balik rangkap*, istilahnya adalah *pemusatan-rangkap*. Gambar 11-10 memperlihatkan pemakaian sederhana prinsip itu dalam menggambar sudut siku-siku dengan mistar segitiga yang cacad. Garis-garis  $OX$  dan  $OY$  digambar dengan mistar dalam kedudukan "biasa" dan "luar biasa". Sudut  $XOY$  membentuk dua kali galat dalam segitiga pada sudut  $90^\circ$  dan garis baginya merupakan garis tegak lurus  $AB$ .

Dalam praktek, instrumen harus selalu dijaga agar dalam keadaan teratur baik tetapi dipakai seolah-olah alat itu mungkin tidak demikian.

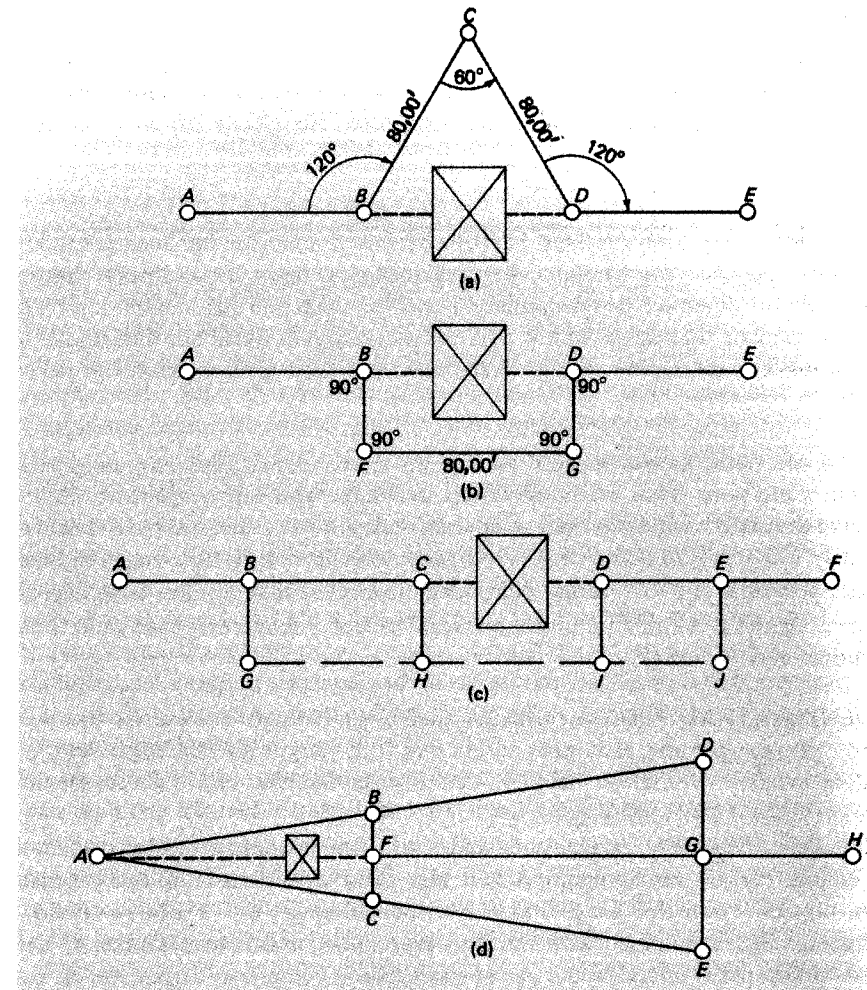
Dalam pemusatan-rangkap, setelah titik pertama  $C'$  dalam Gambar 11-11 ditemukan letaknya dengan teropong luar biasa, gerakan bawah dilepas dan diambil bidikan belakang yang kedua terhadap  $A$ , kali ini masih dengan teropong luar biasa. Teropong dikembalikan ke kedudukan biasa lagi dan ditandai titik  $C''$ . Jarak  $C'C''$  dibagi dua untuk mendapatkan titik  $C$  pada garis  $AB$  yang diperpanjang.

Dalam bentuk garis besar, prosedur itu adalah sebagai berikut:

1. Bidiklah belakang pada titik  $A$  dengan teropong kedudukan biasa. Buatlah luar biasa dan tetapkan titik  $C'$ .
2. Bidiklah belakang pada titik  $A$  dengan teropong kedudukan luar biasa. Buatlah teropong menjadi biasa dan tetapkan titik  $C''$ .
3. Bagilah jarak  $C'C''$  untuk menetapkan titik  $C$ . Perhatikan bahwa  $CC''$  merupakan dua kali galat putaran (dan, seperti dibicarakan dalam Apendiks A, empat kali galat pengatur).

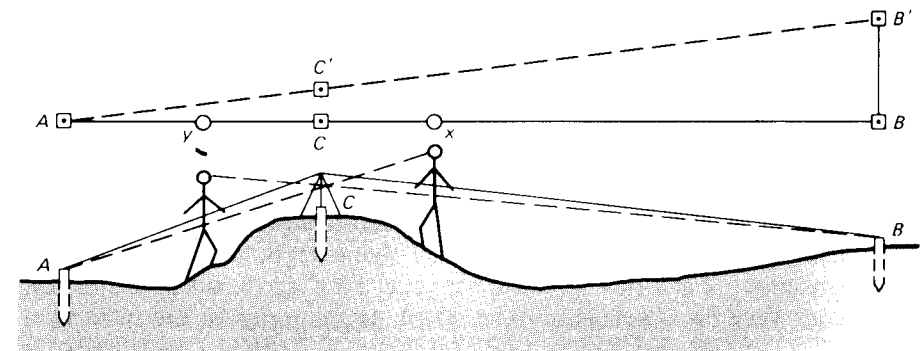
**11-12. MEMPERPANJANG GARIS LURUS LEWAT PENGHALANG.** Bangunan, pohon, tiang telepon, dan obyek-obyek lain dapat menghalangi jalur pengukuran. Empat di antara berbagai metode yang dipakai untuk memperpanjang garis lewat penghalang adalah (1) metode segitiga-samasisi, (2) metode simpangan tegaklurus, (3) metode simpangan-terukur, dan (4) metode sama-sudut. Bidikan belakang yang dekat dapat menyebabkan terjadinya dan tertimbunnya galat, sehingga sebaiknya dipakai prosedur dengan bidikan titik-titik yang jauh.

**11-12.1. METODE SEGITIGA-SAMA SISI.** Di titik  $B$  dalam Gambar 11-12(a), sebuah sudut sebesar  $120^\circ$  diukurkan dari  $A$  sebagai bidikan belakang, dan sebuah jarak  $BC$  sebesar  $80,00$  ft (atau sembarang jarak seperlunya, tetapi lebih baik tak lebih panjang dari pita ukur) diukurkan untuk memperoleh bidik  $C$ . Kemudian instrumen dipindahkan ke  $C$  dan bidikan belakang ke  $B$  mengukurkan sudut  $60^\circ 00'$  pada lingkaran. Jarak  $CD = BC = 80,00$  ft diukurkan untuk menetapkan titik  $D$ . Instrumen dipindahkan ke  $D$ , mengambil bidikan belakang pada  $C$  dan mengukurkan sudut  $120^\circ 00'$ . Garis bidik  $DE$  sekarang adalah sepan-



Gambar 11-12. Memperpanjang garis melewati penghalang.

Gambar 11-13. Menempatkan teodolit pada garis lurus.



**11-12.2. METODE SIMPANGAN-TEGAKLURUS.** Dengan pemasangan instrumen di titik-titik  $B$ ,  $F$ ,  $G$ , dan  $D$  dalam Gambar 11-12(b), sudut-sudut  $90^{\circ}00'$  diukur pada tiap patok. Jarak-jarak  $FG$  dan  $BF = GD$  hanya perlu cukup besar untuk menghindari penghalang, tetapi bila dibuat lebih panjang dapat memberikan bidikan yang lebih teliti.

Panjang yang ditunjukkan pada Gambar 11-12(a) dan (b) memungkinkan warga belajar mengecek pengukuran pita dan pengerjaan instrumen mereka dengan memakai gabungan kedua metode.

**11-12.3. METODE SIMPANGAN-TERUKUR.** Untuk menghindari keempat sudut  $90^{\circ}$  dengan bidikan pendek yang berakibat kemungkinan galat besar, dapat dipakai simpangan-simpangan terukur diperoleh dengan putaran busur memakai pita [lihat Gambar 11-12(c)]. Sebuah basis panjang ditetapkan untuk titik pengecekan pada  $GHIJ$  bila diinginkan. Metode ini lebih disukai untuk mendapat ketelitian yang perlu pada kebanyakan pekerjaan pengukuran.

**11-12.4. METODE SAMA-SUDUT.** Metode ini amat baik bila keadaan lapangan cocok. Sudut-sudut yang sama besar secukupnya saja untuk menghindari penghalang, diukur dari garisnya di titik  $A$ , dan diukur jarak-jarak sama  $AB = AC$  dan  $AD = AE$  dalam Gambar 11-12(d). Garis melalui titik-titik  $F$  dan  $G$  berturut-turut di titik-titik tengah  $BC$  dan  $DE$ , merupakan perpanjangan  $AH$  melalui penghalang. Sangat sedikit rintisan tambahan diperlukan dalam memakai metode ini untuk melewati sebuah pohon besar pada garis di medan yang berhutan atau bersemak.

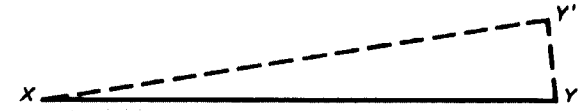
**11-13. MENEMPATKAN TEODOLIT PADA GARIS LURUS (BALANCING IN).** Ada kalanya perlu pemasangan alat pada garis antara dua titik yang telah ditetapkan tetapi tidak dapat saling melihat – misalnya patok  $A$  dan  $B$  pada Gambar 11-13. Proses ini disebut *sisipan-titik* (balancing ini atau wiggling in).

Kedudukan titik-coba  $C'$  pada garis dikira-kira dan instrumen dipasang di atasnya. Titik  $A$  dibidik dari  $C'$  dan teropong dibuat luar biasa. Jika garis bidik tidak melalui  $B$ , instrumen digeser sejauh  $CC'$  yang ditaksir dari perbandingan  $CC' = BB' \times AC/AB$ , dan proses diulang. Beberapa percobaan mungkin diperlukan untuk menentukan  $C$  dengan tepat, atau cukup dekat untuk tujuan yang bersangkutan. Pergeseran bagian atas instrumen dipakai untuk menepatkan terakhir dengan jarak kecil.

Cara lain adalah dengan menaruh dua orang,  $X$  dapat melihat patok  $A$  dan  $Y$  dapat melihat patok  $B$  seperti diperlihatkan pada Gambar 11-13. Masing-masing meluruskan yang lain dengan patok yang terlihat dalam beberapa kali mengatur, dan dua anjir ditempatkan paling sedikit terpisah 20 ft pada arah yang ditetapkan. Sebuah instrumen dipasang di titik  $C$  segaris dengan anjir-anjir seharusnya sudah berada beberapa persepuluh foot dari letak yang diperlukan.

**11-14. GARIS ACAK.** Pada banyak pengukuran perlu untuk menarik garis acak dari sebuah tanda  $X$  ke titik  $Y$  yang tak kelihatan, berjarak tertentu atau tak tentu. Masalah ini berkali-kali timbul dalam pengukuran hak milik.

Atas dasar sudut arah kompas atau informasi dari peta dan sumber lain sebuah garis acak misalnya  $XY'$  pada Gambar 11-14, ditarik sedekat mungkin dengan perkiraan, terhadap garis sebenarnya  $XY$ . Jarak-jarak  $XY'$  dan  $YY'$  (jarak tegak lurus pada  $XY'$ ) yang merupakan penyimpangan dari titik  $Y$ , diukur dan sudut  $YXY'$  diketemukan dari tangen yang dihitung. Garis yang benar kemudian dapat ditarik dengan mengukur sudut terhitung  $Y'XY$ , atau titik-titik di garis  $XY$  dapat ditetapkan dengan simpangan tegak lurus dihitung



Gambar 11-14. Garis acak.

**11-15. MENGUKUR SUDUT VERTIKAL.** Sudut vertikal adalah selisih arah antara dua garis berpotongan di bidang vertikal. Seperti yang biasa dipakai dalam pengukuran tanah, sudut itu adalah sudut yang berada di atas atau di bawah bidang horisontal yang melalui titik pengamatan. Sudut di atas bidang horisontal disebut *sudut plus* atau *sudut elevasi*. Sudut di bawah bidang horisontal disebut *sudut minus* atau *sudut junam* (depresi). Sudut vertikal diukur dalam sipat datar trigonometrik dan dalam EDM serta pekerjaan takimetri sebagai sebuah bagian penting dari prosedur lapangan.

Untuk mengukur sudut vertikal dengan transit, instrumen dipasang pada titiknya dan didatarkan dengan cermat. Gelembung dalam tabung nivo teropong harus tetap seimbang bila teropong dikunci pada kedudukan horisontal dan diputar  $360^{\circ}$  mengelilingi sumbu I. Jika nonius pada busur vertikal tidak terbaca  $0^{\circ}00'$  bila nivo seimbang, maka ada *galat indeks* yang harus ditambahkan pada atau dikurangkan dari semua pembacaan. Kekacauan tanda dihilangkan dengan menempatkan dalam catatan lapangan, sebuah pernyataan misalnya "Galat indeks adalah minus 2 menit, dikurangkan dari sudut-sudut junam dan ditambahkan pada sudut elevasi".

Benang silang horisontal ditempatkan mendekati titik yang akan diukur sudut vertikalnya, dan teropong dikunci. Pembidikan tepat diperoleh dengan memakai sekrup penggerak halus lingkaran-vertikal. Lingkaran vertikal dibaca dan kalau ada galat indeks diterapkan untuk memperoleh sudut sebenarnya di atas atau di bawah horison. Pengamat menyerukan pembacaan sudut belum-dibetulkan dan bila perlu koreksi dibuat belakangan.

Untuk menghilangkan galat indeks yang dihasilkan dari pergeseran nonius pada busur vertikal dan belum sejajarnya garis bidik dengan garis arah nivo teropong, harus diambil dua pembacaan dan diambil harga puratanya. Sebuah diperoleh dengan teropong biasa dan yang kedua dengan teropong luar biasa. Metode ini memerlukan transit yang dilengkapi dengan lingkaran vertikal lengkap dan tabung nivo timbal balik.

Pengukuran sudut vertikal dengan teodolit mengikuti prosedur umum yang sama seperti baru dijelaskan, kecuali bahwa lingkaran vertikal diorientasikan dengan pemampas otomatis atau tabung nivo indeks. Jika dipakai tabung nivo indeks, akan ada galat yang serius bila gelembungnya tak diseimbangkan sebelum membaca sudut. Sedangkan dengan transit, galat-galat instrumental dipampas dengan mengambil harga pukul rata pembacaan biasa dan luar biasa yang sama banyaknya.

Teodolit dirancang sedemikian rupa sehingga pembacaan lingkaran vertikal menghasilkan *sudut zenit*. Jadi pembacaan  $0^{\circ}$  berarti teropong terarah vertikal (ke arah zenit). Dalam kedudukan hadap kiri, dengan teropong horisontal, pembacaan adalah  $90^{\circ}$ , dan bila teropong diberi elevasi  $30^{\circ}$  di atas horisontal, pembacaan adalah  $60^{\circ}$ . Dalam hadap kanan, pembacaan horisontal adalah  $270^{\circ}$  dan bila teropong dinaikkan  $30^{\circ}$  di atas horison, pembacaannya adalah  $300^{\circ}$ .

**11-16. MENGUKUR SUDUT DENGAN TEODOLIT DIGITAL ELEKTRONIK.** Kecuali caranya yang otomatis menetapkan sudut, penanganan mekanis terhadap teodolit digital

elektronik sama dengan terhadap instrumen biasa. Rancangan alat ini termasuk sumbu I yang memutar instrumen dalam azimuth, sumbu II untuk memutar teropong, sebuah pengunci dan penggerak halus untuk pengarahannya. Untuk mengukur sebuah sudut, diambil bidikan belakang memakai pengunci dan penggerak halus, dan sebuah harga awal masuk ke pengunjukan (display). Nol dapat dipasang jika sudut langsung sedang diukur, tetapi sembarang harga yang diperlukan dapat dimasukkan jika mengorientasikan pada sebuah garis yang diketahui azimuthnya. Sudut kemudian diputar dengan pengarahannya lagi, memakai pengunci dan sekrup penggerak halus, dan harganya secara otomatis diunjukkan dalam instrumen. Untuk menghilangkan galat instrumental dan meningkatkan kesaksamaan, sudut dapat diulang berapa kali saja dalam kedudukan instrumen baik biasa maupun luar biasa, dan diambil harga puratanya. Komputer-komputer terpasang tetap dengan otomatis akan melaksanakan pengambilan purata dan mengunjukkan hasilnya.

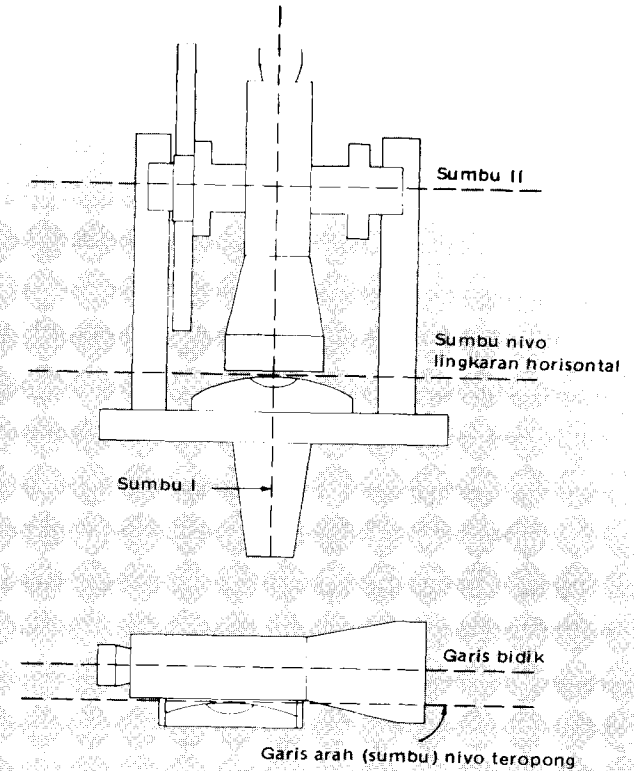
Beberapa kemampuan khusus dirancang ke dalam kebanyakan teodolit digital elektronik meningkatkan ketelitiannya dan memperlancar operasinya. HP 3820 misalnya, mempunyai komputer terpasang tetap yang mengorientasikan lingkaran vertikal. Kalau ada galat indeks secara otomatis terbaca dan diteruskan ke komputer, yang mengoreksinya pada sudut-sudut terukur. Alat lain mengindera bila lingkaran horisontal tak datar, kemudian komputer menerapkan koreksi pada sudut-sudut horisontal yang diukur. Jadi mendatarkan instrumen dengan saksama adalah tidak perlu. Sistem pembacaan otomatis memukul rata harga-harga dari pihak berlawanan diametris pada lingkaran, dengan demikian mengoreksi bila ada simpang-pusat (eccentricity) (lihat Paragraf 11-8.1). Juga sebuah mekanisme gerak kasar dapat menggerakkan lingkaran untuk mengawali pembacaan-pembacaan kedudukan berbeda dan menghilangkan pengaruh ketaksempurnaan pembagian skala lingkaran.

Seperti dikemukakan dalam Paragraf 10-14, kegunaan terbesar dari teodolit digital elektronik baru nyata bila digabung dengan EDM, menghasilkan apa yang dikenal dengan "stasiun-kotah". Sekarang tersedia sejumlah instrumen stasiun kotah. Gambar 5-7 dan 10-14 memperlihatkan dua contoh. Stasiun kotah adalah sangat serbaguna dan bermanfaat untuk hampir segala jenis pengukuran. Pembahasan penerapannya pada pengukuran tertentu ada dalam bab-bab yang disediakan untuk membicarakan tugas-tugas khusus itu.

**11-17. TRANSIT DAN TEODOLIT SEBAGAI ALAT SIPAT DATAR.** Seperti dibicarakan dalam Paragraf 6-5, transit dan teodolit dapat dipakai sebagai alat sipat datar, walaupun biasanya memberikan hasil yang agak kurang teliti daripada yang diperoleh dengan instrumen yang dirancang khusus untuk sipat datar. Untuk memakai transit sebagai alat sipat datar, setelah menyeimbangkan gelembung nivo piringan dengan sekrup-sekrup penyatel, gelembung nivo teropong diseimbangkan dengan cermat memakai sekrup penggerak halus lingkaran vertikal. Jika instrumen teratur baik, ini akan menciptakan garis bidik horisontal sehingga dapat diambil pembacaan rambu, dan transit itu pada dasarnya bekerja sebagai alat sipat datar dengan pengungkit.

Untuk menciptakan garis bidik horisontal dengan teodolit, setelah nivo piringan diseimbangkan memakai sekrup penyatel, pembacaan lingkaran vertikal (sudut zenit) dibuat sebesar  $90^{\circ}00,0'$  (atau  $270^{\circ}00,0'$  bila teropong dalam keadaan luar biasa), dari mana garis bidik menjadi horisontal sehingga dapat diambil pembacaan rambu. Dalam hal teodolit mikrometer, ini memerlukan pemasangan mikrometer menjadi nol lebih dulu, dan kemudian mengatur pembacaan lingkaran dengan sekrup penggerak halus.

**11-8. SUMBER GALAT DALAM PEKERJAAN TRANSIT DAN TEODOLIT.** Galat-galat dalam pengukuran transit-teodolit berasal dari sumber-sumber yang bersifat instrumental, alamiah dan pribadi. Adalah tidak mungkin menentukan harga tepat sebuah sudut dan karenanya galat dalam harga terukurnya. Tetapi hasil-hasil saksama dapat diperoleh dengan (a) mengikuti prosedur-prosedur tertentu di lapangan, (b) menangani instrumen dengan



Gambar 11-15. Sumbu-sumbu acuan sebuah transit.

hati-hati (misalnya, menghilangkan paralaks, yang dapat menyebabkan galat serius), dan (c) mengecek pengukuran-pengukuran. Harga-harga mentak galat-galat acak dan tingkat kesaksamaan yang diperoleh dapat dihitung dari rumus-rumus dalam Bab 2.

**11-18.1. GALAT-GALAT INSTRUMENTAL.** Gambar 11-15 memperlihatkan sumbu-sumbu acuan sebuah transit, yang berkenaan dengan pembicaraan tentang galat-galat instrumen berikut ini. (Sumbu-sumbu ini juga ada pada teodolit, kecuali garis arah nivo teropong). Jika transit dalam keadaan teratur baik, sumbu-sumbu acuan ini harus mempunyai hubungan tertentu satu sama lain. Jika tidak demikian, akan terjadi galat-galat dalam sudut-sudut terukur, kecuali ada prosedur-prosedur lapangan tertentu yang dipenuhi. Berikut ini adalah sumber-sumber utama galat instrumental.

1. *Tidak teraturnya nivo piringan* (lingkaran horisontal). Jika garis arah nivo piringan tidak tegak lurus sumbu I, maka sumbu I tidak akan benar-benar vertikal bila nivo itu diseimbangkan. Keadaan ini menyebabkan galat dalam sudut horisontal dan sudut vertikal terukur yang *tidak dapat* dihilangkan dengan mengambil purata pembacaan biasa dan luar biasa. Nivo piringan tak teratur, jika setelah diseimbangkan, menjadi tak seimbang bila teropong diputar  $180^{\circ}$  horisontal. Jauhnya penyimpangan gelembung menunjukkan dua kali kemiringan sumbu I. Karenanya untuk membuat sumbu I benar-benar vertikal, gelembung dikembalikan ke arah seimbang *setengah jauhnya penyimpangan* memakai sekrup penyatel. Dengan nivo piringan tak teratur, sudut-sudut dapat diukur tetapi sukar dan

makan waktu, sehingga pengaturan yang diperlukan seharusnya difaksanakan. Prosedur prosedur untuk melaksanakan ini dan lain-lain pengaturan transit serta teodolit dibicarakan pada Apendiks A.

2. *Garis bidik tidak tegak lurus sumbu II.* Jika keadaan ini dijumpai, sewaktu teropong dibuat luar biasa garis bidik membentuk kerucut yang sumbunya berimpit dengan sumbu II instrumen. Galat terbesar dari sumber ini terjadi bila membuat teropong luar biasa, misalnya dalam memperpanjang garis lurus atau mengukur sudut-sudut belokan. Juga, bila sudut kemiringan bidikan belakang tidak sama dengan sudut kemiringan bidikan depan, sudut horisontal terukur menjadi tidak benar. Galat-galat ini dihilangkan dengan pemusatan rangkap dan dengan mengambil harga purata pembacaan-pembacaan biasa dan luar biasa yang sama banyak.

3. *Sumbu II tak tegak lurus sumbu I.* Keadaan ini menyebabkan garis bidik membentuk bidang datar miring sewaktu instrumen dibuat luar biasa, dan karenanya, bila bidikan belakang dan bidikan depan mempunyai sudut kemiringan yang berbeda, akan dihasilkan sudut horisontal yang salah. Galat-galat dari asal ini juga dapat dihapus dengan mengambil purata pembacaan-pembacaan biasa dan luar biasa yang sama banyak.

4. *Garis arah nivo teropong tidak sejajar dengan garis bidik.* Jika hal ini terjadi pada transit, garis bidik miring ke atas atau ke bawah bila nivo teropong diseimbangkan. Ini menyebabkan galat dalam sudut vertikal dan pembacaan rambu bila transit dipakai sebagai alat sipat datar. Pengaruh itu dihilangkan dalam sudut vertikal dengan mengambil purata pembacaan-pembacaan biasa dan luar biasa yang sama banyak, dan dalam sipat datar dengan membuat sama jarak bidikan belakang dan bidikan depan.

5. *Simpang-pusat lingkaran atau nonius.* Jika pembacaan-pembacaan nonius transit A dan B berbeda tepat  $180^\circ$  untuk semua kedudukan, maka lingkaran-lingkaran adalah sepusat dan nonius terpasang dengan benar. Jika pembacaan-pembacaan berselisih tetap namun bukan  $180^\circ$ , nonius-nonus itu menyimpang dan sebaiknya dipakai nonius A saja atau mengambil purata dari kedua nonius. Jika selisihnya tidak tetap, ada simpang-pusat lingkaran. Pembacaan sebaiknya diambil di beberapa kedudukan pada lingkaran dan hasil-hasil nonius A dan nonius B diambil puratanya. Teodolit tidak mempunyai nonius. Tetapi dapat saja di situ ada simpang-pusat dan galat-galat dari sumber ini dibuat minimum dengan mengambil pembacaan-pembacaan di beberapa tempat pada lingkaran sehingga terletak berselang di keliling seluruh busur lingkaran, dan hasilnya dipukul rata.

6. *Kaki tiga takkokoh.* Baut-baut kaki tiga harus ketat sehingga tidak kendur maupun tegang (kaki tiga dapat diketok sedikit untuk mengendorkan ketegangan yang ada sebelum melakukan bidikan pertama), dan alas-alasnya tertanam kokoh di tanah. Untuk menghilangkan ketegangan, beberapa juru ukur melepaskan mur bersayap dan mengetatkan kembali setelah menancapkan kaki-kaki, sebelum mendatarkan instrumen.

Juru-ukur boleh mengatur transit di lapangan dengan mengikuti prosedur-prosedur yang garis besarnya ada dalam Apendiks A. Tetapi teodolit saksama dan instrumen yang rusak, harus ditangani oleh ahlinya saja.

## 11-18-2. GALAT-GALAT ALAMIAH

1. *Angin.* Angin menggetarkan transit dan menyimpangkan bandul unting-unting. Melindungi instrumen, atau bahkan menanggihkan pengamatan pada pekerjaan saksama, mungkin perlu di hari-hari berangin. Dalam keadaan ini pemusatan optis adalah bermanfaat.

2. *Pengaruh suhu.* Perbedaan suhu menyebabkan pemuaiian tak sama berbagai bagian transit dan teodolit. Gelembung nivo tertarik ke arah ujung tabung yang kena panas, seperti dapat diketahui dengan jalan meniup satu ujung tabung dan memperhatikan gerakan gelembung, kemudian menyeimbangkan kembali dan mengecek kedudukan benang silang pada

sasaran. Pengaruh suhu dikurangi dengan melindungi instrumen dari sumber panas atau dingin.

3. *Biasan.* Biasan yang tak sama membengkokkan garis bidik dan dapat menyebabkan kenampakan-kilau obyek yang diamati. Adalah lebih baik mengusahakan agar garis bidik cukup jauh dari tanah dan hindarkan membuat bidikan dekat gedung, cerobong asap, dan bahkan semak besar yang menyendiri di lapangan yang secara umum terbuka. Dalam beberapa kasus, pengamatan mungkin harus ditunda sampai kondisi atmosferik menjadi lebih baik.

4. *Merosotnya kaki tiga.* Berat instrumen dapat menyebabkannya merosot di tanah lunak. Jika pekerjaan melibatkan penyeberangan di tanah berawa-rawa, harus dipancangkan patok-patok untuk mendukung kaki tiga dan pekerjaan di stasiun tertentu diselesaikan secepat mungkin. Menapakkan kaki dekat sebuah kaki tiga, atau menyentuhnya sambil melihat lewat teropong, akan menunjukkan pengaruh merosotnya pada kedudukan gelembung nivo dan benang silang.

## 11-18.3. GALAT-GALAT PRIBADI

1. *Instrumen tidak terpasang tepat di titiknya.* Bandul unting-unting atau pemusat optis harus dicek dari waktu ke waktu selama sebuah stasiun ditempati, untuk meyakinkan bahwa tetap terpusat dan instrumen ada pada titiknya.

2. *Gelembung nivo tak seimbang dengan sempurna.* Gelembung harus sering dicek, namun TIDAK BOLEH diseimbangkan kembali antara bidikan belakang dan bidikan depan – hanya *sebelum* mulai dan *setelah* selesai pengukuran sebuah sudut. Perhatikan bahwa dalam sipat datar, atau dalam pengukuran sudut vertikal dengan transit, tabung nivo *sejajar* teropong adalah genting. Untuk sudut horisontal, teropong dapat diungkit atau ditundukkan di bidang vertikal tanpa mempengaruhi pengukuran, jika penopang-penopang teratur baik. Oleh karena itu, gelembung *tegak lurus* terhadap teropong adalah yang paling penting.

3. *Salah interpolasi nonius.* Memakai kaca pembesar dan bersikap hati-hati membantu mengurangi besarnya galat ini. Juga, banyaknya menit pada pembagian skala yang dilewati oleh penunjuk nonius (indeks) harus ditaksir untuk mengecek sebuah pembacaan.

4. *Salah menggunakan pengunci dan sekrup penggerak halus.* Seorang pengamat harus membentuk kebiasaan kerja yang baik dan mampu mengenal berbagai pengunci dan sekrup penggerak halus dengan jalan meraba tanpa melihatnya. Putaran akhir sekrup penggerak halus selalu dibuat dengan gerakan positif untuk menghindari lecutan-balik (backlash). Pengunci harus diketatkan hanya sekali dan tidak dicek lagi untuk meyakinkan apakah terikat.

5. *Pumpunan (focusing) yang buruk.* Pumpunan okuler yang benar pada benang silang dan lensa obyektif pada sasaran, adalah penting untuk mencegah paralaks. Obyek yang di bidik harus ditempatkan sedekat mungkin dengan pusat bidang pandangan. Pumpunan mempengaruhi pengarahannya, yang merupakan sumber galat penting.

6. *Bidikan yang terlalu cermat.* Mengecek dan mengecek ulang kedudukan penempatan benang silang pada sasaran adalah pemborosan waktu dan sebenarnya memberikan hasil yang lebih buruk daripada sebuah pengamatan yang cepat. Benang silang harus ditepatkan dengan cepat dan segera mulai pekerjaan berikutnya.

7. *Penguntingan dan penempatan rambu yang serampangan.* Salah satu galat yang paling biasa terjadi karena penguntingan rambu serampangan bila yang terlibat hanya bagian atasnya oleh pengamat karena semak atau penghalang lain merintang. Yang lainnya disebabkan karena menempatkan anjir menyimpang garis di belakang titik yang dibidik.

11-19. KESALAHAN BESAR. Beberapa kesalahan umum yang harus ditanggulangi adalah:

1. Membidik pada atau memasang pada titik yang salah
2. Menyerukan atau mencatat harga yang tak benar.
3. Membaca lingkaran yang salah.
4. Memutar sekrup penggerak halus yang salah.
5. Memakai prosedur lapangan yang sembarangan.

## SOAL-SOAL

- 11-1. Tentukan sudut-sudut depan untuk keadaan berikut ini.  
 (a) Garis tengah pipa 2-in dibidik dengan teodolit sejauh 500 ft.  
 (b) Lebar pancang 1-in dibidik dengan transit dari jarak sejauh  $\frac{1}{2}$  mil.  
 (c) Paku lapangan bergaris tengah 6-mm dilihat dengan teodolit sejauh 50 m.
- 11-2. Berapakah galat dalam arah terukur untuk keadaan tersebut di bawah ini?  
 (a) Pemasangan teodolit  $\frac{1}{4}$  in di sisi paku pada bidikan 200 ft.  
 (b) Pembidikan di tepi (bukan di pusat) sebuah pensil bergaris tengah 8-mm pada jarak 75 m.  
 (c) Bidikan tepi (bukan di pusat) anjir bergaris tengah  $1\frac{1}{4}$  in sejauh 100 ft.  
 (d) Bidikan anjir yang meleset 2 in dari jalur garis pada jarak 800-ft.
- 11-3. Gundukan tanah menghalangi garis bidik sehingga hanya puncak anjir 8-ft dapat dilihat sejauh 600-ft. Jika anjir tak tegak lurus dan miring ke samping  $\frac{1}{2}$  in per ft vertikal, berapa galat sudut maksimum yang terjadi?
- 11-4. Apakah sumber-sumber galat utama dalam pengukuran sudut dengan transit atau teodolit, bila dianggap telah didaftarkan dan ditepatkan dengan baik?
- 11-5. Uraikan sebuah metode pembacaan sudut dengan transit atau teodolit yang akan menghilangkan kebanyakan galat instrumental disebabkan karena konstruksi yang kurang benar dan pengaturan yang buruk.
- 11-6. Apakah keuntungan-keuntungan mengukur sudut dengan repetisi?
- 11-7. Sebuah sudut akan diukur saksama dengan transit. (a) Galat apa yang dihilangkan bila kedua nonius A dan B dibaca? (b) Bagaimana galat dalam pembagian skala lingkaran dapat dibuat minimum? (c) Galat-galat apa yang dihilangkan dengan mengukur sudut sama banyak kali dengan teodolit biasa dan luar biasa?
- 11-8. Apakah keuntungan mengukur sudut keliling titik di mana hanya satu sudut yang benar-benar diperlukan?
- 11-9. Dalam mengukur sudut dengan repetisi, pembacaan setelah putaran pertama kedudukan biasa adalah  $260^{\circ}40,3'$ . Pembacaan setelah putaran keempat dalam keadaan luar biasa adalah  $322^{\circ}42,0'$ . Tentukan sudut itu.
- 11-10. Seperti Soal 11-9, kecuali pembacaan pertama dan keempat berturut-turut adalah  $49^{\circ}36,3'$  dan  $198^{\circ}26,0'$ .
- 11-11. Sebuah sudut-dalam  $x$  dan pelingkarnya  $y$  diputar keliling. Tiap sudut diukur sekali biasa dan sekali luar biasa memakai metode repetisi. Mulai dengan bidikan belakang awal  $0^{\circ}00'$  untuk masing-masing sudut, pembacaan-pembacaan setelah putaran sudut  $x$  pertama dan kedua adalah  $49^{\circ}36,4'$  dan  $99^{\circ}13,0'$ , sedangkan pembacaan setelah putaran sudut  $y$  pertama dan kedua adalah  $310^{\circ}23,2'$  dan  $260^{\circ}46,0'$ . Hitunglah masing-masing sudut dan kesalahan penutup keliling.
- 11-12. Seperti Soal 11-11, kecuali bahwa pembacaan-pembacaan untuk sudut  $x$  adalah  $136^{\circ}53,3'$  dan  $273^{\circ}46,5'$  dan untuk sudut  $y$  adalah  $223^{\circ}07,0'$  dan  $86^{\circ}13,8'$ .
- Pada Gambar 11-3, arah-arah terukur dengan teodolit, biasa dan luar biasa, dari  $A$  ke titik-titik  $B$ ,  $C$  dan  $D$  ditulis dalam Soal 11-13 dan 11-14. Hitung nilai ketiga sudut itu.
- 11-13. Biasa:  $25^{\circ}28'20''$ ,  $90^{\circ}55'42''$ ,  $253^{\circ}06'24''$ .  
 Luar biasa:  $205^{\circ}28'16''$ ,  $270^{\circ}55'44''$ , dan  $73^{\circ}06'22''$ .
- 11-14. Biasa:  $106^{\circ}52'06''$ ,  $186^{\circ}33'38''$ ,  $288^{\circ}43'28''$ .  
 Luar biasa:  $286^{\circ}52'05''$ ,  $06^{\circ}33'41''$ ,  $108^{\circ}43'29''$ .
- 11-15. Sudut sudut di titik  $V$  diukur dengan teodolit 10-sekon, dan berdasarkan 12 pembacaan, galat standar sudut adalah  $\pm 4,0$  skon. Jika prosedur yang sama dipakai dalam pengukuran sudut sudut sebuah segitiga, berapakah galat standar penutup segi tiga?
- 11-16. Serupa dengan Soal 11-15, kecuali diambil 8 pembacaan dengan galat standar  $\pm 6,0$  sekon.
- 11-17. Sudut  $ABC = 40^{\circ}16'10''$  harus diukur dengan transit 30-sekon. Setelah bidikan belakang ke  $A$  sejauh 400-ft, titik  $C$  ditandai sejauh 500 ft dengan sudut  $40^{\circ}16'$  pada piringan. Sudut  $ABC$  diukur dengan repetisi 6 kali, menghasilkan pembacaan  $241^{\circ}36'36''$ . Berapa simpangan di  $C$  akan memberikan sudut yang diperlukan?
- 11-18. Sama dengan Soal 11-17, kecuali bahwa sudut sebesar  $27^{\circ}42'53''$  diperlukan ke titik sejauh 800 dan sudut ulangan  $166^{\circ}23'48''$ .
- 11-19. Kira-kira seberapa dekat ke harga sebenarnya sebuah sudut bila dibaca dengan repetisi delapan kali dengan transit 30 sekon.
- 11-20. Mengapa garis acuan anggapan tidak disukai untuk azimut?
- 11-21. Garis bidik sebuah transit menyimpang sebesar 12 sekon. (a) Dalam memanjangkan garis depan teropong luar biasa antara bidikan belakang dan bidikan depan, tetapi bukan pemusatan-rangkap, berapa galat sudut yang terjadi? (b) Berapa galat linier dihasilkan dari bidikan depan 1000 ft?
- 11-22. Garis  $PQ$  diperpanjang ke titik  $R$  dengan pemusatan rangkap. Dua titik bidikan depan  $R'$  dan  $R''$  diperoleh. Berapakah galat sudut terjadi dalam sekali memberi kedudukan luar biasa berdasarkan pada panjang-panjang sebagai berikut berturut-turut untuk  $QR$  dan  $R'R''$ ?  
 (a) 638,95 ft, 0,37 ft  
 (b) 321,06 ft, 4,25 cm  
 (c) 895,00 ft,  $6\frac{3}{8}$  in.
- 11-23. Apakah galat indeks transit itu? Bagaimana cara memperoleh harganya dan menghilangkan pengaruhnya?
- 11-24. Dengan kedudukan teropong biasa, sebuah sudut vertikal ke titik  $A$  adalah  $+5^{\circ}32'$ , dan dengan teropong luar biasa didapat  $+5^{\circ}36'$ . Berapa galat indeks? Hitunglah sudut vertikal yang benar ke titik  $B$  jika pembacaannya adalah  $-6^{\circ}29'$  dengan teropong biasa.
- 11-25. Seperti Soal 11-24, kecuali pembacaan ke  $A$  adalah  $-9^{\circ}16'$  dan  $9^{\circ}10'$ , ke  $B$   $+16^{\circ}17'$ .
- 11-26. Terangkan perbedaan antara simpang-pusat dan pembagian skala yang salah pada piringan transit dalam pengaruhnya terhadap sudut terukur.
- 11-27. Jika pembidikan dapat dibuat dengan ketelitian  $\pm 3$  sekon, berapa galat maksimum yang diharapkan dalam mengukur sudut horisontal dengan repetisi untuk keadaan sebagai berikut?  
 (a) 2 B dan 2 LB dengan galat pembacaan dan pemasangan transit masing-masing  $\pm 20$  sekon.  
 (b) 4 B dan 4 LB dengan galat pembacaan dan pemasangan teodolit masing-masing  $\pm 0,1$  menit.  
 (c) 8 B dan 8 LB dengan galat pembacaan dan pemasangan teodolit masing-masing  $\pm 2$  sekon.
- 11-28. Berapa kali repetisi diperlukan untuk mengukur sudut horisontal sampai ketelitian 2 sekon dengan instrumen yang mempunyai galat pembacaan dan pemasangan  $\pm 6$  sekon? Buatlah anggapan galat bidikan yang masuk akal.
- 11-29. Untuk mengurangi pengaruh galat pembagian skala lingkaran dalam pengukuran arah saksama memakai teodolit reitetasi, jika 12 kedudukan sedang diukur, berapa kira-kira pembacaan lingkaran untuk bidikan awal pada setiap kedudukan dengan teropong biasa?
- 11-30. Berapakah galat sudut horisontal yang panggah dengan kesaksamaan-kesaksamaan linier berikut ini? Hendaknya dicek dengan Tabel E-9 dalam Apendiks E.

- (a) Kesaksamaan linier:  $\frac{1}{100}, \frac{1}{500}, \frac{1}{1000}, \frac{1}{2000},$  dan  $\frac{1}{10,000}$   
 (b) Kesaksamaan linier:  $\frac{1}{250}, \frac{1}{500}, \frac{1}{1000}, \frac{1}{2000},$  dan  $\frac{1}{15,000}$   
 (c) Kesaksamaan linier:  $\frac{1}{400}, \frac{1}{1000}, \frac{1}{1800}, \frac{1}{4000},$  dan  $\frac{1}{12,000}$

- 11-31. Dalam Gambar 11-14, garis acak  $XY'$  sepanjang 2645,50 ft diukurkan dan jarak simpang  $Y'Y$  diukur terdapat 19,79 ft. Berapa besar sudut  $Y'XY$  perlu diukurkan dari garis  $XY'$  untuk menetapkan arah  $XY$  yang benar?
- 11-32. Sebutkan garis-garis acuan atau sumbu-sumbu transit. Hubungan manakah yang harus ada satu sama lain pada sumbu-sumbu ini agar instrumen dalam keadaan teratur sempurna?

## DAFTAR PUSTAKA

- Irish, S.B. 1959. "Galat Pemasangan dalam Sudut Horisontal". *ASCE Journal of the Surveying and Mapping Division* 85 (no. SU1): 1.
- Madkour, M.F. 1969. "Keliling lawan Kedudukan". *ASCE Journal of the Surveying and Mapping Division* 95 (no. SU1): 151.

# 12

## PENGUKURAN POLIGON

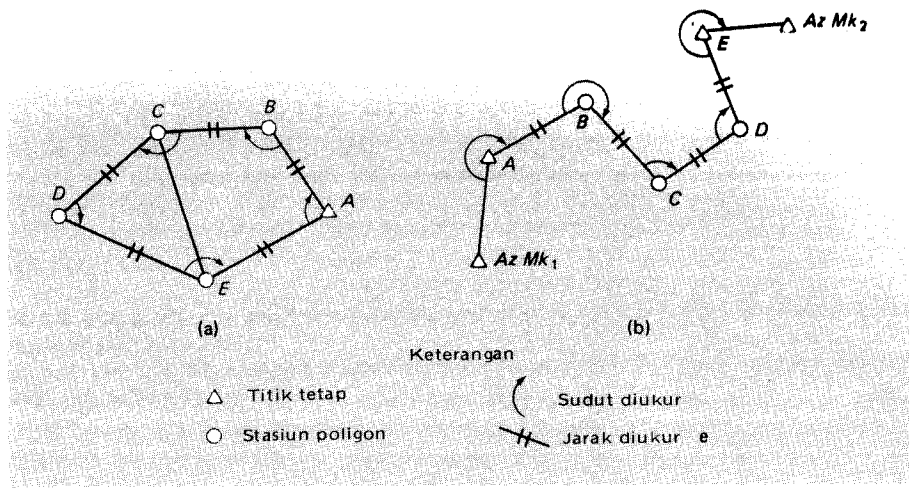
**12-1. PENGANTAR.** Poligon adalah serangkaian garis berurutan yang panjang dan arahnya telah ditentukan dari pengukuran lapangan. *Pengukuran poligon*, pekerjaan menetapkan stasiun-stasiun poligon dan membuat pengukuran-pengukuran yang perlu, adalah salah satu cara paling dasar dan paling banyak dilakukan untuk menentukan letak nisbi titik-titik.

Ada dua bentuk dasar poligon: *tertutup* dan *terbuka*. Pada poligon tertutup, (1) garis-garis kembali ke titik awal, jadi membentuk segibanyak (tertutup secara matematis dan geometris) seperti diperlihatkan pada Gambar 12-1(a), atau (2) berakhir di stasiun lain yang mempunyai ketelitian letak sama atau lebih besar daripada ketelitian letak titik awal. Jenis kedua (geometris terbuka, matematis tertutup), ditunjukkan pada Gambar 12-1(b), harus mempunyai arah acuan penutup – misalnya garis  $E-Az Mk_2$ . Poligon tertutup memberikan pengecekan pada sudut-sudut dan jarak-jarak tertentu, suatu pertimbangan yang sangat penting. Poligon tertutup dipakai secara luas dalam pengukuran-pengukuran titik kontrol, konstruksi, pemilikan tanah dan topografik.

Poligon terbuka (terbuka secara geometris dan matematis) (Gambar 12-2), terdiri atas serangkaian garis yang berhubungan tetapi tidak kembali ke titik awal atau terikat pada sebuah titik dengan ketelitian sama atau lebih tinggi ordenya. Poligon terbuka kadang-kadang dipakai pada pengukuran jalur lintas, tetapi pada umumnya patut dihindari karena tidak memberikan cara pengecekan untuk menemukan galat dan kesalahan. Dalam poligon terbuka, pengukuran-pengukuran *harus* diulang untuk mencegah terjadinya kesalahan-kesalahan.

Patok-patok (pancang kayu dengan paku untuk menandai titik), pancang baja, atau paku dipasang pada setiap stasiun poligon  $A, B, C,$  dan seterusnya, pada Gambar 12-1 dan





Gambar 12-1. Contoh-contoh poligon tertutup.

12-2, di mana terjadi perubahan arah. Paku besar, paku "P-K", dan paku ditancapkan pada tutup botol dipakai pada permukaan jalan beraspal. Pada beton semen Portland, tanda-tanda dibuat dengan pahatan atau cat. Stasiun-stasiun poligon kadang-kadang disebut pula *titik sudut* karena di situ diukur sudut.

**12-2. CARA-CARA MENGUKUR SUDUT ATAU ARAH POLIGON.** Berbagai cara dipakai dalam mengukur sudut atau arah garis poligon, yaitu (a) sudut arah kompas, (b) sudut dalam, (c) sudut belokan, (d) sudut ke kanan, dan (e) azimut.

**12-2.1. PENGUKURAN POLIGON DENGAN SUDUT ARAH KOMPAS.** Kompas juru ukur dirancang untuk pemakaian sebagai instrumen poligon. Sudut arah terbaca lang-

sung pada kompas sewaktu bidikan sepanjang garis (jurusan) poligon. Transit Instnyur yang dilengkapi dengan kompas dapat pula dipakai untuk membaca sudut arah dengan langsung. Tetapi, biasanya jika poligon sudut arah sedang diukur dengan transit, akan dipakai sudut arah *terhitung* berdasarkan pembacaan lingkaran horisontal dan pembacaan kompas dipakai sebagai pengecekan saja. Dalam prosedur ini, yang khususnya cocok untuk melacak pengukuran lama, pada tiap stasiun instrumen diorientasikan dengan bidikan belakang pada titik sebelumnya memakai sudut arah belakang terpasang di piringan. Sudut dari bidikan belakang ke bidikan depan berikutnya kemudian dihitung berdasarkan sudut arah lama dan ditetapkan pada sudut arah belakang untuk membawa teropong terarah pada jurusan berikutnya.

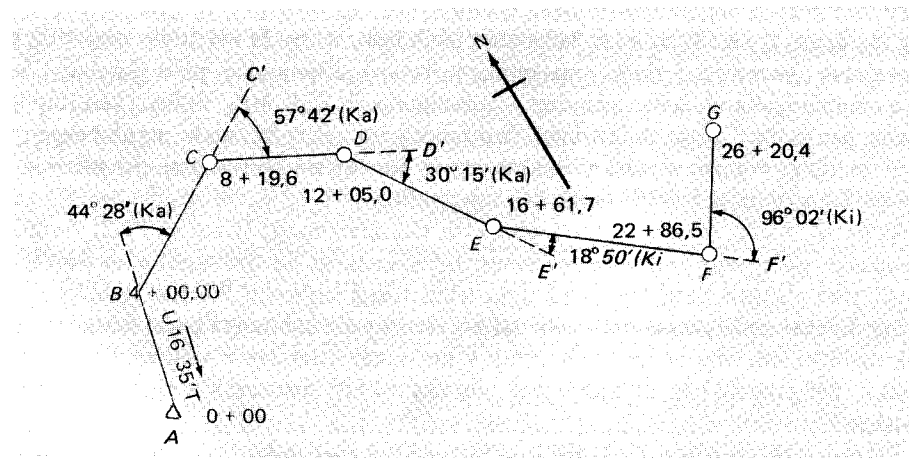
**12-2.2. PENGUKURAN POLIGON DENGAN SUDUT DALAM.** Sudut dalam, misalnya *ABC, BCD, CDE, DEA,* dan *EAB* pada Gambar 12-1(a), dipakai hampir khusus pada poligon pengukuran hak milik. Sudut-sudut itu bisa dibaca baik searah maupun berlawanan arah jarum jam, sewaktu regu pengukuran maju keliling poligon ke kanan atau ke kiri dalam urutan *ABC*, seperti yang diperlihatkan. Tetapi, merupakan praktek yang baik bila semua sudut diukur searah jarum jam. Secara pangkah memakai satu metode, mengurangi kesalahan pembacaan, pencatatan dan penggambaran. Sudut-sudut luar juga boleh diukur secara keliling (lihat Paragraf 11-5).

**12-2.3. PENGUKURAN POLIGON DENGAN SUDUT BELOKAN.** Pengukuran jalur lintas biasa dilakukan dengan sudut belokan diukur ke kanan atau ke kiri dari garis-garis memanjang, seperti ditunjukkan pada Gambar 12-2. Sudut belokan tidak lengkap bila tidak disertai sebutan *Ka* atau *Ki* dan, tentu saja, tidak lebih dari  $180^\circ$ . Masing-masing sudut harus diukur dua atau empat kali untuk mengurangi galat-galat instrumen, dan ditentukan sebuah harga purata.

**12-2.4. PENGUKURAN POLIGON DENGAN SUDUT KE KANAN.** Sudut-sudut diukur searah jarum jam dari bidikan belakang pada garis sebelumnya [lihat Gambar 12-1(b)] disebut sudut-sudut ke kanan, atau azimut-azimut dari garis belakang. Prosedur yang dipakai mirip dengan pengukuran poligon azimut kecuali bahwa bidikan belakang dibuat dengan piringan terbaca nol dan bukan azimut belakang. Sudut-sudut dapat dicek (dan diperbaiki) dengan pengukuran rangkap dua, atau diuji harga kasarnya dengan pembacaan kompas. Selalu memutar sudut searah jarum jam menghilangkan kekacauan dalam pencatatan dan penggambaran, serta cocok dengan susunan pembagian skala pada semua transit dan teodolit, termasuk instrumen-instrumen reiterasi.

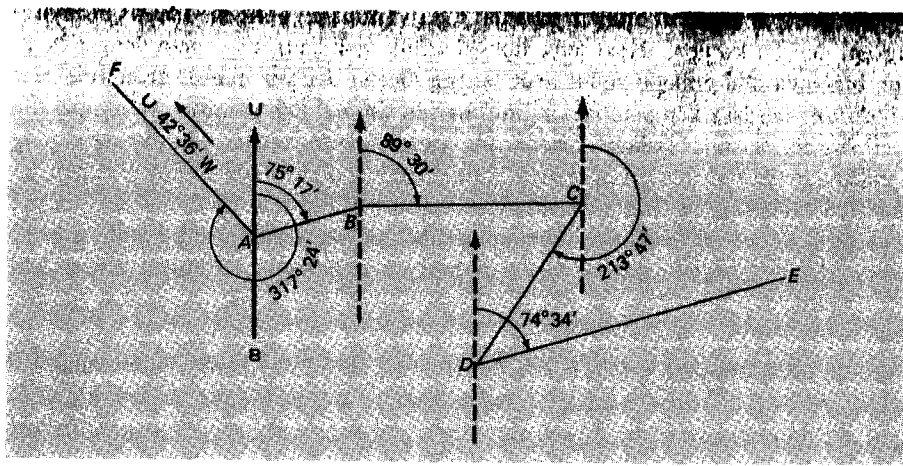
Seperti dikemukakan dalam Bab 8, sudut-sudut belokan dapat diperoleh dengan mengurangi  $180^\circ$  dari sudut-sudut ke kanan.

Gambar 12-2. Poligon terbuka.



**12-2.5. PENGUKURAN DENGAN AZIMUT.** Pengukuran-pengukuran topografik sering dilaksanakan dengan azimut, sebuah proses yang langsung memberikan pembacaan azimut semua garis, jadi tidak memerlukan hitungannya. Dalam Gambar 12-3, azimut diukur searah jarum jam dari ujung utara meridian lewat titik sudut. Transit diorientasikan di setiap pemasangan instrumen dengan bidikan pada titik sebelumnya dengan azimut belakang pada lingkaran (jika sudut berputar ke kanan) atau azimut garis di piringan (jika yang diputar adalah sudut belokan) seperti dijelaskan dalam Paragraf 11-7.

**12-3. PENGUKURAN PANJANG.** Panjang masing-masing garis poligon biasanya diperoleh dengan cara paling sederhana dan paling ekonomis yang memenuhi persyaratan kesaksamaan proyeknya. Alat-alat elektronik dan pengukuran dengan pita paling sering digunakan dan



Gambar 12-3. Poligon azimut.

memberikan tingkat ketelitian paling tinggi. Bila dipakai EDM, prosedurnya disebut *pengukuran poligon elektronik*. Jarak-jarak yang diukur pada kedua arah secara optis menghasilkan kontrol yang cocok untuk berbagai jenis pekerjaan, misalnya pemetaan topografik kesaksamaan-rendah. Untuk suatu pekerjaan geologis atau pertanian, pengukuran jarak dengan langkah boleh jadi sudah cukup teliti.

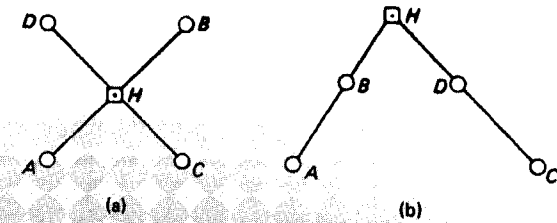
Kesaksamaan yang ditentukan untuk sebuah poligon untuk menetapkan batas-batas adalah berdasarkan nilai tanah dan biaya pengukuran. Pada pekerjaan konstruksi, batas kesalahan penutup yang dibolehkan tergantung pada pemakaian dan luas poligon, serta jenis proyeknya. Penempatan jembatan misalnya, menuntut kesaksamaan tinggi.

Dalam poligon tertutup, tiap garis diukur dan dicatat sebagai jarak terpisah. Pada poligon panjang terbuka untuk jalan raya dan jalan baja, jarak-jarak dibawa beruntun bersinambungan dari stasiun awal. Dalam Gambar 12-2 misalnya, mulai dengan stasiun 0 + 00 di titik A, stasiun-stasiun 100-ft (1 + 00, 2 + 00, 3 + 00, dan 4 + 00) ditandai hingga patok B dicapai pada stasiun 4 + 00,0. Kemudian stasiun-stasiun 5 + 00, 6 + 00, 7 + 00, 8 + 00, dan 8 + 19,6 dipasang sepanjang arah BC ke C, dan seterusnya. Panjang garis sebuah poligon terbuka adalah selisih antara stasiun-stasiun ujungnya; jadi, panjang garis BC adalah  $819,6 - 400,0 = 419,6$ .

**12-4. MEMILIH TITIK POLIGON.** Kedudukan yang dipilih untuk memasang stasiun poligon beragam menurut jenis pengukuran. Pada pengukuran hak milik, stasiun diletakkan pada tiap pojok jika garis batas-sebenarnya tidak terhalang dan dapat diduduki alat. Jika garis-simpang diperlukan, sebuah pancang ditempatkan dekat tiap pojok untuk menyederhanakan pengukuran dan hitungan. Garis-garis panjang dan tanah berbukit boleh jadi memerlukan stasiun-stasiun tambahan.

Pada pengukuran jalur lintas, stasiun-stasiun diletakkan di tiap titik sudut dan lokasi lainnya di mana perlu untuk memperoleh data topografik atau memperluas pengukuran. Biasanya garis sumbu ditentukan sebelum konstruksi mulai, dan dibuat lagi setelah selesai. Sebuah poligon-simpangan perlu selama tahap-tahap penggusuran tanah dan pengerasan permukaan jalan pada pekerjaan jalan raya.

Poligon yang diukur untuk penetapan titik dasar pemetaan topografik berlaku sebagai kerangka untuk acuan detail seperti jalan, bangunan, sungai dan bukit. Lokasi stasiun harus



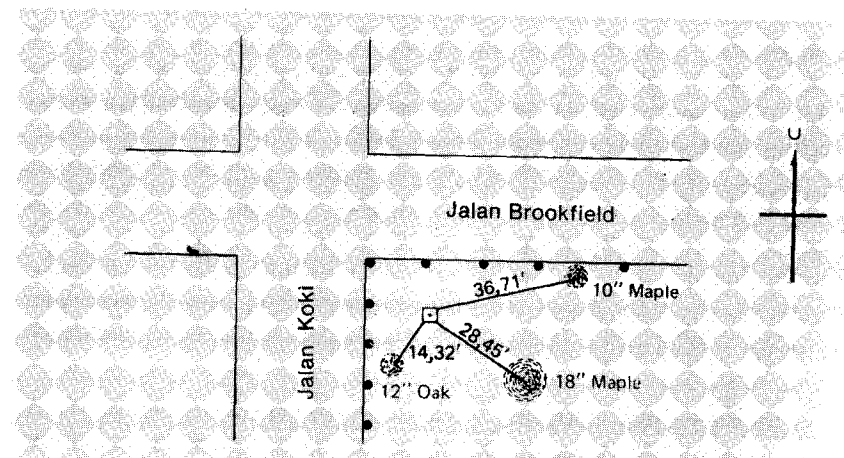
Gambar 12-4. Patok-patok untuk ikatan.

dipilih agar dapat meliputi seluruh wilayah yang dipetakan. *Cabang* yang terdiri dari satu garis atau lebih, dapat membentuk poligon terbuka untuk mencapai titik-titik yang menguntungkan. Tetapi pemakaian cabang-cabang demikian tidak dianjurkan, karena kedudukan lainnya tidak dapat dicek.

Stasiun-stasiun poligon, seperti titik tetap duga (bench marks), bisa hilang kalau tidak dijelaskan dan dijaga seperlunya. *Pengikatan* dipakai untuk membantu menemukan titik pengukuran, atau untuk menetapkan kembali titik itu bila hancur. Gambar 12-4(a) memperlihatkan sebuah susunan *patok-patok hadap* yang cocok untuk mengikat sebuah titik di jalan raya atau di tempat lain. Patok poligon H dapat ditemukan dengan memotongkan benang-benang terentang antara titik ikat berhadapan diagonal bila tak terlalu panjang jarak-jaraknya. Patok-patok dalam posisi digambarkan oleh Gambar 12-4(b) kadang-kadang digunakan tetapi tidak disukai untuk perentangan benang. Pada susunan manapun dari keduanya, titik potong garis-garis bidik dua pemasangan teodolit di A dan C, serentak diarahkan ke B dan D berturut-turut, akan menemukan kembali titik itu.

Gambar 12-5 dan Gambar D-2 dalam Apendiks D menggambarkan contoh ikatan poligon. Jarak-jarak pendek (kurang dari 100 ft) memudahkan bila sedang dipakai pita baja, tetapi tentu saja jarak ke titik unik dan tertentu adalah faktor pengontrol. Dua ikatan, lebih disukai yang hampir tegak lurus satu sama lain, sudah cukup, tetapi bila dibuat

Gambar 12-5. Mengikatkan titik.



tiga masih memudahkan kalau sebuah rusak. Ikatan ke pohon dapat diukur dalam per-seratusan foot bila digunakan paku yang ditancapkan.

**12-5. PENGATURAN REGU LAPANGAN.** Jenis pengukuran dan tanahnya menentukan besarnya regu yang diperlukan. Satu orang mengukur jarak dengan langkah dapat mengukur poligon kompas sendirian; seorang pengamat/pencatat dengan seorang petugas rambu dapat melaksanakan poligon jarak-optis; tiga orang — seorang pemegang instrumen dan dua petugas pita yang juga bertindak sebagai petugas rambu — telah cukup untuk sebuah pengukuran transit-pita; dan sebuah regu terdiri dari dua orang telah cukup untuk pengukuran poligon elektronik. Dalam kebanyakan kasus, tambahan petugas untuk mencatat dan melayani rambu akan mempercepat pekerjaan, tetapi produksi yang ditingkatkan harus diimbangi biaya yang lebih besar untuk menugaskan anak buah. Seorang petugas pita depan yang giat dan bersemangat adalah lebih berharga daripada seorang yang cepat melayani instrumen dalam menjaga gerak sebuah regu pengukuran rekayasa.

Pada beberapa pengukuran lebih baik ada kepala regu yang bebas bergerak ke sana ke mari dan mengumpulkan informasi tentang garis, stasiun, tanda-tanda acuan, nama-nama pemegang hak milik, dan butir-butir lainnya. Pemegang instrumen atau petugas pita depan dapat bertindak sebagai pemimpin regu, tetapi keluangan geraknya menjadi terbatas.

Di wilayah bersemak atau berhutan, satu atau dua orang dengan kampak dan/atau pemotong semak mungkin diperlukan untuk merintis jalur.

**12-6. CATATAN POLIGON.** Pentingnya pembuatan catatan telah dibicarakan dalam Bab 3. Karena sebuah poligon merupakan hasil akhir pada pengukuran hak milik dan dasar untuk semua data lain dalam pemetaan, sebuah kesalahan atau penghapusan saja dalam pencatatan sudah terlalu banyak. Oleh karena itu harus dibuat segala pengecekan yang mungkin baik di lapangan maupun di kantor. Contoh-contoh catatan lapangan untuk poligon-poligon sudut-dalam dan azimuth ditunjukkan berturut-turut pada Gambar D-8 dan Gambar 11-8.

**12-7. KESALAHAN-PENUTUP SUDUT.** Kesalahan-penutup sudut untuk poligon sudut dalam adalah selisih antara jumlah sudut-sudut terukur dan jumlah sudut poligon yang benar secara geometris. Jumlah sudut-sudut dalam pada sebuah poligon tertutup,  $\Sigma$ , adalah

$$\Sigma = (n - 2)180^\circ \quad (12-1)$$

di mana  $n$  adalah banyaknya sisi atau sudut pada poligon. Rumus ini dengan mudah dijabarkan dari kenyataan yang diketahui. Jumlah sudut dalam segitiga adalah  $180^\circ$ ; dalam segiempat,  $360^\circ$ ; dan dalam segilima,  $540^\circ$ . Jadi setiap sisi yang ditambahkan pada ketiga sisi dalam segitiga menaikkan jumlah sudut sebesar  $180^\circ$ .

Gambar 12-1(a) menunjukkan sebuah bentuk segilima di mana bila jumlah sudut-dalam terukur sama dengan  $540^\circ 02'$ , kesalahan penutup sudut adalah 2 menit. Kesalahan penutup yang dibolehkan didasarkan pada terjadinya galat acak yang dapat meningkatkan atau menurunkan jumlah sudut-sudut terukur. Ini dapat dihitung dengan rumus

$$c = K\sqrt{n} \quad (12-2)$$

di mana  $n$  adalah banyaknya sudut dan  $K$  adalah pecahan (a) satuan nonius transit atau (b) pembagian terkecil skala teodolit, dalam menit atau sekon. Pecahan tergantung pada banyaknya repetisi yang dipakai dan ketelitian sudut yang diinginkan.

Untuk pekerjaan transit biasa, harga  $K$  yang wajar adalah  $\frac{1}{3}$  sampai 1 menit, dan kesalahan penutup untuk segilima 1 sampai 2 menit.

Jumlah aljabar sudut-sudut belokan dalam poligon tertutup segibanyak adalah  $360^\circ$ , dengan anggapan belokan searah jarum jam (kanan) plus dan lawan arah jarum jam (kiri) minus. Ketentuan ini berlaku bila garis-garis tidak saling potong, atau kalau garis-garis memotong sebanyak kali bilangan genap. Bila garis-garis berpotongan sebanyak kali bilangan ganjil, jumlah belokan kanan sama dengan jumlah belokan kiri.

Bila dipakai sebuah transit, pembacaan sudut-sudut arah magnetik juga membantu menetapkan sudut putaran kiri yang salah catat menjadi ke kanan. Pengecekan ada tersedia pada sudut-sudut arah dihitung dari sudut-sudut belokan sebuah poligon terbuka. Arah atau sudut arah-sebenarnya garis pertama boleh ditentukan dari dua stasiun yang saling dapat melihat dengan azimuth diketahui antara keduanya, atau dari pengamatan matahari atau Polaris, seperti yang dijelaskan dalam Bab 19. Sudut-sudut terukur dipakai untuk menghitung sudut arah semua garis termasuk yang terakhir, dan kemudian membandingkannya dengan harganya yang diketahui atau hasil yang diperoleh dari pengukuran matahari atau Polaris yang lain. Pada poligon panjang, garis-garis antara dapat dicek dengan cara yang sama. Penting untuk memperhatikan sudut arah magnetik sebagai pembuktian kasar. Walaupun tak dapat dibaca barangkali lebih dekat daripada 15 menit, akan terungkap kesalahan sudut yang serius. Untuk poligon segibanyak tertutup, sudut arah garis pertama seharusnya selalu dihitung kembali, memakai sudut terakhir untuk pengecekan setelah maju mengelilingi bentuk poligon.

Poligon azimuth segibanyak tertutup dicek dengan memasang alat pada titik awal kedua kalinya setelah menduduki stasiun-stasiun berturut-turut keliling poligon dan mengorientasikan dengan azimuth belakang. Azimuth sisi pertama seharusnya sama dengan harga semula. Kalau ada perbedaan, selisihnya adalah kesalahan penutup. Jika titik pertama tidak ditempati kembali, sudut-sudut dalam yang dihitung dari azimuth-azimuth akan dengan sendirinya mengecek jumlah geometrik yang tepat walaupun salah satu azimuth atau lebih adalah tidak benar.

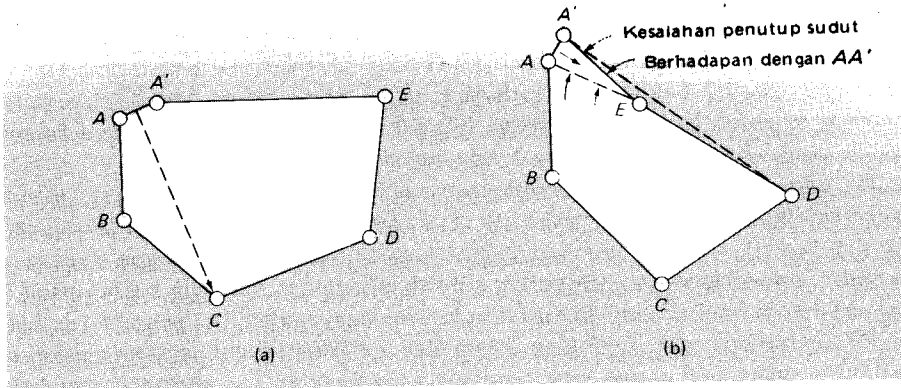
Sebuah *garis pintas*, misalnya *CE* pada Gambar 12-1(a), dibuat antara dua stasiun pada poligon, menghasilkan bentuk-bentuk tertutup yang lebih kecil untuk membantu dalam pengecekan dan mengucilkan kesalahan besar. Pengukuran-pengukuran tambahan meningkatkan pengamatan-lebih dan karenanya meningkatkan kesaksamaan.

Sebuah cara untuk mengecek poligon terbuka adalah dengan mengadakan pengukuran serangkaian garis terpisah dengan tingkat kesaksamaan sama atau kurang, untuk menutup poligon. Bidikan-bidikan panjang dan jarak-jarak optis boleh dipakai, misalnya, untuk memperoleh pengecekan kasar.

Pengecekan lain untuk poligon terbuka adalah memperoleh koordinat titik-titik awal dan akhir dengan pengikatan ke titik yang diketahui kedudukannya, karenanya berubah menjadi poligon tertutup, dan membandingkan selisih koordinat terhitung dengan harga sebenarnya. Sistem koordinat bidang datar negara bagian telah dibentuk oleh National Geodetic Survey untuk tiap negara bagian (lihat Bab 21), dan tugu-tugu tetap telah dipasang untuk dipakai oleh semua juru-ukur. Hitungan koordinat untuk pelajaran poligon dibicarakan dalam Bab 13.

Analisa numeris atau grafis dapat dipakai untuk menentukan letak sebuah kesalahan dan menghemat banyak waktu lapangan.<sup>1</sup> Sebagai contoh, bila jumlah sudut-dalam poligon sisi-lima memberikan kesalahan penutup yang buruk — misalnya  $10^\circ 03'$  — mungkin saja

<sup>1</sup>Libat Dana E. Low, 1954, "Menentukan Galat Pembacaan Sudut dalam Poligon-poligon Panjang," *Civil Engineering* 24:738.



Gambar 12-6. Menentukan letak galat sudut.

telah terjadi satu kesalahan  $10^\circ$  dan beberapa galat kecil sebesar 1 menit. Cara untuk menentukan letak stasiun secara grafis di mana terjadi kesalahan, sehingga hanya satu titik perlu diduduki kembali, akan dijelaskan. Prosedur yang ditunjukkan untuk poligon sisi-lima dapat dipakai untuk poligon dengan banyak sisi sembarang.

Dalam Gambar 12-6(a), poligon telah digambar dengan memakai panjang dan sudut terukur, menunjukkan adanya kesalahan penutup linier sebesar  $AA'$ . Garis tegak lurus di titik tengah garis  $AA'$  menunjuk pada sudut yang salah — dalam hal ini, C. Sebuah koreksi yang diberikan kepada sudut ini akan memutar poligon untuk menghilangkan galat linier  $AA'$ .

Jika, seperti dalam Gambar 12-6(b), ada titik sudut kedua yang terletak dekat garis tegak lurus titik tengah  $AA'$ , maka stasiun di mana terjadi galat adalah stasiun yang bila di situ digambar kesalahan penutup sudutnya akan berhadapan dengan  $AA'$ . Dengan perkataan lain, jika kesalahan penutup sudut sama dengan  $AEA'$ , maka E adalah stasiun yang ada kesalahan; jika sama dengan  $ADA'$ , maka D adalah stasiun yang mempunyai galat.

Untuk kesalahan pada sebuah panjang garis poligon, curigailah sisi yang sejajar dengan arah garis penutup.

**12-8. SUMBER-SUMBER GALAT.** Beberapa sumber galat dalam pengukuran poligon adalah:

- Galat-galat dalam pengukuran sudut dan jarak.
- Pemilihan stasiun yang buruk, menyebabkan keadaan bidikan yang buruk akibat (a) berselang-seling panas dan teduh, (b) kenampakan hanya pada puncak rambu, (c) garis bidik lewat terlalu dekat permukaan tanah, (d) garis-garis yang terlalu panjang dan terlalu pendek, dan (e) pembidikan ke matahari.
- Lalai mengukur sudut-sudut biasa dan luar biasa yang sama banyaknya.

**12-9. KESALAHAN-KESALAHAN BESAR.** Beberapa kesalahan dalam pengukuran poligon adalah:

- Menempati atau membidik pada stasiun yang salah.

- Mengacukan sudut ke kanan dan kiri.
- Tidak mengambil tindakan lebih hati-hati dalam pengukuran sudut yang mempunyai satu atau dua kaki pendek.

### SOAL-SOAL

- 12-1. Terangkan perbedaan antara poligon tertutup dan terbuka. Berikan pendapat tentang baik buruknya pemakaian poligon terbuka.
- 12-2. Siapkan serangkaian jenis catatan lapangan untuk poligon sudut dalam tertutup Gambar 12-1(a). (Sehubungan dengan contoh ditunjukkan dalam Gambar D-8). Anggaplah sudut arah  $AB$  adalah  $U37^\circ 40' B$ . Panjang garis buatlah dengan skala dan sudut diukur dengan busur derajat.
- 12-3. Serupa Soal 12-2, kecuali untuk sudut-sudut ke kanan dalam poligon Gambar 12-1(b).
- 12-4. Serupa Soal 12-2, kecuali untuk sudut-sudut belokan dalam poligon Gambar 12-1(b).
- 12-5. Siapkan serangkaian jenis catatan lapangan untuk poligon tertutup Gambar 8-2(a). Panjang garis dengan skala.
- 12-6. Hitunglah dan buatlah tabel sudut-sudut arah untuk poligon Gambar 12-2.
- 12-7. Berapa jumlah sudut dalam seharusnya untuk poligon segibanyak yang tertutup dengan (a) 7 sisi? (b) 10 sisi? (c) 13 sisi?
- 12-8. Lima sudut-dalam dari sebuah poligon segibanyak tertutup bersisi-enam diukur sebesar:  $A = 95^\circ 10'$ ,  $B = 137^\circ 46'$ ,  $C = 69^\circ 32'$ ,  $D = 189^\circ 15'$ , dan  $E = 120^\circ 17'$ . Sudut di F tidak diukur. Bila semua sudut terukur dianggap benar, berapa harga sudut F?
- 12-9. Berapakah jumlah aljabar yang benar sudut-sudut belokan 8 Ka dan 5 Ki pada sebuah poligon segibanyak, bila dianggap (a) tak ada garis saling potong? (b) garis-garis berpotongan sekali?
- 12-10. Empat sudut belokan sebuah poligon tertutup lima-sisi, tanpa satupun berpotongan, diukur sebesar:  $A = 135^\circ 28' Ka$ ,  $B = 82^\circ 14' Ka$ ,  $C = 91^\circ 07' Ka$ , dan  $D = 129^\circ 56' Ka$ . Sudut di E tidak diukur. Bila semua sudut terukur dianggap benar, berapakah harga sudut E?
- 12-11. Bagaimana dapat diperoleh pengecekan sudut pada sebuah poligon azimuth tertutup? Pada poligon azimuth tertutup dengan sebuah garis pintas?
- 12-12. Mengapa cara penempatan patok acuan pada Gambar 12-4(b) umumnya tidak sebaik pada Gambar 12-4(a)?
- 12-13. Tuliskan empat pertimbangan berkaitan dalam memilih lokasi untuk (a) stasiun-stasiun poligon dan (b) ikatan.
- 12-14. Apakah dua alasan utama pengikatan stasiun poligon?
- 12-15. Jika galat standar untuk tiap pengukuran sudut poligon adalah  $\pm 15$  sekon, berapakah galat standar yang diharapkan penutup dalam jumlah sudut poligon enam-sisi?
- 12-16. Jika sudut-sudut sebuah poligon diputar sehingga galat 99% sembarang sudut adalah  $\pm 1$  menit, buktikan bahwa galat 90% penutup untuk poligon 12-sisi sama dengan  $\pm 1' \sqrt{12}$ .
- 12-17. Dalam pengukuran sebuah poligon azimuth, jika nivo piringan pada transit menyimpang antara pembacaan bidikan belakang dan bidikan depan, haruskah diseimbangkan kembali sebelum mengambil pembacaan bidikan depan? Terangkan.
- 12-18. Azimut sebenarnya dari utara garis  $AB$ , diperoleh dari koordinat tugu-tugu di A dan B adalah  $111^\circ 28'$ . Setelah transit di stasiun A telah diorientasikan pada azimuth ini, titik C dibidik dan azimuthnya ternyata  $159^\circ 12'$ . Poligon sudut belokan terbuka  $ABCDEFGHI$  kemudian diukur dan terbaca sudut-sudut sebagai berikut:  $C = 4^\circ 27' Ki$ ;  $D = 10^\circ 48' Ki$ ;  $E = 7^\circ 35' Ka$ ;  $F = 3^\circ 18' Ka$ ;  $G = 6^\circ 52' Ka$ ; dan  $H = (\text{ke } I) - 5^\circ 06' Ki$ . Sudut arah  $IH$  sebenarnya yang ditetapkan dengan pengamatan Polaris adalah  $U23^\circ 20' B$ . Apakah sudut-sudut poligon itu dapat diterima untuk pekerjaan biasa? Terangkan.

12-19. Jika stasiun A dalam Soal 12-18 adalah pada stasiun 10 + 00 dan patok I di stasiun 73 + 50, berapakah kesaksamaan pengukuran linier yang akan panggah dengan kesaksamaan sudut-sudut?

Sudut-sudut arah tercatat dan jarak-jarak untuk sebuah poligon, tertulis dalam Soal 12-20 sampai dengan 12-23. Jika jarak-jarak itu dianggap benar, sudut arah yang manakah yang paling mungkin salah?

12-20.  $AB = U51^{\circ}11'T, 340 \text{ ft}; BC = S18^{\circ}55'T, 262 \text{ ft}; CD = S30^{\circ}05'B, 414 \text{ ft};$  dan  $DA = U15^{\circ}49'B, 378 \text{ ft}.$

12-21.  $AB = U2^{\circ}58'T, 205 \text{ ft}; BC = U42^{\circ}58'T, 150 \text{ ft}; CD = S42^{\circ}02'T, 200 \text{ ft};$  dan  $DA = S59^{\circ}20'B, 297 \text{ ft}.$

12-22.  $AB = U18^{\circ}03'B, 996 \text{ ft}; BC = S74^{\circ}27'B, 598 \text{ ft}; CD = S16^{\circ}43'T, 548 \text{ ft}; DE = S74^{\circ}47'B, 335 \text{ ft}; EF = S17^{\circ}13'T, 564 \text{ ft};$  dan  $FA = U57^{\circ}32'T, 956 \text{ ft}.$

12-23.  $AB = U64^{\circ}30'T, 437 \text{ ft}; BC = S23^{\circ}30'T, 236 \text{ ft}; CD = S32^{\circ}30'B, 244 \text{ ft}; DE = U75^{\circ}30'B, 324 \text{ ft};$  dan  $EA = U23^{\circ}30'B, 163 \text{ ft}.$

## DAFTAR PUSTAKA

- Mattson, D.F. 1973. "Pengkaitan Acuan Sudut". *Surveying and Mapping*, 33 (no. 1): 33.
- O'Neill, J.B. 1962. "Poligon Titik Kontrol di Musim Dingin di Canada." *Surveying and Mapping* 12 (no. 2): 11.
- Phillips, J.O. 1967. "Poligon Elektronik lawan Triangulasi." *ASCE Journal of the Surveying and Mapping Division* '93(no. SU2): 29.

# 13

## HITUNGAN POLIGON

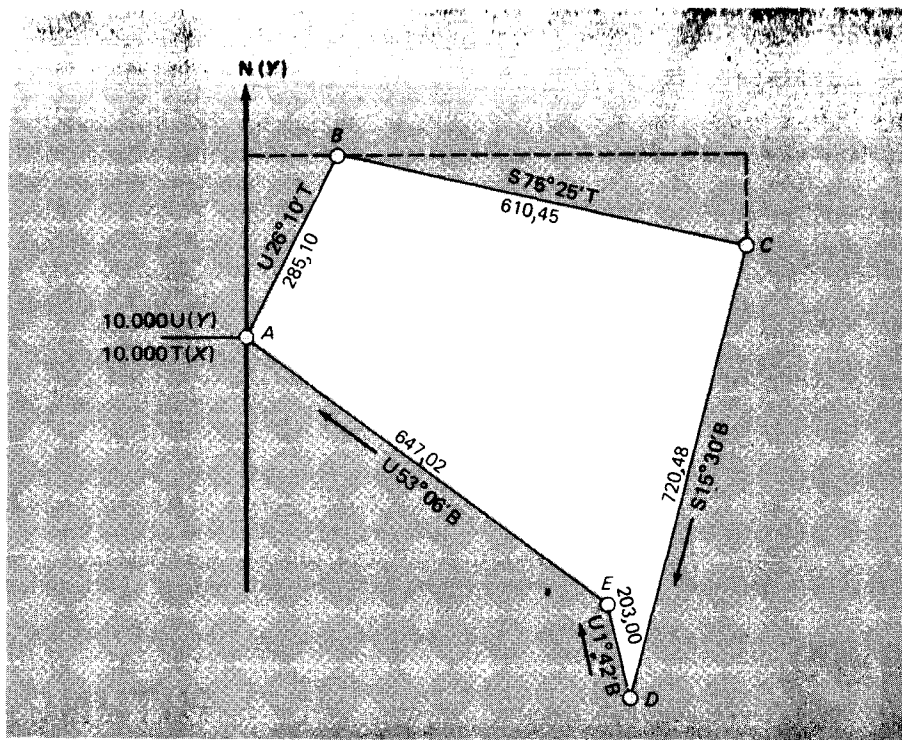
**13-1. PENGANTAR.** Sudut-sudut atau arah-arah terukur sebuah poligon tertutup mudah diselidiki sebelum meninggalkan lapangan. Pengukuran-pengukuran linier, jika diukur dengan pita walaupun diulang, adalah sangat mungkin merupakan sumber galat dan juga harus dicek. Walaupun hitungan-hitungan lebih panjang lebar daripada pengecekan sudut-sudut, dengan kalkulator saku masa kini dapat juga dikerjakan di lapangan untuk menentukan sebelum meninggalkan apakah poligon telah memenuhi persyaratan kesaksamaan. Jika ketentuan-ketentuan telah dipenuhi, kemudian poligon diratakan untuk menciptakan "penutup" yang sempurna atau kepanggahan geometris di antara sudut-sudut dan sisi-sisi; bila tidak, pengukuran lapangan harus diulang sampai diperoleh hasil-hasil yang cukup.

Penyelidikan kesaksamaan, dan diterima atau ditolaknya data lapangan, adalah sangat penting dalam pengukuran tanah. Perataan untuk kesalahan penutup geometrik juga gawat; misalnya pada pengukuran persil, undang-undang biasanya mengharuskan bahwa penjelasan hak milik mengandung kecocokan geometrik yang tepat.

Prosedur-prosedur biasa yang diikuti dalam hitungan poligon, semuanya dibicarakan dalam bab ini, adalah (1) perataan sudut-sudut atau arah-arah menurut persyaratan geometrik tertentu, (2) penentuan sudut-sudut arah atau azimut, (3) menghitung perubahan Y dan perubahan X dan meratakannya untuk penentuan kesalahan penutup, dan (4) menghitung koordinat-koordinat tegaklurus stasiun-stasiun poligon.

**13-2. MENGOREKSI SUDUT-SUDUT.** Langkah pertama dalam hitungan poligon adalah





Gambar 13-1. Poligon.

TABEL 13-1. PERATAAN SUDUT

TITIK	METODE 2			METODE 3			
	SUDUT YANG DIUKUR	PERATAAN	SUDUT YANG DIRATAKAN	KELIPATAN KOREKSI PURATA	KOREKSI DIBULATKAN MENJADI 30"	SELISIH SUDUT	SUDUT YANG DIRATAKAN
A	100°44'30"	0"	100°44'30"	18"	30"	30"	100°44'
B	101°35'	30"	101°34'30"	36"	30"	0"	101°35'
C	89°05'30"	0"	89°05'30"	54"	60"	30"	89°05'
D	17°12'	30"	17°11'30"	72"	60"	0"	17°12'
E	231°24'30"	30"	231°24'00"	90"	90"	30"	231°24'
	540°01'30"	90"	540°00'00"			90"	540°00'

Dalam metode 2, koreksi-koreksi sebaiknya diberikan kepada sudut-sudut yang diharapkan mempunyai galat terbesar. Dalam kasus ini, 30 sekon dikurangkan dari sudut-sudut B, D, dan E, karena ketiganya mempunyai bidikan-bidikan terpendek. Perataan dalam cara ini ditunjukkan dalam bagian kiri Tabel 13-1. Jika hanya puncak anjir di C yang kelihatan dari pemasangan alat di B, seluruh koreksi sebesar 1'30" bisa saja dikurangkan dari sudut di B.

Metode 3 terdiri atas pengurangan  $1'30''/5 = 18''$  dari masing-masing sudut. Karena sudut-sudut terbaca dalam kelipatan  $\frac{1}{2}$  menit, menerapkan koreksi 18" memberikan kesan palsu pada kesaksamaannya. Oleh karena itu lebih baik menetapkan sebuah pola koreksi, seperti yang ditunjukkan pada bagian kanan Tabel 13-1. Mula-mula ditabelkan pada kolom, kelipatan dari koreksi purata 18 sekon, di sebelah sudut-sudutnya. Dalam kolom berikutnya, masing-masing kelipatan dibulatkan sampai 30 sekon terdekat. Selisih-selisih urut (perataan untuk masing-masing sudut) didapat dengan mengurangkan harga sebelumnya dalam kolom pembulatan koreksi dari harga yang bersangkutan. Sudut-sudut diratakan yang diperoleh dengan memakai perataan ini harus berjumlah tepat sama dengan jumlah menurut harga geometrik sebenarnya. Perataan membentuk sebuah pola dan memberikan perubahan bentuk poligon yang lebih sedikit daripada bila seluruh kesalahan penutup diberikan pada satu sudut saja.

Harus diperhatikan bahwa walaupun sudut-sudut diratakan memenuhi syarat geometrik sebuah bentuk tertutup, mungkin saja tidak lebih mendekati harga-harga sebenarnya dibanding sebelum perataan. Tidak seperti koreksi-koreksi pengukuran linier, perataan terhadap sudut-sudut tidak bergantung ukuran besarnya sudut.

**13-3. HITUNGAN SUDUT ARAH ATAU AZIMUT.** Hitungan sudut arah dan azimut dibicarakan dalam Bab 8. Harus dipakai sudut-sudut diratakan terhadap jumlah geometrik yang benar; kalau tidak maka sudut arah atau azimut garis pertama akan berbeda dengan harga hasil hitungan memakai kesalahan penutup sudut (didapat dengan penerapan sudut berturut-turut keliling poligon segibanyak tertutup).

**13-4. SELISIH ABSIS DAN ORDINAT.** Penutup poligon dicek dengan menghitung selisih absis dan ordinat tiap garis (jurusan). Selisih ordinat suatu jurusan adalah proyeksi ortografiknya pada sumbu pengukuran utara-selatan, dan sama dengan panjang jurusan dikalikan cos sudut arah atau azimutnya. Selisih ordinat disebut juga jarak utara atau jarak sela-

kan, karena seluruh galat diketahui (lihat Paragraf 12-7), walaupun agihannya secara tepat tidak diketahui.

Sudut-sudut sebuah poligon tertutup dapat dengan mudah diratakan menurut jumlah geometrik yang benar dengan penerapan salah satu dari tiga metode:

1. Koreksi-koreksi sembarang pada satu sudut atau lebih.
2. Koreksi-koreksi yang lebih besar diberikan kepada sudut-sudut di mana ada keadaan pengukuran yang lemah.
3. Sebuah koreksi rata-rata ditemukan dengan membagi seluruh kesalahan penutup sudut dengan banyaknya sudut.

#### CONTOH 13-1

Untuk poligon pada Gambar 13-1, sudut-sudut dalam terukur ada dalam Tabel 13-1. Hitunglah sudut-sudut diratakan memakai metode 2 dan 3.

#### PENYELESAIAN

Hitungan-hitungan sebaiknya disusun seperti ditunjukkan dalam Tabel 13-1.

Bagian pertama perataan terdiri atas penjumlahan sudut-sudut dalam dan menentukan kesalahan penutup menurut Pers. (12-1), yang dalam hal ini adalah +1'30". Hitungan-hitungan selanjutnya dimasukkan tabel, dan dasar pemikiran prosedurnya mengikuti.

Untuk pekerjaan dengan kesaksamaan biasa, wajar bila memakai koreksi-koreksi yang merupakan kelipatan genap dari (a) satuan nonius transit, (b) angka tercatat atau angka desimal terkecil untuk pembacaan teodolit, atau (c) angka terpakai atau angka desimal



Selisih absis sebuah jurusan adalah proyeksi ortografiknya pada sumbu pengukuran timur-barat, dan sama dengan panjang jurusan dikalikan sin sudut arah atau azimuthnya. Selisih absis kadang-kadang disebut *jarak timur* atau *jarak barat*.

Dalam bentuk persamaan, selisih absis dan ordinat sebuah garis adalah

$$\text{selisih ordinat} = L \cos \alpha \quad (13-1)$$

$$\text{selisih absis} = L \sin \alpha \quad (13-2)$$

di mana  $L$  adalah panjang dan  $\alpha$  adalah sudut atau azimuth jurusan.

Selisih absis dan selisih ordinat tak lain adalah komponen-komponen  $X$  dan  $Y$  sebuah garis dalam sistem kisi tegaklurus, kadang-kadang disebut  $\Delta X$  dan  $\Delta Y$ . Dalam hitungan poligon jarak utara  $\Delta Y$  dan jarak timur  $\Delta X$  dianggap plus;  $\Delta Y$  jarak selatan dan  $\Delta X$  jarak barat dianggap minus. Untuk sudut arah, besarnya selalu antara  $0$  dan  $90^\circ$ ; karenanya sin dan cos-nya selalu positif. Tanda aljabar yang sesuai untuk selisih absis dan selisih ordinat, karenanya diberikan atas dasar arah sudut-arah, jadi garis dengan sebuah sudut arah UT mempunyai selisih absis dan ordinat plus, jurusan dengan sudut arah SB memperoleh selisih absis dan ordinat minus, dan seterusnya.

Azimuth yang dipakai dalam menghitung selisih absis dan ordinat berkisar dari  $0$  sampai  $360^\circ$ , dan tanda-tanda aljabar sin dan cos dengan sendirinya menghasilkan tanda-tanda aljabar yang sesuai untuk selisih absis dan selisih ordinat. Jadi sebuah garis dengan azimuth sebesar  $137^\circ 30'$  mempunyai  $\Delta Y$  negatif dan  $\Delta X$  positif (cos-nya negatif dan sin-nya positif); sebuah jurusan dengan azimuth  $323^\circ 18'$  mempunyai  $\Delta Y$  positif dan  $\Delta X$  negatif. Komputer elektronik dan kalkulator tangan dengan fungsi-fungsi trigonometrik secara otomatis menambahkan tanda-tanda aljabar yang benar pada  $\Delta X$  dan  $\Delta Y$  dari tanda-tanda sin dan cos-nya. Ini menunjukkan bahwa azimuth mudah untuk hitungan poligon.

**13-5. SYARAT-SYARAT PENUTUP X DAN Y.** Selain persyaratan sudut pada penutup poligon yang dibicarakan pada Paragraf 13-2, dua syarat lain dapat ditegaskan dalam hitungan poligon. Kedua syarat itu adalah (1) jumlah aljabar seluruh  $\Delta Y$  poligon segibanyak tertutup [lihat Gambar 12-1(a)] harus sama dengan nol [atau selisih  $\Delta Y$  antara titik kontrol awal dan akhir untuk poligon tertutup pada Gambar 12-1(b)], dan (2) hal yang sama berlaku pada  $\Delta X$ .

**13-6. HITUNGAN SELISIH ABSIS DAN SELISIH ORDINAT.** Hitungan  $\Delta Y$ ,  $\Delta X$ , kesalahan penutup linier, dan kesaksamaan untuk poligon segibanyak tertutup, akan dijelaskan dengan sebuah contoh. Sudut-sudut dalam Contoh 13-1 telah dipakai untuk menghitung sudut-sudut arah pada Gambar 13-1. Ini berdasarkan sebuah sudut arah yang diketahui untuk garis  $AB$   $U26^\circ 10' T$  dan dihitung dengan prosedur yang dijelaskan pada Bab 8. Perhatikanlah pada gambarnya bahwa semua sudut arah (yang memakan tempat lebih banyak) diberi huruf tulisan di luar poligon, dan panjangnya masing-masing di dalam. Susunan ini dapat dibalik, tetapi harus ada pengambilan keputusan yang pangkah. *Panah-panah menunjukkan arah sudut arah yang benar untuk jurusan-jurusan di mana sudut arah terbaca dari kiri ke kanan tetapi sebenarnya diukur dari kanan ke kiri.*

#### CONTOH 13-2

Berdasarkan sudut-sudut arah dan sisi-sisi pada Gambar 13-1, hitunglah  $\Delta Y$  dan  $\Delta X$ , kesalahan penutup linier, dan kesaksamaan poligon.

#### PENYELESAIAN

TABEL 13-2. HITUNGAN  $\Delta Y$  DAN  $\Delta X$

STASIUN	SUDUT ARAH	PANJANG	COS	SIN	$\Delta Y$	$\Delta X$
A						
B	$U26^\circ 10' T$	285,10	0,897515	0,440984	+255,88	+125,72
C	$S75^\circ 25' T$	610,45	0,251788	0,967782	-153,70	+590,78
D	$S15^\circ 30' B$	720,48	0,963630	0,267238	-694,28	-192,54
E	$U1^\circ 42' B$	203,00	0,999560	0,029666	+202,91	-6,02
F	$U53^\circ 06' B$	647,02	0,600420	0,799685	+388,49	-517,41
A					$\Sigma = -0,70$	$\Sigma = +0,53$

formulir baku yang disiapkan, tersusun seperti ditunjukkan dalam Tabel 13-2. Formulir formulir dicetak dengan garis dan judul kolom untuk menghemat waktu dan memudahkan pengecekan. Kolom-kolom sin dan cos biasanya dihilangkan karena hanya membuang waktu bila dibuat sedangkan kalkulator elektronik dewasa ini mempunyai fungsi-fungsi trigonometrik.

$\Delta Y$  dan  $\Delta X$  dapat dihitung dalam formulir berbeda yang dibuat mirip dengan Tabel 13-3. Ini adalah tabel gabungan, yang juga termasuk perataan  $\Delta Y$  dan  $\Delta X$ . Tabel ini sering lebih disukai terutama bila memakai kalkulator elektronik.

Dengan menjumlahkan  $\Delta Y$  utara (+) dan selatan (-) diperoleh kesalahan penutup  $\Delta Y$ ,  $-0,70$  ft, dan penjumlahan  $\Delta X$  timur (+) dan barat (-) menghasilkan kesalahan penutup  $\Delta X$ ,  $+0,53$  ft. *Kesalahan penutup linier* adalah sisi miring segitiga siku-siku bersisi  $0,70$  ft dan  $0,53$  ft, dan merupakan jarak dari titik awal  $A$  ke titik terhitung  $A'$  atas dasar panjang sisi-sisi dan sudut-sudut arah diratakan yang dipakai. Pada contoh ini kesalahan penutup linier adalah  $0,88$  ft (lihat Tabel 13-3). Kesalahan penutup tidak boleh disebut galat, karena galat sebenarnya tak pernah diketahui.

*Kesaksamaan* poligon dinyatakan dengan pecahan yang mempunyai kesalahan penutup linier sebagai pembilang dan jumlah sisi poligon sebagai penyebut, direduksi dalam bentuk perbandingan. Dalam contoh (lihat Tabel 13-3) ini adalah  $0,88/2466 = 1/2800$ . Penyebut diambil tak lebih dari kelipatan 100 atau mungkin kelipatan 10, berdasarkan banyaknya angka terpakai pada harganya. Perhatikan bahwa galat acak dan barangkali galat sistematis baik pada sudut-sudut maupun jarak-jarak mempengaruhi kesaksamaan *terhitung*, dan karena perataan sudut dibuat pada awalnya, kesaksamaan sebenarnya tidak diperoleh.

Berbagai proyek memerlukan ketelitian yang berbeda, dan beberapa pengukuran harus memenuhi ketentuan-ketentuan secara ketat bila pekerjaan ingin diterima dan dibayar. Persyaratan kesaksamaan untuk pengukuran poligon titik kontrol ditulis dalam Bab 20 Kesaksamaan yang diperlukan untuk pengukuran hak milik dapat ditentukan oleh undang-undang negara bagian (misalnya, minimum  $\frac{1}{7500}$  di Minnesota) dan oleh kota-kota serta county (bagian dari state, negara bagian). Kota kecil mungkin menentukan  $\frac{1}{5000}$ ; dan wilayah metropolitan besar,  $\frac{1}{10.000}$ .

**13-7. METODE-METODE PERATAAN POLIGON.** Untuk sembarang poligon tertutup, kesalahan penutup linier harus diagihkan ke seluruh poligon untuk menutup bentuknya. Ini juga dikerjakan walaupun kesalahan penutup dapat diabaikan dalam penggambaran poligon pada skala peta. Lima metode dasar untuk perataan poligon adalah (1) metode

sembarang, (2) aturan transit, (3) aturan Bowditch atau kompas, (4) metode Crandall, dan (5) metode kuadrat terkecil.

**13-7.1. METODE SEMBARANG.** Metode ini tidak sejalan dengan aturan atau persamaan tertentu. Nyatanya kesalahan penutup linier diagihkan secara bebas menurut analisa juru-ukur atas dasar keadaan yang ada di lapangan. Sebagai contoh, jurusan yang diukur dengan pita pada tanah yang sulit sehingga sering memerlukan penguntingan dan membagi pita mungkin akan mengandung galat-galat yang lebih besar daripada jurusan di tanah datar; oleh karena itu, jurusan semacam itu diberi koreksi-koreksi yang lebih besar. Seluruh kesalahan penutup diagihkan dalam cara kebijaksanaan ini untuk memenuhi persyaratan matematis – yaitu membuat agar jumlah-jumlah aljabar  $\Delta Y$  dan  $\Delta X$  sama dengan nol. Metode perataan poligon ini sederhana untuk dilaksanakan dan memberikan pemakaian bobot yang masuk akal berdasarkan ketelitian yang diharapkan dari masing-masing pengukuran.

**13-7.2. ATURAN TRANSIT.** Secara teoritis aturan transit adalah lebih baik untuk pengukuran-pengukuran di mana sudut-sudut diukur dengan ketelitian lebih tinggi daripada jarak-jarak, misalnya pengukuran takimetri, tetapi dalam praktek jarang dipakai karena diperoleh hasil-hasil berbeda untuk tiap meridian yang mungkin. Koreksi-koreksi dikerjakan dengan aturan sebagai berikut:

$$\frac{\text{koreksi pada } \Delta Y \text{ untuk } AB}{\text{kesalahan penutup } \Delta Y} = \frac{\Delta Y \text{ dari } AB}{\text{jumlah mutlak seluruh } \Delta Y} \quad (13-3)$$

$$\frac{\text{koreksi pada } \Delta X \text{ untuk } AB}{\text{kesalahan penutup } \Delta X} = \frac{\Delta X \text{ dari } AB}{\text{jumlah mutlak seluruh } \Delta X} \quad (13-4)$$

**13-7.3. ATURAN KOMPAS (BOWDITCH).** Aturan kompas atau aturan Bowditch, sesuai untuk pengukuran-pengukuran di mana jarak-jarak dan sudut-sudut diukur dengan kesaksamaan sama, merupakan aturan yang paling umum dipakai dalam praktek. Aturan ini cocok untuk pengukuran transit dengan pita ukur di mana sudut-sudut diukur sampai 1 atau  $\frac{1}{2}$  menit terdekat dan jarak diukur dengan pita sampai 0,01 ft, serta untuk poligon elektronik di mana sudut-sudut diukur dengan teodolit dan jarak-jarak diukur dengan instrumen EDM. Koreksi-koreksi dibuat atas dasar aturan sebagai berikut:

$$\frac{\text{koreksi untuk } AB \text{ pada } \Delta Y}{\text{kesalahan penutup } \Delta Y} = \frac{\text{panjang } AB}{\text{jumlah panjang poligon}} \quad (13-5)$$

$$\frac{\text{koreksi untuk } AB \text{ pada } \Delta X}{\text{kesalahan penutup } \Delta X} = \frac{\text{panjang } AB}{\text{jumlah panjang poligon}} \quad (13-6)$$

Penerapan kedua aturan transit dan aturan kompas menganggap semua jarak diukur dengan kecermatan sama dan semua sudut diukur dengan kesaksamaan sama. Kalau tidak, maka harus diberikan bobot-bobot yang sesuai pada masing-masing sudut atau jarak. Kesalahan penutup yang kecil dapat diatur agihannya dengan pemeriksaan.

TABEL 13-3. PERATAAN  $\Delta Y$  DAN  $\Delta X$  DENGAN ATURAN KOMPAS (BOWDITCH)

STA.	PANJANG	SUDUT ARAH	$\Delta Y$		$\Delta X$		TERKOREKSI		KOORDINAT	
			UTARA +	SELATAN -	TIMUR +	BARAT -	$\Delta Y$	$\Delta X$	Y (JARAK UT.)	X (JARAK TIM.)
A	285,10	$U 26^{\circ} 10' T$	+0,08 255,88		-0,06 125,72		U 255,96	T 125,66	10.000,00	10.000,00
B	610,45	$S 75^{\circ} 25' T$	+0,17 153,70		-0,13 590,78		S 153,53	T 590,65	10.255,96	10.125,66
C	720,48	$S 15^{\circ} 30' B$	+0,21 694,28		-0,15 192,54		S 694,07	B 192,69	10.102,43	10.716,31
D	203,00	$U 1^{\circ} 42' B$	+0,06 202,91		-0,05 6,02		U 202,97	B 6,07	9408,36	10.523,62
E	647,02	$U 53^{\circ} 06' B$	+0,18 388,49		-0,14 517,41		U 388,67	B 517,55	9611,33	10.517,55
A	2466,05		+847,28	-847,98 +847,28	+716,50 -715,97	-715,97	0,00	0,00	10.000,00	10.000,00

Kesalahan penutup: -0,70 +0,53

Kesalahan penutup linier =  $\frac{\sqrt{0,70^2 + 0,53^2}}{0,88} = 0,88 \text{ ft}$   
Kesaksamaan =  $\frac{2466}{2800}$

**CONTOH 13-3**

Ratakanlah  $\Delta Y$  dan  $\Delta X$  pada Contoh 13-2 memakai aturan kompas

## PENYELESAIAN

Dalam menerapkan koreksi-koreksi dengan aturan kompas, bentuk ubahan Pers. (13-5) berikut ini lebih sederhana untuk dipakai:

$$\frac{\text{koreksi pada } \Delta Y}{(\Delta X) \text{ untuk } AB} = \frac{\text{kesalahan penutup pada } \Delta Y(\Delta X)}{\text{jumlah sisi poligon}} \times \text{panjang } AB$$

Dengan cara yang sama koreksi-koreksi lainnya ditemukan dengan pengalihan sebuah tetapan – perbandingan kesalahan penutup pada  $\Delta Y(\Delta X)$  dengan jumlah sisi poligon – dengan panjang sisi berturut-turut.

Dalam contoh 13-3 koreksi pada  $\Delta Y$  untuk  $AB$  adalah

$$\frac{+0,70}{2466} \times 285 = +0,08 \text{ ft}$$

dan koreksi untuk  $\Delta X$  dari  $BC$  adalah

$$\frac{-0,53}{2466} \times 610 = -0,13 \text{ ft}$$

Tiap-tiap koreksi biasanya ditulis dengan warna tinta berbeda atau ditulis dengan pensil di atas  $\Delta Y$  atau  $\Delta X$  yang dikoreksi. Dalam Tabel 13-3, koreksi-koreksi ditunjukkan dengan angka miring kecil. Pada contoh ini perataan ditambahkan secara aljabar pada  $\Delta Y$  utara dan selatan, untuk membuat jumlah  $\Delta Y$  utara dan selatan menjadi harga yang sama. *Perhatikan bahwa tanda-tanda aljabar daripada koreksi-koreksi berlawanan dengan tanda-tanda aljabar kesalahan penutup yang bersangkutan masing-masing.*

Koreksi-koreksi yang diterapkan pada harga-harga dalam tabel seharusnya menghasilkan (kesalahan) penutup sempurna. Dalam pembulatan, kelebihan atau kurang 0,01 ft mungkin ada, tetapi ini dihilangkan dengan mengubah salah satu koreksi.

**13-7.4. METODE CRANDALL.** Dalam perataan poligon metode Crandall, mula-mula kesalahan penutup sudut diagihkan sama besar pada semua sudut terukur. Sudut-sudut diratakan kemudian dianggap sudah pasti dan seluruh koreksi lainnya diberikan kepada pengukuran linier melalui prosedur kuadrat terkecil dengan bobot. Metode Crandall lebih makan waktu daripada prosedur aturan transit dan kompas, namun cocok untuk meratakan poligon yang pengukuran liniernya mengandung galat-galat acak yang lebih besar daripada pengukuran sudutnya – misalnya poligon jarak optis.

**13-7.5. METODE KUADRAT TERKECIL.** Metode kuadrat terkecil, berdasarkan teori kementakan, secara serentak meratakan pengukuran-pengukuran sudut dan linier untuk membuat agar jumlah kuadrat residual menjadi minimum. Metode ini berlaku untuk sembarang jenis poligon bagaimanapun kesaksamaan nisbi pengukuran sudut dan jaraknya, karena masing-masing kuantitas terukur dapat diberi bobot nisbi. Metode ini merupakan perataan poligon yang terbaik dan paling ketat, tetapi sampai akhir-akhir ini belum dipakai secara luas karena diperlukan hitungan yang panjang. Tersedianya komputer elektronik sekarang telah menyebabkannya menjadi hitungan rutin dan akibatnya metode kuadrat terkecil menjadi populer.

**13-8. KOORDINAT TEGAKLURUS.** Koordinat  $X$  dan  $Y$  tegaklurus daripada sembarang titik menetapkan posisinya terhadap sepasang sumbu acuan yang dipilih secara sembarang saling tegaklurus satu sama lain. Koordinat  $X$  adalah jarak tegaklurus, dalam feet atau

meter, dari titik ke sumbu  $Y$ , koordinat  $Y$  adalah jarak tegaklurus ke sumbu  $X$ . Walaupun sumbu sumbu acuan mempunyai kedudukan bebas, dalam pengukuran tanah biasanya diorientasikan sehingga sumbu  $Y$  menunjuk utara-selatan, dengan utara sebagai arah  $Y$  positif. Sumbu  $X$  terletak timur-barat, dengan timur sebagai arah  $X$  positif. Jika diberikan koordinat tegaklurus sejumlah titik, maka kedudukan nisbi titik-titik itu tertentu secara unik.

Koordinat itu berguna dalam berbagai hitungan termasuk (1) penentuan panjang dan arah garis-garis (lihat Paragraf 13-9); (2) menghitung luas bidang-bidang tanah (lihat Paragraf 14-6); (3) membuat kepastian hitungan kurve (lihat Paragraf 25-12); dan (4) menentukan lokasi titik-titik yang tak bisa dicapai. Koordinat juga menguntungkan untuk penggambaran poligon pada peta dasar (lihat Paragraf 17-12).

Dalam praktek, sistem-sistem *koordinat bidang datar negara bagian*, seperti dijelaskan dalam Bab 21, adalah paling sering dipakai sebagai dasar untuk koordinat tegaklurus dalam pengukuran tanah datar. Tetapi untuk hitungan dapat dipakai sistem sembarang. Sebagai contoh, sebuah stasiun poligon dapat diberi koordinat dengan harga sembarang. Untuk menghindari harga negatif  $X$  dan  $Y$ , sebuah pusat koordinat dianggap ada di selatan dan barat poligon sedemikian rupa sehingga sebuah patok mempunyai koordinat  $X = 1000$ ,  $Y = 1000$  atau harga lain yang sesuai. Dalam poligon tertutup, untuk menghemat waktu hitungan, titik paling selatan dianggap  $Y = 0$  dan titik paling barat  $X = 0$ .

Bila koordinat  $X$  dan  $Y$  suatu titik awal  $A$  diberikan, maka koordinat  $Y$  titik berikutnya ( $B$ ) diperoleh dengan menambahkan  $\Delta Y$  garis  $AB$  pada  $Y_A$ . Dengan cara sama, koordinat  $X_B$  adalah  $\Delta X$  garis  $AB$  ditambahkan pada  $X_A$ . Dalam bentuk persamaan ini menjadi

$$\begin{aligned} Y_B &= Y_A + \Delta Y \text{ garis } AB \\ X_B &= X_A + \Delta X \text{ garis } AB \end{aligned} \quad (13-7)$$

Proses itu dilanjutkan sekeliling poligon, berturut-turut menambahkan  $\Delta Y$  dan  $\Delta X$  sehingga koordinat titik awal  $A$  dihitung kembali. Bila koordinat terhitung kembali tepat sama dengan koordinat awal, maka sudah diperoleh pengecekan koordinat seluruh titik antara (kecuali sudah terjadi kesalahan-pampas).

### CONTOH 13-4

Memakai  $\Delta Y$  dan  $\Delta X$  yang diratakan diperoleh dalam Contoh 13-3 (lihat Tabel 13-3) dan koordinat awal  $X_A = Y_A = 10.000,00$ , hitunglah koordinat titik-titik poligon lainnya.

## PENYELESAIAN

Proses penambahan  $\Delta Y$  dan  $\Delta X$  diratakan berturut-turut untuk memperoleh koordinat dilaksanakan dalam dua kolom paling kanan pada Tabel 13-3. Perhatikan bahwa koordinat awal  $X_A = 10.000,00$  dan  $Y_A = 10.000,00$  dihitung kembali pada akhirnya untuk memperoleh pengecekan.

**13-9. JARAK DAN SUDUT ARAH DARI  $\Delta Y$  DAN  $\Delta X$ , ATAU KOORDINAT (INVERSI).** Bila  $\Delta Y$  dan  $\Delta X$  sebuah garis diketahui, panjang dan sudut arahnya (atau azimutnya) dengan mudah diperoleh dari hubungan-hubungan sebagai berikut:

$$\text{tg sudut arah (atau azimut)} = \frac{\Delta X}{\Delta Y} \quad (13-8)$$

$$\text{panjang jarak} = \frac{\Delta X}{\sin \text{ sudut arah (atau azimut)}} \quad (13-9)$$

$$= \frac{\Delta Y}{\cos \text{ sudut arah (atau azimut)}} \quad (13-10)$$

$$= \sqrt{(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2} \quad (13-11)$$

Persamaan-persamaan (13-7) dapat ditulis kembali untuk menyatakan  $\Delta Y$  dan  $\Delta X$  sebagai selisih-selisih koordinat sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\Delta Y_{AB} &= Y_B - Y_A \\ \Delta X_{AB} &= X_B - X_A\end{aligned}\quad (13-12)$$

Dengan memasukkan Pers. (13-12) ke dalam Pers. (13-8) sampai dengan (13-11), menghasilkan:

$$\text{tg sudut arah (atau azimut) } AB = \frac{X_B - X_A}{Y_B - Y_A} = \frac{\Delta X}{\Delta Y} \quad (13-13)$$

$$\text{panjang } AB = \frac{X_B - X_A \text{ (atau } \Delta X)}{\sin \text{ sudut arah (atau azimut) } AB} \quad (13-14)$$

$$= \frac{Y_B - Y_A \text{ (atau } \Delta Y)}{\cos \text{ sudut arah (atau azimut) } AB} \quad (13-15)$$

$$= \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2} \quad (13-16a)$$

atau

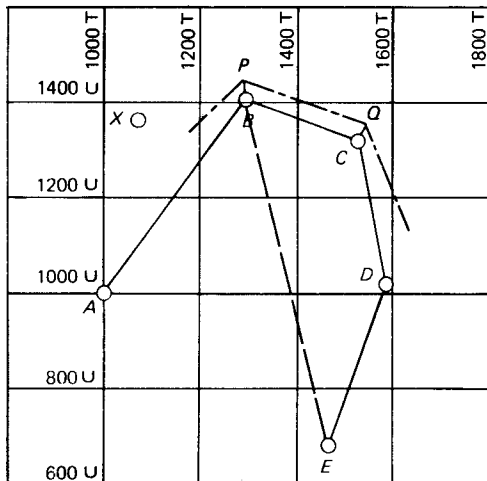
$$= \sqrt{(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2} \quad (13-16b)$$

Rumus-rumus di atas dapat diterapkan pada sembarang garis yang koordinatnya diketahui, baik benar-benar diukur maupun tidak dalam pengukuran tanah itu. Perhatikan bahwa  $X_B$  dan  $Y_B$  harus lebih dulu dicatat dalam Pers. (13-12) dan (13-13), sehingga didapat tanda aljabar yang benar untuk  $\Delta X$  dan  $\Delta Y$ . Menghitung panjang dan arah garis dari  $\Delta Y$  dan  $\Delta X$  (atau koordinat) disebut hitungan *inversi*.

### CONTOH 13-5

Data poligon dari  $A$  ke  $E$  dalam Gambar 13-2 diberikan dalam Tabel 13-4. Hitunglah panjang dan sudut arah garis-pintas  $BE$ .

Gambar 13-2. Penggambaran poligon.



TABEL 13-4. HITUNGAN UNTUK SEBUAH GARIS MENUTUP

TITIK	PANJANG	SUDUT ARAH	$\Delta Y$		$\Delta X$		KOORDINAT	
			UTARA	SELATAN	TIMUR	BARAT	Y	X
A							1000,0	1000,0
B	500,5	$U35^{\circ}30'T$	407,5		290,6		1407,5	1290,6
C	251,6	$S70^{\circ}10'T$		85,4	236,7		1322,1	1527,3
D	310,4	$S10^{\circ}50'T$		304,9	58,3		1017,2	1585,6
E	350,7	$S20^{\circ}18'B$		328,9		121,7	688,3	1463,9

### PENYELESAIAN

Dengan Pers.(13-12):

$$\Delta Y = Y_E - Y_B = 688,3 - 1407,5 = -719,2 \text{ ft}$$

$$\Delta X = X_E - X_B = 1463,9 - 1290,6 = 173,3 \text{ ft}$$

Dengan Pers. (13-13):

$$\text{tg sudut arah} = \frac{173,3}{-719,2} \text{ dan sudut arah } BE = S13^{\circ}33'T$$

Juga dengan Pers. (13-15) dan (13-16b):

$$\text{panjang } BE = \frac{-719,2}{\cos 13^{\circ}33'} = \sqrt{173,3^2 + 719,2^2} = 739,8 \text{ ft}$$

**13-10. HITUNGAN KOORDINAT PADA PENGUKURAN BATAS.** Hitungan sudut arah dari koordinat dua titik yang diketahui pada sebuah garis adalah masalah umum dalam pengukuran batas. Jika panjang dan arah garis dari titik poligon ke sudut-sudut sebidang tanah diketahui, koordinat titik-titik sudut dapat ditentukan, serta panjang dan sudut arah semua sisi dihitung.

### CONTOH 13-6

Pada Gambar 13-2,  $BC$  adalah garis poligon dan  $PQ$  adalah garis batas hak milik, yang tak dapat diukur langsung karena terhalang. Panjang dan azimut terukur adalah: untuk  $BP$ , 42,5 ft dan  $354^{\circ}50'$ ; untuk  $CQ$ , 34,6 ft dan  $26^{\circ}40'$ . Hitunglah panjang dan sudut arah garis hak milik  $PQ$ .

### PENYELESAIAN

Dari  $\Delta Y$  dan  $\Delta X$  garis-garis ini, didapat koordinat  $P$  dan  $Q$  sebagai berikut:

	Y	X	Y	X	
B	1407,5	1290,6	C	1322,1	1527,3
BP	+42,3	- 3,8	CQ	+30,9	+15,5
P	1449,8	1286,8	Q	1353,0	1542,8

Dari koordinat  $P$  dan  $Q$ , panjang dan sudut arah garis  $PQ$  didapat dengan cara sebagai berikut:

	Y	X
Q	1353,0	1542,8
P	-1449,8	-1286,8
PQ	$\Delta Y = -96,8$	$\Delta X = 256,0$

Dengan Pers. (13-13):

$$\text{tg sudut arah } PQ = \frac{256,0}{-96,8} \text{ dan } PQ = S69^{\circ}17'T$$

Dengan Pers. (13-16b):

$$\text{panjang } PQ = \sqrt{(96,8)^2 + (256,0)^2} = 273,7 \text{ ft}$$

Dengan melanjutkan metode ini sekeliling lapangan, koordinat seluruh titik sudut, panjang dan sudut arah semua garis dapat ditentukan.

**13-11. ORIENTASI POLIGON DENGAN KOORDINAT.** Jika diketahui koordinat sebuah stasiun poligon, seperti  $A$  dalam Gambar 13-2, dan sebuah titik  $X$  yang kelihatan, arah garis  $AX$  dapat dihitung dan dipakai untuk mengorientasikan transit atau teodolit di  $A$ . Dalam cara ini, azimut dan sudut arah garis-garis poligon diperoleh tanpa perlu mengadakan pengamatan astronomis. Prosedur ini dipakai di berbagai kota yang mempunyai tugu-tugu titik kontrol dan sistem koordinat.

Instansi-instansi federal, negara bagian, dan lokal akhirnya akan menyediakan tugu-tugu permanen saling berjarak dekat yang koordinatnya berdasarkan pengukuran titik kontrol saksama. Tanda-tanda semacam itu akan dapat dipakai untuk penentuan lokasi titik-titik sudut sembarang bidang tanah milik dengan teliti, baik dengan koordinat atau panjang dan sudut arah sebenarnya.

**13-12. SISTEM-SISTEM KOORDINAT BIDANG NEGARA BAGIAN (STATE PLANE COORDINATE SYSTEMS).** Dalam keadaan biasa, sistem koordinat tegaklurus untuk pengukuran tanah bidang datar akan sangat terbatas luasnya karena adanya kelengkungan bumi. Tetapi, National Geodetic Survey (NGS) mengembangkan sistem koordinat seluruh negara bagian untuk tiap negara bagian di Amerika Serikat yang mempertahankan ketelitian 1 bagian dalam 10.000 atau lebih baik, sementara menyesuaikan jarak-bumi-lengkung pada panjangnya dalam kisi bidang datar.

Koordinat bidang negara bagian dihubungkan dengan lintang dan bujur, sehingga stasiun-stasiun pengukuran titik kontrol yang ditetapkan oleh NGS dan lain-lain dapat diikatkan pada sistem itu. Kalau ada penetapan stasiun-stasiun tambahan dan koordinatnya ditentukan, maka titik-titik itu juga menjadi titik acuan yang berguna. Pada akhirnya, pengukuran lokal dan penetapan kembali secara teliti tanda-tanda berkoordinat yang hilang atau rusak, akan dapat dipermudah.

Beberapa kota dan *county* mempunyai sistem koordinat sendiri untuk pemakaian dalam menentukan lokasi jalan, saluran pembuangan limbah, hak milik, dan garis-garis lain. Karena luasnya terbatas dan akhirnya hanya sampai perbatasan kota atau perbatasan county, sistem lokal demikian tidak begitu disukai dibanding sistem kisi seluruh negara bagian.

Sistem kisi militer dipakai untuk menunjukkan dengan tepat lokasi-lokasi obyek dengan koordinat untuk pengendalian kebakaran dan tujuan-tujuan lain.



Gambar 13-3. Komputer-meja yang dapat diprogram untuk hitungan pengukuran dirangkai dengan mesin penggambar otomatis. (Atas kebaikan Hewlett-Packard Co.).

**13-13. HITUNGAN POLIGON DENGAN ALAT-ALAT ELEKTRONIK.** Kalkulator elektronik dan komputer telah menjadi benda sehari-hari dalam hitungan pengukuran dan khususnya berguna dalam hitungan poligon. Kalkulator saku dengan fungsi-fungsi trigonometri dewasa ini hampir mutlak diperlukan oleh seorang juru-ukur modern. Alat ini mudah dibawa, sehingga memudahkan penghitungan poligon dan pengkajian data lapangan untuk kesalahan penutup sebelum kembali ke kantor.

Berbagai kalkulator-meja dapat diprogram dari jenis terlihat pada Gambar 13-3 telah dikembangkan khususnya untuk pekerjaan pengukuran. Beberapa pabrik menyediakan program-program hitungan poligon dan program baku lainnya untuk dipakai dengan mesin mereka. Alat-alat ini mampu menangani poligon-poligon besar dan melaksanakan perataan kuadrat terkecil. Beberapa, seperti yang terlihat pada Gambar 13-3, dirangkai dengan sebuah tambahan perlengkapan untuk secara otomatis menggambar poligon dengan skala berapapun yang dipilih.

Program-program untuk memerintahkan komputer dapat ditulis dalam sebuah bahasa komputer baku. FORTRAN dan BASIC adalah dua bahasa yang umum dipakai untuk memprogram masalah-masalah pengukuran dan rekayasa. Sebuah program hitungan poligon sederhana ditulis dalam bahasa BASIC diberikan dalam Apendiks C. Program ini melaksanakan langkah-langkah pada Tabel 13-3, termasuk hitungan  $\Delta Y$  dan  $\Delta X$ , hitungan kesalahan penutup dan kesaksamaan, dan perataan menurut aturan kompas (Bowditch). Di samping itu, program menghitung koordinat-koordinat titik poligon dan luas dalam poligon.

**13-14. SUMBER-SUMBER GALAT DALAM HITUNGAN POLIGON.** Beberapa sumber galat dalam hitungan poligon adalah:

1. Perataan-perataan sudut,  $\Delta Y$  dan  $\Delta X$  yang tidak merupakan kerangkaan terjadinya galat-sebenarnya.
2. Pemberian koreksi-koreksi melebihi banyaknya angka di belakang koma dalam pengukuran aslinya.

**13-15. KESALAHAN-KESALAHAN BESAR.** Beberapa kesalahan yang lebih umum dalam hitungan poligon adalah:

1. Kelalaian meratakan sudut-sudut sebelum menghitung sudut-sudut arah.
2. Menerapkan perataan sudut pada arah yang salah dan lalai mengecek jumlah sudut untuk jumlah geometrik yang benar.
3. Saling tukar antara  $\Delta Y$  dan  $\Delta X$ , atau tanda-tandanya.
4. Mengacaukan tanda-tanda koordinat.

### SOAL-SOAL

13-1. Jumlah sembilan sudut dalam sebuah poligon segibanyak tertutup, masing-masing dibaca sampai menit terdekat, adalah  $1259^{\circ}54'$  Ratakan sudut-sudut dengan metode 1, 2 dan 3, dan jelaskan bila ada anggapan-anggapan.

13-2. Kesalahan penutup sebuah poligon sudut-belokan sisi-10 *ABCDEFGHIJA* dengan enam belokan kiri dan empat belokan kanan adalah +5 menit. Ratakan sudut-sudut dengan metode 1, 2 dan 3, dan jelaskan bila ada anggapan-anggapan.

13-3. Ratakan sudut-sudut dalam poligon azimut (dari utara) berikut ini dengan metode sembarang. Hitung dan tabelkan sudut-sudut arah, dengan menganggap azimut *AB* benar:  $AB = 166^{\circ}26'$ ;  $BC = 28^{\circ}35'$ ;  $CD = 58^{\circ}28'$ ;  $DE = 168^{\circ}44'$ ;  $EF = 89^{\circ}39'$ ;  $FA = 280^{\circ}12'$ ;  $AB = 166^{\circ}32'$ . Jelaskan kesalahan penutupnya.

13-4. Ratakan sudut-sudut dalam sebuah poligon segibanyak tertutup berikut ini memakai metode 3. Bila sudut arah sisi *AB* ditetapkan sebesar  $U87^{\circ}20'T$ , hitunglah sudut-sudut arah sisi-sisi lainnya.  $A = 89^{\circ}11'$ ;  $B = 91^{\circ}30'$ ;  $C = 101^{\circ}24'$ ;  $D = 156^{\circ}21'$ ;  $E = 196^{\circ}36'$ ;  $F = 85^{\circ}04'$ . (Semua sudut diukur ke kanan).

13-5. Hitunglah  $\Delta Y$  dan  $\Delta X$ , kesalahan penutup linier, dan kesaksamaan untuk poligon Soal 13-4 bila panjang sisi-sisi (dalam feet) adalah sebagai berikut:  $AB = 1651,51$ ;  $BC = 547,11$ ;  $CD = 415,91$ ;  $DE = 732,78$ ;  $EF = 534,29$ ; dan  $FA = 556,07$ .

\*13-6. Memakai aturan kompas (Bowditch), ratakan  $\Delta Y$  dan  $\Delta X$  poligon dalam Soal 13-5. Jika koordinat stasiun *A* adalah  $X = 10.000$  dan  $Y = 10.000$ , hitunglah koordinat untuk stasiun-stasiun lain dan kemudian panjang dan sudut arah garis-garis *AD* dan *EB*.

13-7. Ratakan sudut-sudut-dalam sebuah poligon segibanyak tertutup berikut ini sampai 0,1 menit terdekat memakai metode 3. Hitunglah sudut-sudut arah bila dianggap sudut arah garis *HI* yang benar adalah  $S54^{\circ}24,2'T$ .  $A = 121^{\circ}38,3'$ ;  $B = 91^{\circ}21,6'$ ;  $C = 183^{\circ}34,7'$ ;  $D = 56^{\circ}41,3'$ ;  $E = 315^{\circ}32,4'$ ;  $F = 49^{\circ}38,9'$ ;  $G = 255^{\circ}33,3'$ ;  $H = 5^{\circ}35,2'$ ;  $I = 180^{\circ}25,2'$ . (Semua sudut diukur searah jarum jam).

13-8. Tentukan  $\Delta Y$  dan  $\Delta X$ , kesalahan penutup linier, dan kesaksamaan untuk Soal 13-7 bila panjang sisi-sisi (dalam feet) adalah sebagai berikut:  $AB = 329,65$ ;  $BC = 263,41$ ;  $CD = 301,20$ ;  $DE = 334,94$ ;  $EF = 996,66$ ;  $FG = 962,54$ ;  $GH = 719,29$ ;  $HI = 1200,16$ ; dan  $IA = 622,05$ .

\*13-9. Memakai aturan kompas (Bowditch), ratakan  $\Delta Y$  dan  $\Delta X$  poligon dalam Soal 13-8. Jika koordinat stasiun *A* adalah  $X = 207.556,88$  dan  $Y = 95.431,53$ , hitunglah

koordinat untuk stasiun-stasiun lainnya dan, dari padanya, panjang dan sudut arah garis-garis *EA* dan *BG*.

\*13-10. Hitung dan tuliskan dalam tabel untuk poligon berikut (a) sudut-sudut arah, (b)  $\Delta Y$  dan  $\Delta X$ , (c) kesalahan penutup linier, dan (d) kesaksamaan. Untuk jenis pengukuran manakah ketelitiannya memuaskan?

GARIS	SUDUT DALAM (KANAN)	SUDUT ARAH	PANJANG (ft)
<i>AB</i>	$A = 128^{\circ}57'$	$U32^{\circ}21'T$	569,10
<i>BC</i>	$B = 138^{\circ}03'$		818,93
<i>CD</i>	$C = 110^{\circ}23'$		899,67
<i>DE</i>	$D = 125^{\circ}56'$		1070,79
<i>EF</i>	$E = 85^{\circ}56'$		1173,90
<i>FA</i>	$F = 130^{\circ}45'$		637,14

13-11. Dalam Soal 13-10, bila satu sisi dan/atau sudut merupakan sumber sebagian besar kesalahan penutup, yang manakah itu kiranya?

13-12. Ratakan poligon Soal 13-10 memakai aturan kompas (Bowditch). Jika koordinat titik *A* adalah  $5000,00U$  dan  $5000,00T$ , tentukan koordinat semua titik lainnya. Hitunglah panjang dan sudut arah garis *AE*.

Untuk poligon-poligon yang diberikan dalam Soal-soal 13-13 sampai dengan 13-15, hitunglah dan tabelkan (a)  $\Delta Y$  dan  $\Delta X$  yang diratakan, (b)  $\Delta Y$  dan  $\Delta X$  yang diratakan dengan aturan kompas maupun aturan transit untuk perbandingan, (c) kesalahan penutup linier, dan (d) kesaksamaan (panjang dalam feet).

JURUSAN	<i>AB</i>	<i>BC</i>	<i>CD</i>	<i>DA</i>
*13-13. SDT. ARAH	$U9^{\circ}28'T$	$U88^{\circ}13'T$	$S15^{\circ}58'B$	$U67^{\circ}32'B$
PANJANG	303,05	466,64	489,92	413,25
*13-14. SDT. ARAH	$U32^{\circ}T$	$S58^{\circ}T$	$S77^{\circ}B$	$U58^{\circ}B$
PANJANG	122,00	366,00	172,14	244,00
*13-15. SDT. ARAH	$S66^{\circ}40'T$	$U27^{\circ}05'T$	$U45^{\circ}15'B$	$S27^{\circ}07'B$
PANJANG	289,49	762,44	302,43	873,38

13-16. Aturan perataan poligon manakah, kompas atau transit, memutar poligon dengan sudut lebih besar? Terangkan.

13-17. Setelah perataan  $\Delta Y$  dan  $\Delta X$ , benarkah poligon menutup? Terangkan.

\*13-18. Hitunglah kesalahan penutup linier, kesaksamaan dan sudut-sudut arah baru untuk sisi-sisi setelah  $\Delta Y$  dan  $\Delta X$  diratakan dengan aturan kompas (Bowditch) dalam poligon berikut.

GARIS	PANJANG (m)	$\Delta Y$ (m)	$\Delta X$ (m)
<i>AB</i>	261,90	$U81,58$	$B248,78$
<i>BC</i>	575,92	$S538,33$	$B204,65$
<i>CA</i>	643,90	$U456,97$	$T453,63$

\*13-19. Ratakan dengan aturan transit  $\Delta Y$  dan  $\Delta X$  tertulis dalam poligon berikut. Hitunglah kesalahan penutup linier, kesaksamaan dan sudut arah baru.

GARIS	<i>AB</i>	<i>BC</i>	<i>CD</i>	<i>DA</i>
$\Delta Y$	$U190,55$	$S397,35$	$S152,20$	$U358,72$
$\Delta X$	$T64,09$	$B180,47$	$B199,33$	$T315,98$



- \*13-20. Dua pengukuran yang memberikan kesulitan luar biasa di lapangan dihilangkan dalam pengukuran sebuah batas tertutup, seperti ditunjukkan dalam catatan lapangan berikut. Hitunglah data yang hilang.

GARIS	JARAK	SUDUT ARAH	GARIS	JARAK	SUDUT ARAH
CD	1058,34	U80°15'T	EF	441,06	S17°15'B
DE	937,79	S87°37'T	FC	—	—

- \*13-21. Serupa Soal 13-20, tetapi pastikan data lapangan yang hilang ditunjukkan dalam catatan lapangan berikut. (Perhatikan: jarak CD sekitar 300 ft panjangnya).

GARIS	JARAK	SUDUT ARAH	GARIS	JARAK	SUDUT ARAH
AB	402,64	U88°43'T	DE	232,02	—
BC	261,87	S88°25'T	EA	466,83	U41°26'B
CD	—	S26°30'B			

Sudut-sudut arah sebuah poligon segibanyak tertutup adalah  $AB = U48^{\circ}15'T$ ;  $BC = S86^{\circ}10'T$ ;  $CD = S6^{\circ}10'B$ ; dan  $DA = U67^{\circ}13'B$ . Sisi yang manakah yang paling mungkin mengakibatkan kondisi kesalahan penutup pada Soal 13-22 sampai dengan 13-24? Apakah jurusan itu terlalu panjang atau terlalu pendek?

- 13-22. Jumlah aljabar  $\Delta Y = +66,57$  ft,  $\Delta X = +74,63$  ft.  
 13-23. Jumlah aljabar  $\Delta Y = -6,68$  ft,  $\Delta X = -9,97$  ft  
 13-24. Jumlah aljabar  $\Delta Y = -9,42$  ft,  $\Delta X = -1,08$  ft.  
 13-25. Tentukan panjang dan sudut arah sisi-sisi sebidang persil yang pojok-pojoknya mempunyai koordinat sebagai berikut:

	A	B	C	D
X	0	+150,50	-52,78	-94,65
Y	0	+100,00	+158,72	+31,87

- 13-26. Hitunglah panjang dan azimuth sisi-sisi sebuah poligon segibanyak tertutup yang titik-titik sudutnya mempunyai koordinat sebagai berikut:

	A	B	C	D
X	0	-231,85	+140,50	+383,91
Y	0	+419,63	+625,28	+215,08

- 13-27. Mengapa kesaksamaan kesalahan penutup poligon seharusnya tidak dinyatakan sebagai perbandingan misalnya  $1/9376,85$ ?  
 13-28. Apakah tujuan meratakan sudut-sudut,  $\Delta Y$  dan  $\Delta X$ , sebuah poligon tertutup? Setelah meratakan  $\Delta Y$  dan  $\Delta X$ , apakah sudut-sudut akan tertutup?  
 13-29. Dalam meratakan sudut-sudut terukur pada poligon, mengapa perataan tidak dibuat sebanding besarnya sudut?  
 13-30. Apakah manfaat-manfaat kesaksamaan poligon tertutup?  
 13-31. Dalam mencari catatan panjang dan sudut-arah-sebenarnya sebuah garis batas tertentu yang lurus antara A dan B, catatan berikut ditemukan berupa poligon acak yang lama (pengukuran dengan kompas dan rantai Gunter, deklinasi  $4^{\circ}45'T$ ). Hitunglah sudut arah-sebenarnya dan panjang BA.

GARIS	A-1	1-2	2-3	3-B
Sudut arah magnetik	Utara	U20°T	Timur	S46°30'T
Jarak (ch, rantai)	5,95	17,90	12,07	6,36

- 13-32. Sudut-sudut dalam sebuah poligon tertutup sisi empat ABCD semua diukur oleh pengamat sama memakai peralatan dan prosedur yang sama, kecuali sudut sudut di A dan B diputar empat kali (2B, 2LB) dan di C dan D delapan kali (4B, 4LB). Bila harga menengah di A, B, C dan D adalah  $42^{\circ}33,3'$ ,  $91^{\circ}15,1'$ ,  $77^{\circ}48,6'$  dan  $148^{\circ}20,6'$  berturut-turut, ratakan sudut-sudut untuk kesalahan penutup.

- 13-33. Seperti Soal 13-32, kecuali untuk poligon tertutup sisi-lima dengan A dan C diputar delapan kali (4B, 4LB) dan lainnya diulang enam kali (3B, 3LB), berturut-turut menghasilkan harga menengah di A, B, C, D, dan E  $19^{\circ}20,1'$ ,  $130^{\circ}03,6'$ ,  $66^{\circ}59,6'$ ,  $106^{\circ}28,4'$ , dan  $217^{\circ}11,9'$ .

## DAFTAR PUSTAKA

- Goussinsky, B. 1952. "Tiga Catatan tentang Poligon." *Surveying and Mapping* 12(no. 4): 397.  
 Montgomery, C.J. 1965. "Dampak Komputer Elektronik pada Hitungan Pengukuran." *Surveying and Mapping* 25(no. 1): 49.  
 Navyasky, M. 1974. "Meratakan Arah Terukur dengan Sudut-sudut memakai Bobot yang Adil." *Surveying and Mapping* 34(no. 4): 355.  
 Root, J.A. 1970. "Hitungan untuk Unsur-unsur yang Hilang pada Poligon Tertutup." *Surveying and Mapping* 30(no. 1): 91.  
 Stoughton, H.W. 1974. "Metode Pertama untuk Meratakan Poligon Berdasarkan Pertimbangan Statistis." *Surveying and Mapping* 34(no. 2): 145.  
 ———. 1975. "Menghitung Unsur-unsur Hilang sebuah Segibanyak." *Surveying and Mapping* 35(no.3): 217.  
 Tarczy-Hornoch, A. 1972. "Catatan tentang Hitungan untuk Unsur-unsur yang Hilang sebuah Poligon Tertutup." *Surveying and Mapping* 32(no. 4): 523.  
 Vreeland, R.R. 1969. "Perataan Poligon." *ASCE Journal of the Surveying and Mapping Division* 95(no. SU1): 25.

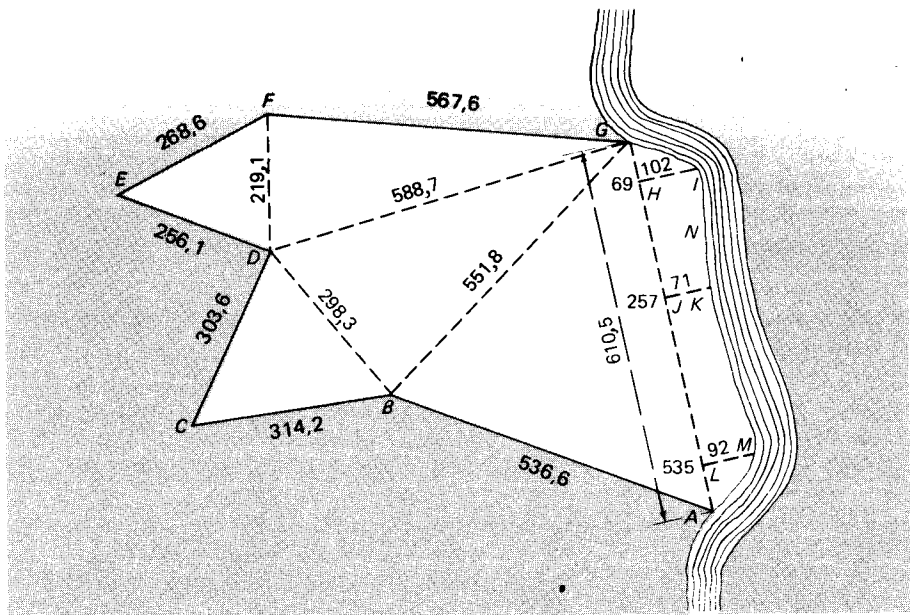
# 14

## LUAS

**14-1. PENGANTAR.** Sebuah alasan penting mengapa sebidang tanah dihitung luasnya adalah karena ukuran luas dalam acre atau foot persegi dimasukkan dalam akta tentang hak milik atas tanah. Tujuan lain adalah untuk menentukan ukuran luas wilayah dan danau dalam acre, serta berapa yard persegi permukaan harus diratakan, diperkeras, ditebari biji tanaman atau ditanami rumput. Sebuah penerapan khusus adalah penentuan luas ujung untuk hitungan volume pekerjaan tanah (lihat Bab 27). Dalam pengukuran tanah datar, ukuran luas dianggap adalah proyeksi wilayah pada bidang horisontal.

Satuan luas bidang tanah yang paling umum adalah *foot persegi*; untuk bidang-bidang tanah yang luas, satuannya acre:  $1 \text{ acre} = 43.560 \text{ ft}^2 = 10 \text{ ch}^2$  (rantai Gunter). Sebidang tanah berbentuk bujur sangkar dengan luas satu acre mempunyai sisi 208,71 ft. Dalam sistem metrik, luas diukur dalam meter persegi atau *hektar*:  $1 \text{ hektar} = 10.000 \text{ m}^2 = 2,471 \text{ acre}$ .

**14-2. CARA-CARA MENGUKUR LUAS.** Baik pengukuran lapangan maupun pengukuran peta dipakai untuk menentukan luas. Metode-metode *pengukuran lapangan* termasuk (1) pembagian bidang menjadi bentuk-bentuk sederhana (segitiga, empat persegi panjang dan trapesium), (2) simpangan-simpangan dari garis lurus, (3) jarak meridian ganda dan (4) koordinat. Cara umum untuk memperoleh data lapangan bagi prosedur (3) atau (4) adalah pengukuran poligon, di mana pojok-pojok tanah milik dipakai sebagai patok titik bentuk poligon segibanyak tertutup. Sebelum menghitung luas, poligon dicek untuk menemukan kesalahan penutup dan diratakan dengan salah satu metode yang dibicarakan dalam Paragraf 13-7.



Gambar 14-1. Penentuan luas dengan segitiga-segitiga.

Pengukuran peta dibuat dengan (1) membagi wilayah menjadi segitiga, (2) bujur-bujur sangkar koordinat, dan (3) menelusuri garis-garis batas wilayah dengan planimeter.

Masing-masing proses yang disebutkan tadi dibicarakan dan digambarkan dalam pokok pembicaraan yang berikut.

**14-3. LUAS DENGAN MEMBUAT SEGITIGA-SEGITIGA.** Sebidang tanah dapat dibagi menjadi bentuk-bentuk geometrik sederhana seperti segitiga-segitiga dalam Gambar 14-1. Luas segitiga yang sisinya diketahui dapat dihitung dengan rumus

$$\text{luas} = \sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)} \quad (14-1)$$

di mana  $a$ ,  $b$  dan  $c$  adalah sisi segitiga dan

$$s = \frac{1}{2}(a + b + c)$$

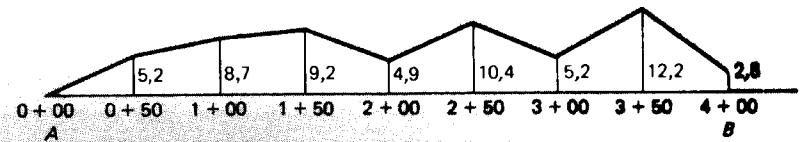
Rumus lain untuk luas segitiga adalah:

$$\text{luas} = \frac{1}{2}ab \sin C \quad (14-2)$$

di mana  $C$  adalah sudut antara sisi-sisi  $a$  dan  $b$ .

Luas wilayah adalah jumlah luas segitiga-segitiga. Jika Pers. (14-1) dipakai, setiap sisi dan garis pembagi harus diukur. Metode segitiga ini telah dipakai lebih sering sebelum penemuan transit untuk mengukur sudut. Sekarang, alat-alat ukur-jarak elektronik dan tersedianya komputer menyebabkan metode ini praktis lagi.

**14-4. LUAS DENGAN SIMPANGAN GARIS LURUS.** Bidang-bidang tanah tak teratur dapat disederhanakan menjadi sejumlah trapesium dengan simpangan tegaklurus dari titik-



Gambar 14-2. Luas dengan simpangan-simpangan.

titik pada interval teratur sepanjang garis lurus terukur, seperti ditunjukkan dalam Gambar 14-2.

Luas didapat dengan rumus

$$\text{luas} = b \left( \frac{h_0}{2} + h_1 + h_2 + \dots + \frac{h_n}{2} \right) \quad (14-3)$$

di mana  $b$  adalah panjang interval bersama antara simpangan-simpangan dan  $h_0, h_1, \dots, h_n$  adalah simpangan-simpangan.

**CONTOH 14-1**

Hitung luas tanah pada Gambar 14-2.

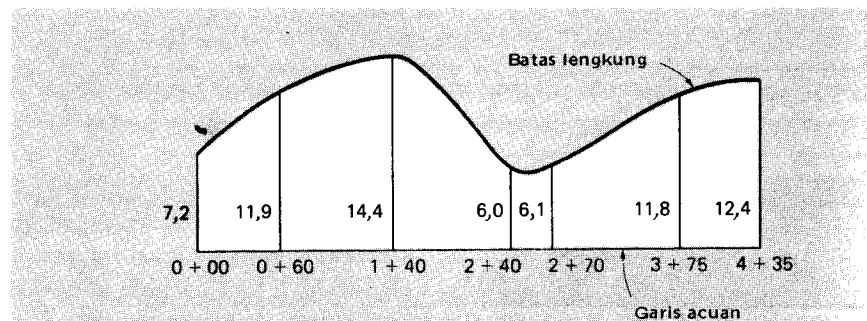
Dengan Pers. (14-3):

$$50 \left( 0 + 5,2 + 8,7 + 9,2 + 4,9 + 10,4 + 5,2 + 12,2 + \frac{2,8}{2} \right) = 2860 \text{ ft}^2$$

Di dalam contoh, jumlah simpangan (suku-suku di dalam kurung) dapat diperoleh dengan metode jalur-kertas di mana luas digambar menurut skala dan ordinat-tengah tiap trapesium berturut-turut ditambahkan dengan yang lain secara grafis dengan tanda titik pada sejalar panjang kertas. Luas diperoleh dengan jalan mengalikan  $b$  dengan jumlah ordinat-tengah yaitu dari tanda titik pertama sampai titik terakhir.

Untuk batas-batas yang tak beraturan seperti pada Gambar 14-3, selang-selang antara simpangan-simpangan pada garis acuan harus diatur sedemikian rupa sehingga batas yang melengkung antara dua ujung simpangan dapat diganti dengan garis lurus yang cukup tepat mengganti lengkungan itu.

Gambar 14-3. Luas dengan simpangan-simpangan untuk bidang tanah dengan batas garis-garis lengkung.



**CONTOH 14-2**

Hitunglah luas bidang tanah pada Gambar 14-3.

$$\frac{1}{2}[60(7,2 + 11,9) + 80(11,9 + 14,4) + 100(14,4 + 6,0) + 30(6,0 + 6,1) + 105(6,1 + 11,8) + 60(11,8 + 12,4)] = 4492 \text{ ft}^2$$

**14-5. LUAS DENGAN METODE JARAK-MERIDIAN-GANDA.** Bila diketahui selisih-selisih ordinat dan absis garis-garis batas, maka luas bidang tanah mudah dihitung dengan metode jarak-meridian-ganda. *Jarak meridian sebuah jurusan poligon adalah jarak tegak-lurus dari titik tengah jurusan sampai ke meridian acuan.* Untuk memudahkan masalah tanda aljabar, sebuah meridian acuan biasanya ditempatkan melalui stasiun poligon paling barat.

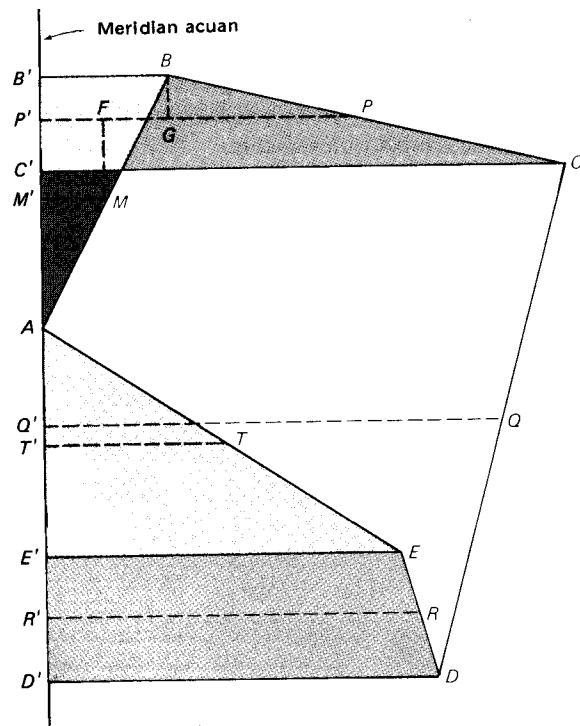
Pada Gambar 14-4 jarak-jarak meridian jurusan *AB, BC, CD, DE* dan *EA* adalah *MM', PP', QQ', RR', dan TT'* berturut-turut.

Untuk menyatakan *PP'* dalam jarak yang mudah, dibuat *MF* dan *BG* tegaklurus *PP'*. Kemudian

$$PP' = P'F + FG + GP \\ = \text{jarak meridian } AB + \frac{1}{2} \Delta X_{AB} + \frac{1}{2} \Delta X_{BC}$$

Jadi jarak meridian sebuah jurusan poligon sama dengan jarak meridian jurusan sebelumnya, ditambah setengah  $\Delta X$  jurusan sebelumnya, ditambah setengah  $\Delta X$  jurusan itu sendiri. Lebih sederhana bila memakai  $\Delta X$  penuh dari jurusan-jurusan. Oleh karena itu

Gambar 14-4. Jarak-jarak meridian dan hitungan luas poligon dengan metode DMD (double-meridian-distance, jarak meridian-ganda).



jarak jarak meridian-ganda (DMDs) sama dengan dua kali jarak-jarak meridian, yang dipakai dan pada akhir hitungan seluruhnya dibagi dua.

Berdasarkan pertimbangan tersebut, ketentuan umum yang berikut ini dapat diterapkan dalam menghitung DMDs: *DMD untuk suatu jurusan poligon sama dengan DMD jurusan sebelumnya, ditambah  $\Delta X$  jurusan sebelumnya, ditambah  $\Delta X$  jurusan itu sendiri.* Tanda-tanda aljabar  $\Delta X$ , timur plus dan barat minus, harus diperhatikan. Bila meridian acuan diambil melalui stasiun paling barat sebuah poligon tertutup dan hitungan DMDs dimulai dengan jurusan lewat stasiun itu, maka *DMD jurusan pertama adalah  $\Delta X$ -nya.* Menerapkan ketentuan ini, untuk poligon pada Gambar 14-4,

$$\text{DMD untuk } AB = \Delta X_{AB}$$

$$\text{DMD untuk } BC = \text{DMD untuk } AB + \Delta X_{AB} + \Delta X_{BC}$$

Pengecekan pada seluruh hitungan diperoleh bila DMD untuk jurusan terakhir, setelah menghitung sekeliling poligon, juga sama dengan  $\Delta X$ -nya tetapi dengan tanda berlawanan. Jika ada selisihnya, berarti selisih-selisih absis tidak diratakan dengan benar sebelum mulai, atau ada kesalahan dalam hitungan.

Wilayah yang dibatasi oleh poligon *ABCDEA* pada Gambar 14-4 dapat dinyatakan berdasar luas trapesium-trapesium (ditunjukkan dengan pulasan warna berbeda) sebagai:

$$B'BCC' + C'CDD' - (A'B'B + D'D'E'E + AEE') \quad (14-4)$$

Luas masing-masing bentuk sama dengan jarak meridian sebuah jurusan dikalikan selisih ordinat jurusan itu sendiri. Misalnya luas trapesium  $C'CDD' = Q'Q \times C'D'$ , di mana  $Q'Q$  dan  $C'D'$  berturut-turut adalah jarak meridian dan selisih ordinat garis *CD*. DMD sebuah jurusan dikalikan dengan selisih ordinatnya sama dengan dua kali luas. *Penjumlahan aljabar* seluruh luas-ganda menghasilkan *dua kali luas* wilayah yang dibatasi poligon seluruhnya.

Tanda-tanda aljabar hasilkali DMDs dengan selisih ordinat harus diperhatikan. Jika garis acuan dilewatkan melalui stasiun paling barat, semua DMDs adalah positif. Oleh karena itu hasilkali DMDs dengan selisih ordinat utara adalah plus, dan hasilkali DMDs dengan selisih ordinat selatan adalah minus.

**CONTOH 14-3**

Dengan memakai selisih ordinat dan absis yang diratakan dalam Tabel 13-3 untuk poligon Gambar 14-4, hitunglah DMD semua jurusan.

**PENYELESAIAN**

Hitungan-hitungan dijelaskan dalam Tabel 14-1.

**CONTOH 14-4**

Dengan memakai DMDs yang ditentukan dalam Contoh 14-3, hitunglah luas wilayah dalam poligon.

**PENYELESAIAN**

Hitungan untuk luas biasanya disusun seperti dalam Tabel 14-2, walaupun dapat diganti dengan bentuk gabungan. Diperoleh penjumlahan luas-ganda positif dan negatif, dan harga mutlak yang lebih kecil dikurangkan dari yang harga mutlaknya lebih besar. Hasilnya dibagi 2 untuk memperoleh luas (272.610 ft<sup>2</sup>), dan dibagi 43.560 untuk memperoleh luasnya dalam acre (6.258).

**TABEL 14-1. HITUNGAN DMDS**

$\Delta X_{AB} = + 125,66 =$ DMD untuk $AB$	
$\Delta X_{AB} = + 125,66$	
$\Delta X_{BC} = + 590,65$	
$+ 841,97 =$ DMD untuk $BC$	
$\Delta X_{BC} = + 590,65$	
$\Delta X_{CD} = - 192,69$	
$+ 1239,93 =$ DMD untuk $CD$	
$\Delta X_{CD} = - 192,69$	
$\Delta X_{DE} = - 6,07$	
$+ 1041,17 =$ DMD untuk $DE$	
$\Delta X_{DE} = - 6,07$	
$\Delta X_{EA} = - 517,55$	
$+ 517,55 =$ DMD untuk $EA$	Cocok

Jika jumlah luas-ganda minus adalah lebih besar daripada harga plusnya, ini hanya menunjukkan bahwa DMDs dihitung dengan berkeliling poligon searah dengan jarum jam. Jika arah jalur dari  $A$  lewat  $E, D, C$  dan  $B$  kembali ke  $A$ , jumlah luas-ganda plus akan lebih besar. Luas yang diukur lebih teliti dari foot persegi terdekat atau 0,001 acre tidak dapat dibenarkan untuk poligon di mana jarak-jarak telah diukur sampai 0,01 ft terdekat dan sudut-sudut dibaca sampai 1 atau  $\frac{1}{2}$  menit.

Sebagai pengecekan, luas dapat dihitung dengan *jarak-jarak-paralel-ganda* (DPDs, double parallel distances). *DPD untuk sebuah jurusan poligon sama dengan DPD garis sebelumnya, ditambah selisih ordinat jurusan sebelumnya, plus selisih ordinat jurusan itu sendiri.*

Tiga kolom terakhir dalam Tabel 14-2 menunjukkan hitungan luas dengan DPDs untuk poligon Gambar 14-4. Demikian juga tanda-tanda untuk selisih ordinat, utara plus dan selatan minus, harus dipakai dalam hitungan DPDs.

Semua hitungan pengukuran tanah yang penting harus dicek dengan memakai metode-metode berbeda, atau oleh dua orang yang memakai sistem sama. Sebagai contoh praktek yang baik, seseorang yang bekerja sendiri di kantor dapat menghitung luas dengan DMDs dan mengecek hasilnya dengan DPDs. Para juru-ukur dan insinyur berpengalaman memahami bahwa setengah jam yang dipakai untuk mengecek hitungan di lapangan dan kantor dapat menghilangkan frustrasi berkepanjangan di belakang hari.

**TABEL 14-2. HITUNGAN LUAS DENGAN DMDs DAN DPDs**

JU-RUSAN	DIRATAKAN $\Delta Y$	DIRATAKAN $\Delta X$	DMD	LUAS GANDA		DPD	LUAS GANDA	
				+	-		+	-
$AB$	U255,96	T125,66	+ 125,66	32.164		+ 255,96	32.164	
$BC$	S153,53	T590,65	+ 841,97		129.268	+ 358,39	211.683	
$CD$	S694,07	B192,69	+ 1239,93		860.598	- 489,21	94.266	
$DE$	U202,97	B6,07	+ 1041,17	211.326		- 980,31	5.951	
$EA$	U388,67	B517,55	+ 517,55	201.156		- 388,67	201.156	
Jumlah	0,00	0,00		444.646			545.220	00
				444.646				
				2) 545.220				
				272.610 ft <sup>2</sup> = 6,258 acre				

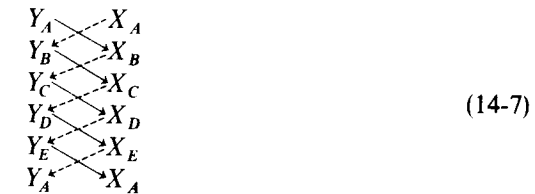
**14-6. LUAS DENGAN KOORDINAT.** Hitungan luas menjadi proses sederhana untuk poligon segibanyak tertutup yang diketahui koordinat tiap titik sudutnya. Prosedurnya dengan mudah dapat dikembangkan atas dasar Gambar 14-4. Karena jarak-jarak meridian ganda  $M'M$  dan  $P'P$  dinyatakan dengan koordinat adalah  $(X_B + X_A)$  dan  $(X_C + X_B)$  dan selisih ordinat garis-garis  $AB$  dan  $BC$  berturut-turut  $(Y_B - Y_A)$  dan  $(Y_C - Y_B)$ , kemudian berdasarkan pada penjumlahan luas trapesium, dapat ditulis rumus-rumus luas-ganda berikut ini:

$$2 \times \text{luas} = (X_C + X_B)(Y_C - Y_B) + (X_D + X_C)(Y_D - Y_C) + (X_E + X_D)(Y_E - Y_D) + (X_A + X_E)(Y_A - Y_E) + (X_B + X_A)(Y_B - Y_A) \quad (14-5)$$

Persamaan (14-5) sama dengan rumus luas-trapesium [Pers. (14-4)], kecuali bahwa dua hasilkali pertama adalah negatif karena  $(Y_C - Y_B)$  dan  $(Y_D - Y_C)$  adalah negatif, dan tiga hasilkali terakhir adalah positif. Jadi luas-ganda yang dihasilkan dari Pers. (14-5) adalah negatif tetapi tidak jadi masalah karena harga mutlaknya yang diambil. Diuraikan dan ditulis kembali, Pers. (14-5) disederhanakan menjadi

$$2 \times \text{luas} = X_A Y_B + X_B Y_C + X_C Y_D + X_D Y_E + X_E Y_A - X_B Y_A - X_C Y_B - X_D Y_C - X_E Y_D - X_A Y_E \quad (14-6)$$

Persamaan (14-6) dapat diringkas menjadi bentuk yang mudah diingat dengan menyusun koordinat  $X$  dan  $Y$  masing-masing titik dalam urutan dua kolom seperti pada Pers. (14-7), dengan koordinat titik awal diulang pada ujung akhir. Perkalian dinyatakan dengan panah diagonal, panah penuh minus, panah putus-putus plus. Jumlah aljabar semua perkalian dihitung dan harga mutlaknya dibagi dua untuk memperoleh luas.



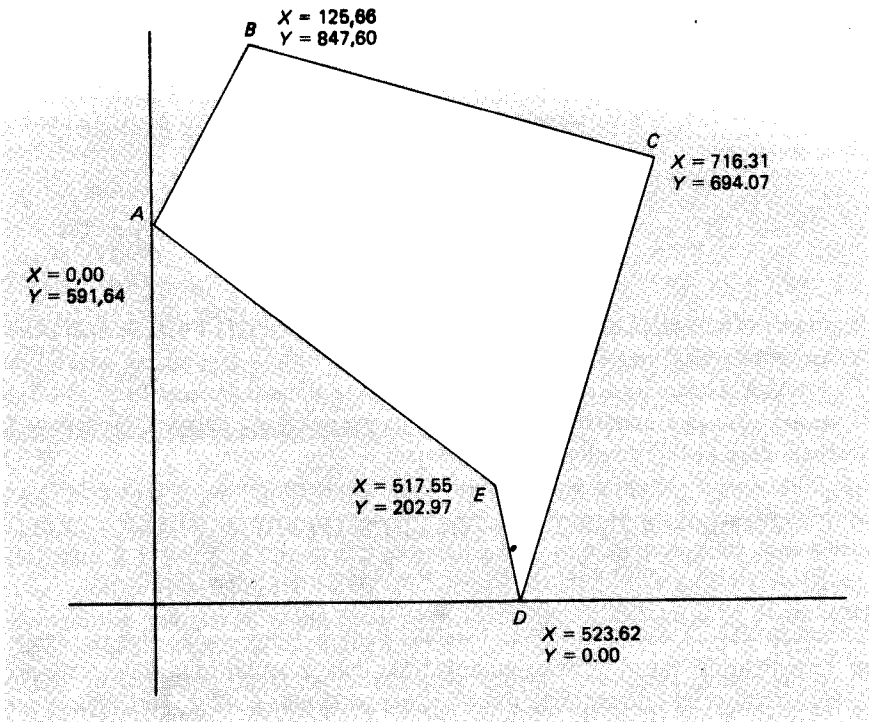
Prosedur yang ditunjukkan pada Pers. (14-7) dapat dipakai untuk menghitung poligon sembarang ukuran. Hanya perlu diperhatikan tanda-tanda aljabar koordinat, dan pusat koordinat dapat dipilih sehingga semuanya positif. Beberapa juru-ukur memilih  $X = 0$  untuk titik paling barat dan  $Y = 0$  untuk titik paling selatan. Besarnya koordinat dan perkalian karenanya diperkecil dan pekerjaan berkurang, karena empat perkalian menghasilkan nol.

**CONTOH 14-5**

Gambar 14-5 melukiskan poligon yang juga digunakan untuk Contoh 14-3 dan 14-4, tetapi dengan koordinat titik-titik direduksi sehingga  $X_A = 0,00$  ( $A$  adalah stasiun paling barat) dan  $Y_D = 0,00$  ( $D$  adalah stasiun paling selatan); jadi semua koordinat positif. Hitunglah luas poligon dengan metode koordinat.

**PENYELESAIAN**

Hitungan-hitungan ini sebaiknya juga dengan penyelesaian yang memakai tabel. Tabel 14-3 memperlihatkan prosedur itu dan hasil-hasilnya.



Gambar 14-5. Luas dengan koordinat.

Rumus lain yang mudah dipakai, mudah dijabarkan untuk menghitung luas poligon segibanyak tertutup adalah

$$\text{luas} = \frac{1}{2} [X_A(Y_E - Y_B) + X_B(Y_A - Y_C) + X_C(Y_B - Y_D) + X_D(Y_C - Y_E) + X_E(Y_D - Y_A)] \quad (14-8)$$

TABEL 14-3. HITUNGAN LUAS DENGAN KOORDINAT

TITIK	Y	X	LUAS GANDA	
			MINUS	PLUS
A	591,64	0,00		
B	847,60	125,66	74.345	0
C	694,07	716,31	607.144	87.216
D	0,00	523,62	363.429	0
E	202,97	517,55	0	106.279
A	591,64	0,00	0	306.203
			-1.044.918	+499.698
			499.698	
			2) 545.220	
			272.610 ft <sup>2</sup>	

Persamaan (14-5) sampai dengan (14-8) semua mudah diprogram untuk penyelesaian dengan komputer elektronik. Sebuah program ditulis dalam BASIC untuk menghitung poligon, termasuk luas dengan koordinat, ada dalam Apendiks C.

Hitungan-hitungan untuk tujuan pemisahan tanah — yaitu, pemotongan sebagian dari sebidang tanah untuk peralihan hak — dapat sangat dibantu dengan memakai koordinat. Hal ini dibicarakan dalam Bab 22.

**14-7. LUAS BIDANG DENGAN BATAS LENGKUNG.** Luas sebidang tanah yang satu sisi batasnya berbentuk lengkung, seperti pada Gambar 14-6, dapat ditemukan dengan jalan membagi bentuk menjadi dua bagian: segibanyak *ABCDEFGA* dan sektor *EGF*. Jari-jari  $R = EG = FG$  dan salah satu, sudut pusat *EGF* atau panjang *EF* harus diketahui atau dihitung agar luas sektor *EGF* dapat dihitung. Jika  $R$  dan sudut pusat  $\theta$  diketahui, maka luas sektor  $EGF = \pi R^2 \times (\theta^\circ/360^\circ)$ . Jika panjang tali busur *EF* diketahui, sudut  $\theta = \arcsin (EF/2R)$  dan persamaan sebelumnya dipakai untuk menghitung luas sektor. Untuk memperoleh luas seluruh wilayah, luas sektor ditambahkan pada luas *ABCDEFGA*, yang dihitung dengan DMD atau metode koordinat.

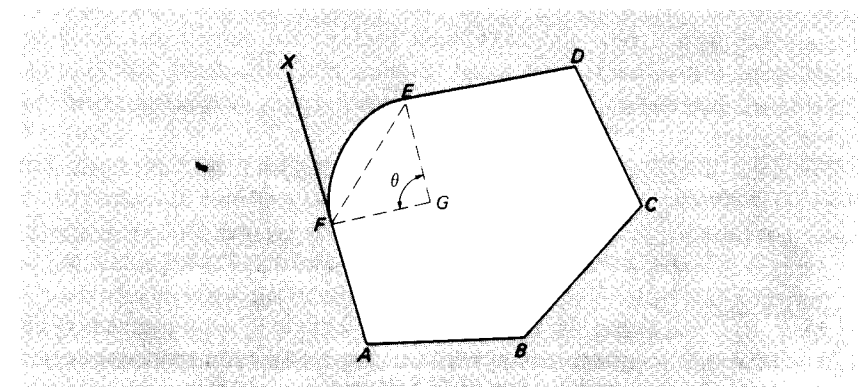
Sebagai keragaman, panjang dan arah talibusur *EF* dapat dihitung dan luas segmen *EFG* ditambahkan pada luas *ABCDEFGA*. Perhatikan bahwa sudut *XFE* sama dengan setengah sudut *EGF*.

**14-8. LUAS DARI PETA DENGAN SEGITIGA-SEGITIGA.** Sebuah poligon dapat digambar menurut skala, dibagi-bagi menjadi beberapa segitiga, sisi-sisinya diukur dan luasnya dicari dengan Pers. (14-1). Metode ini tidak seteliti hitungan memakai pengukuran lapangan, tetapi prosedurnya berguna untuk tujuan-tujuan pengecekan.

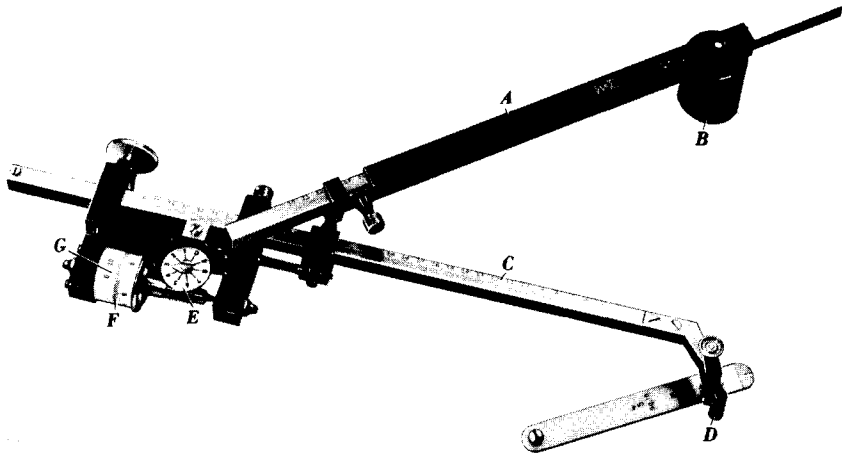
**14-9. LUAS DENGAN BUJURSANGKAR KOORDINAT.** Untuk menemukan luas sebuah poligon dengan bujursangkar koordinat, peta ditandai dengan pembagian menjadi bujur-bujursangkar satuan luas. Banyaknya bujursangkar satuan yang penuh dalam poligon dihitung dan jumlah semua satuan luas yang merupakan bagian tidak penuh, ditaksir. Luas satuan-satuan bagian dapat dihitung berdasar bentuk trapesium, tetapi anggapan ini tidak perlu.

Metode yang lebih sederhana adalah pemakaian kertas tembus sinar ditandai bujur-bujursangkar menurut skala tertentu. Kisi ditempatkan pada poligon dan dihitung banyaknya bujursangkar dan pecahan satuan-satuan.

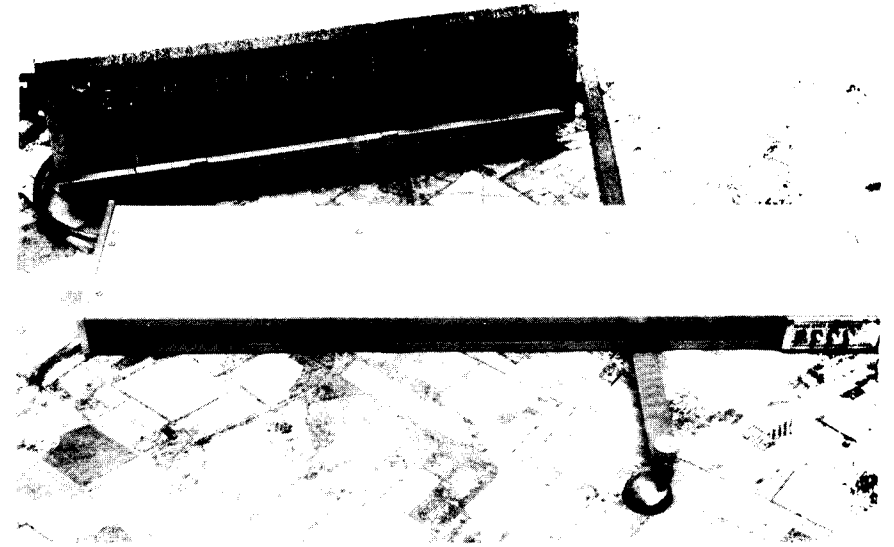
Gambar 14-6. Bidang dengan kurva melingkar sebagai bagian dari batas.







Gambar 14-7. Planimeter mekanis: A, lengan jangkar; B, titik jangkar; C, batang skala; D, titik pelacak; E, piringan; F, teromol; G, nonius. (Atas kebaikan Keuffel & Esser Company).



Gambar 14-8. Planimeter elektronik. (Atas kebaikan Numonics Corporation).

Metode ketiga terdiri atas penggambaran poligon pada kertas koordinat dan menentukan banyaknya satuan dengan cara seperti yang baru dijelaskan.

**14-10. PENGUKURAN LUAS DENGAN PLANIMETER.** Sebuah planimeter secara mekanis mengintegrasikan luas dan mencatat hasilnya pada sebuah teromol dan piringan sewaktu sebuah titik pelacak digerakkan sepanjang garis tepi bentuk yang diukur.

Ada dua jenis planimeter: mekanis dan elektronik. Bagian-bagian utama jenis mekanis adalah sebuah batang skala, teromol dan piringan dengan pembagian skala, nonius, titik pelacak dan pelindung, serta lengan jangkar, pemberat dan titik. Batang skala dapat bersifat tetap atau dapat diatur seperti pada Gambar 14-7. Pada planimeter baku lengan-tetap, satu putaran piringan angka sama dengan  $100 \text{ in}^2$  dan satu putaran teromol (roda) berarti  $10 \text{ in}^2$ . Jenis yang dapat diatur, dapat dipasang agar terbaca langsung satuan luas untuk sembarang skala peta tertentu. Instrumen ini hanya menyentuh peta pada tiga tempat: titik jangkar, teromol dan pelindung titik pelacak.

Sebuah planimeter elektronik (Gambar 14-8) bekerja mirip jenis mekanis, kecuali bahwa hasil-hasil diberikan dalam bentuk digital pada papan pengunjuk. Luas dapat diukur dalam satuan-satuan inch persegi atau sentimeter persegi, dan dengan memasang sebuah "faktor skala" yang sesuai, harga-harga dapat langsung diperoleh dalam acre atau hektar. Beberapa instrumen mempunyai alat pengali yang dapat secara otomatis menghitung dan menunjukkan volume.

Sebagai contoh penggunaan planimeter mekanis, misalkan wilayah dalam poligon Gambar 14-4 akan diukur luasnya. Titik jangkar di bawah pemberat dipasang pada kedudukan di luar poligon (bila di dalam, harus ditambah sebuah tetapan kutub), dan titik pelacak dibawa pada titik sudut A. Misalnya pembacaan awal adalah 7231, yaitu 7 dari piringan, 23 dari teromol dan 1 dari nonius. Titik pelacak digerakkan sepanjang garis-garis poligon dari A ke B, C, D dan E kembali ke A. Titik pelacak dapat dibantu gerakannya dengan sebuah segitiga atau mistar, tetapi biasanya dikemudikan dengan tangan saja. Pembacaan akhir misalnya 8596. Selisih pembacaan awal dan akhir yaitu 1365, merupakan luas wilayah

yah bila batang skala dipasang tepat pada harga skala peta. Karena pemasangan batang skala mungkin tidak sempurna, maka sebaiknya diadakan pengecekan besarnya tetapan planimeter dengan memakainya untuk mengukur luas sebuah bujursangkar yang digambar cermat bersisi 5 in, berdiagonal 7,07 in.

Misalnya didapat selisih pembacaan awal dan akhir sebesar 1250 dalam pengukuran luas bujursangkar bersisi 5 in tadi. Kemudian

$$5 \text{ in} \times 5 \text{ in} = 25 \text{ in}^2 = 1250 \text{ satuan}$$

atau

$$1 \text{ satuan} = \frac{25}{1250} = 0,020 \text{ in}^2$$

dan

$$\text{Luas} = 1365 \text{ satuan} \times 0,020 = 27,30 \text{ in}^2$$

Untuk peta dengan skala 1 in = 100 ft,  $1 \text{ in}^2 = 10,000 \text{ ft}^2$  dan luas yang diukur adalah  $273.000 \text{ ft}^2$ .

Sebagai pengecekan bekerjanya planimeter, garis batas dapat dijalani dengan arah berlawanan. Pembacaan awal dan akhir di titik A seharusnya cocok dalam batas sekitar 2 sampai 5 satuan.

Kesaksamaan yang diperoleh dalam memakai planimeter tergantung pada ketrampilan pengukur luas, ketelitian penggambaran peta, jenis kertas dan faktor-faktor lain. Dengan bekerja cermat dapat diperoleh hasil yang benar dalam batas  $\frac{1}{2}$  sampai 1%.

Planimeter paling berguna untuk wilayah-wilayah berbentuk tak beraturan seperti pada Gambar 14-3, dan banyak pemakaiannya pada cabang-cabang rekayasa. Planimeter

telah banyak dipakai dalam kantor-kantor jalan raya untuk menentukan luas penampang lintang dan berguna dalam pengecekan luas terhitung pada pengukuran hak milik.

**14-11. SUMBER-SUMBER GALAT.** Beberapa sumber galat dalam hitungan luas adalah:

1. Penentuan interval dan simpangan yang kurang tepat pada penyesuaian dengan batas tak beraturan.
2. Tidak meratakan  $\Delta Y$  dan  $\Delta X$  sesuai keadaan sebenarnya.
3. Memakai bujursangkar koordinat yang terlalu besar dan karenanya sulit membuat perkiraan luas bagian-bagian pecahan.
4. Pemasangan batang skala yang tidak benar.
5. Teromol planimeter meleset dari garis batas yang dilacak.
6. Jenis kertas untuk peneraan planimeter berbeda dengan kertas peta.

**14-12. KESALAHAN-KESALAHAN BESAR.** Dalam menghitung luas, kesalahan yang biasa dibuat oleh para mahasiswa adalah:

1. Lupa membagi dua dalam metode DMD dan metode koordinat.
2. Kacau dalam tanda aljabar DMDs, koordinat,  $\Delta Y$ ,  $\Delta X$  atau luas.
3. Lalai mengecek hitungan luas dengan metode lain.
4. Penetapan pusat koordinat yang kurang baik, berakibat adanya harga-harga minus untuk DMDs dan koordinat.
5. Tidak menggambar sketsa menurut skala atau perbandingan umum untuk pengecekan visual.
6. Tidak membuat pembuktian tetapan skala planimeter dengan pengukuran suatu luas yang diketahui.

## SOAL-SOAL

- 14-1. Hitunglah luas bidang yang dibatasi sebagian *BDEFGB* Gambar 14-1.
- 14-2. Hitunglah luas bidang yang dibatasi sebagian *BCDGAB* Gambar 14-1.
- 14-3. Hitunglah luas bidang yang dibatasi oleh garis *GHJLA* dan garis pantai Gambar 14-1 memakai metode simpangan.
- 14-4. Tentukan luas antara garis poligon dari stasiun 5 + 42 ke stasiun 6 + 50 dan Black Creek pada Gambar 16-3 dengan metode simpangan.
- 14-5. Tentukan luas bidang antara sebuah danau dan sebuah garis lurus dari mana dibuat simpangan-simpangan dengan interval tak teratur seperti berikut (semua jarak diukur dengan rantai sebagai satuan):

TITIK SIMPANGAN	A	B	C	D	E	F	G
Jarak dari A	0	1,28	3,61	4,52	5,76	7,95	8,80
Simpangan	0,29	0,75	1,21	2,03	2,92	1,64	0,30

- 14-6. Hitunglah dengan DMDs luas dalam poligon Soal 13-13.
- 14-7. Hitunglah dengan DMDs luas dalam poligon Soal 13-14.
- 14-8. Hitunglah dengan DMDs luas dalam poligon Soal 13-15.
- 14-9. Hitunglah luas yang dibatasi dalam poligon Soal 13-13 memakai koordinat.
- 14-10. Tentukan luas dalam poligon Soal 13-14 memakai koordinat.
- 14-11. Dengan metode koordinat, tentukan luas yang dibatasi dalam poligon Soal 13-15.
- 14-12. Hitunglah luas dalam poligon Soal 13-20 memakai metode DMD. Setelah itu supaya dicek dengan DPDs.

**14-13.** Hitunglah luas dalam poligon Soal 13-21 dengan DMDs, dan agar dicek dengan DPDs.

**14-14.** Hitunglah luas dalam poligon Soal 13-6 memakai metode koordinat.

**14-15.** Tentukan luas di dalam poligon Soal 13-9 dengan metode koordinat.

**14-16.** Hitunglah luas dalam poligon Soal 13-10 memakai metode DMD. Setelah itu agar dicek dengan koordinat.

**14-17.** Carilah luas wilayah dalam poligon Soal 13-18 memakai metode DMD. Agar dicek dengan koordinat.

**14-18.** Tentukan luas persil dalam Soal 13-25.

**14-19.** Hitunglah luas di dalam poligon Soal 13-26.

**14-20.** Tentukan luas wilayah dalam Soal 13-19 dengan metode DMD. Agar dicek dengan DPDs.

**14-21.** Gambarlah poligon Soal 13-13 dengan skala 1 in = 100 ft. Tentukan luas wilayah yang dikelilinginya memakai planimeter.

**14-22.** Serupa Soal 14-21, kecuali untuk poligon Soal 13-14.

**14-23.** Gambarlah poligon Soal 13-15 dengan skala 1 in = 200 ft dan carilah luasnya memakai planimeter.

**14-24.** Di bawah ini adalah  $\Delta Y$  dan  $\Delta X$  (dengan satuan panjang pita 100-ft) untuk poligon-segibanyak-tertutup *ABCDEFGA*. Hitunglah (a)  $\Delta Y$  dan  $\Delta X$  garis *GA*, (b) panjang garis *GA*, dan (c) luas dalam batas poligon dengan DMDs maupun koordinat dinyatakan dalam acre.

	AB	BC	CD	DE	EF	FG
$\Delta Y$	U = 1	S = 9	S = 3	S = 7	U = 11	U = 4
$\Delta X$	T = 6	B = 6	T = 6	B = 8	B = 1	B = 6

**14-25.** Sebuah poligon segibanyak tertutup *ABCDEFGHA* mempunyai sisi dengan  $\Delta Y$  dan  $\Delta X$  (dalam ratusan feet) seperti ditentukan berikut ini:

	AB	BC	CD	DE	EF	FG	GH	HA
$\Delta Y$	U = 5	U = 6	S = 3	S = 4	S = 2	S = 5	S = 2	U = 5
$\Delta X$	T = 2	B = 4	B = 5	B = 6	T = 8	B = 6	T = 7	T = 4

(a) Manakah stasiun paling barat? (b) Paling selatan? (c) Berapa panjang dan sudut arah garis yang menghubungkan stasiun *H* dan *E*? (d) Hitunglah dengan DMDs luas yang dibatasi poligon itu dinyatakan dalam acre. (e) Buatlah pengecekan dengan DPDs dan koordinat.

**14-26.** Hitunglah dengan DMDs luas dinyatakan dalam acre poligon segibanyak tertutup *ABCDEF*A dengan menempatkan sumbu pada stasiun paling barat.  $\Delta Y$  dan  $\Delta X$  (dalam rantai insinyur) adalah:

	AB	BC	CD	DE	EF	FA
$\Delta Y$	U = 5	U = 0	S = 4	S = 4	S = 2	U = 5
$\Delta X$	T = 4	T = 6	T = 4	B = 6	B = 10	T = 2

Hitunglah unsur-unsur yang belum diketahui dan luas dalam batas poligon=poligon Soal 14-27 dan 14-28, dengan memilih letak sumbu yang tidak mengandung DMDs negatif.

14-27 JURUSAN	AB	BC	CD	DA
Sudut arah	Arah timur	S28°00'B	Arah barat	Belum diketahui
Panjang (ft)	310,5	165,8	110,0	Belum diketahui

14-28. JURUSAN	AB	BC	CD	DA
Sudut arah	$U55^{\circ}00'B$	$S35^{\circ}00'B$	$S65^{\circ}00'T$	Belum diketahui
Panjang (ft)	460,00	402,50	210,25	Belum diketahui

- 14-29. Hitunglah luas sebidang tanah hak milik dibatasi oleh poligon dan busur melingkar digambarkan sebagai berikut:  $AB$ ,  $S40^{\circ}00'B$ , 400,0 ft;  $BC$ ,  $S80^{\circ}T$ , 400,0 ft;  $CD$ ,  $U35^{\circ}00'B$ , 200,0 ft;  $DA$ , sebuah busur lingkaran menyinggung  $CD$  di titik  $D$ .
- 14-30. Serupa Soal 14-29, kecuali bahwa  $CD$  adalah 185,0 ft.
- 14-31. Bagilah luas bidang tanah pada Soal 14-29 menjadi dua bagian yang sama dengan sebuah garis melalui titik  $B$ . Tulislah dengan urutan, panjang dan sudut arah semua sisi tiap persil.
- 14-32. Bagilah persil pada Soal 14-30 menjadi dua bagian yang sama dengan sebuah garis sejajar  $BC$ . Tulislah dalam tabel dengan susunan berurutan searah jarum jam panjang dan sudut arah semua sisi.
- 14-33. Persil  $ABCD$  antara dua garis jalan sejajar, berjarak ke belakang 150,00 ft dan sisi depan ( $AB$ ) 100 ft di satu jalan serta sisi ( $CD$ ) 120 ft pada jalan yang lain. Sudut-sudut dalam di  $A$  sama dengan di  $B$ , demikian pula di  $C$  dan di  $D$ . Berapa jarak-jarak  $AE$  dan  $BF$  harus diukurkan seorang juru ukur untuk membagi dua persil sama luas dengan garis  $EF$  sejajar  $AB$ ?
- 14-34. Luas sebuah lapangan tergambar di peta dengan skala 1 in = 200 ft diukur dengan planimeter lengan-tetap yang tetapannya 10 dan tercatat 5,238 putaran roda. Berapakah luas lapangan dinyatakan dalam feet persegi dan dalam acre.
- 14-35. Sebuah titik pelacak planimeter, dengan pembacaan awal 1162, digerakkan putar searah jarum jam mengelilingi sisi-sisi bujur sangkar bersisi 5 in dan memberikan pembacaan 1287 ketika kembali ke titik awal. Jika pembacaan awal pada patok  $A$  sebuah poligon tergambar adalah 1322, dan 1976 setelah mengelilingi poligon kembali ke  $A$ , hitunglah luas yang dibatasinya dalam feet persegi jika penggambaran itu dengan skala 100 ft/in.
- 14-36. Pada Soal 14-24, jika pita yang dianggap 100,00 ft setelah pembakuan ternyata 100,08 ft, berapa besar galat dalam luas yang dihasilkan?
- 14-37. Tulislah sebuah program komputer untuk menghitung luas dalam segibanyak tertutup dengan metode koordinat.
- 14-38. Tulislah sebuah program komputer untuk menghitung luas dalam segibanyak tertutup dengan metode DMD.
- 14-39. Hitunglah sudut-sudut dalam pada segibanyak  $ABCDEFG$  Gambar 14-1. Jika sudut arah garis  $AB$  adalah  $U73^{\circ}45'B$ , hitunglah sudut-sudut arah garis-garis lainnya.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, F.A. 1983. "Hitungan Luas Memakai Titik-titik Batas yang Menonjol." *ASCE Journal of the Surveying Engineering* 109(no. 1): 54.
- Griggs, F.E. 1967. "Hitungan Positif Luas dengan Koordinat." *ASCE Journal of the Surveying and Mapping Division* 93(no. SU1): 1.
- Hickerson, T.F. 1967. *Lokasi dan Rancangan Jalur Lintas*, edisi ke 5, New York: McGraw-Hill.
- Meyer, C.F., dan D.W. Gibson. 1980. *Pengukuran dan Rancangan Jalur Lintas*, edisi ke 5 New York: Harper & Row.

## APENDIKS A

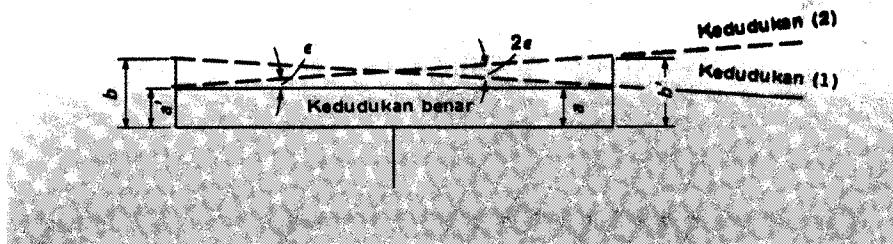
## MENGUJI DAN MENGATUR INSTRUMEN

**A-1. PENGANTAR.** Instrumen pengukuran tanah dirancang dan dikonstruksi untuk memberikan pengukuran horisontal dan vertikal yang benar. Sebuah instrumen yang baik, dipakai dan dipelihara dengan baik, dapat tetap teratur selama berbulan-bulan atau lebih dan dapat dipakai selama hidup. Walaupun demikian, perubahan-perubahan suhu, benturan, dan penanganan yang tidak semestinya dapat menyebabkan instrumen menjadi tidak teratur; oleh karena itu, harus diuji secara berkala dan diatur bila perlu, untuk menjaga ketelitiannya. Sebuah alat sipat datar, misalnya, harus dicek setiap hari bila dipakai pada pekerjaan penting.

Prosedur-prosedur lapangan yang benar, misalnya pemusatan ganda dan menyamakan bidikan depan dan belakang, memungkinkan pekerjaan teliti dapat dilaksanakan walaupun instrumen tidak teratur. Tetapi seringkali dengan beberapa menit mengatur alat, dapat menghemat waktu dan tenaga dalam memakai peralatan agar berdaya-guna. Lebih lanjut, ada beberapa jenis galat yang hanya dapat dihilangkan dengan mengatur instrumen.

Juru-ukur dan insinyur dapat melaksanakan pengujian untuk menentukan apakah suatu alat ukur perlu diatur; dan mereka seharusnya mampu melaksanakan pengaturan rutin terhadap alat sipat datar semua tetap, alat sipat datar dengan pengungkit, dan transit. Paragraf-paragraf dalam apendiks ini membicarakan teknik-teknik yang baku. Alat-alat sipat datar Y lama, tidak dibuat lagi, namun demikian mungkin masih dipakai dan memerlukan pengujian dan pengaturan. Prosedur-prosedur untuk ini dijelaskan dalam edisi ke-6 buku ini.

Kecuali untuk tabung nivo kotak, pemusat optis, dan beberapa gelembung nivo piring-



Gambar A-1. Prinsip reversi.

ahlinya. Pembongkaran instrumen jenis ini dapat berakibat kerusakan yang serius. Jika pengujian yang dibicarakan dalam paragraf-paragraf berikut ini mengungkapkan perlunya pengaturan, maka peralatan itu harus dikemas dengan cermat dan dikirimkan ke pabriknya atau ke laboratorium yang menyediakan tenaga ahlinya.

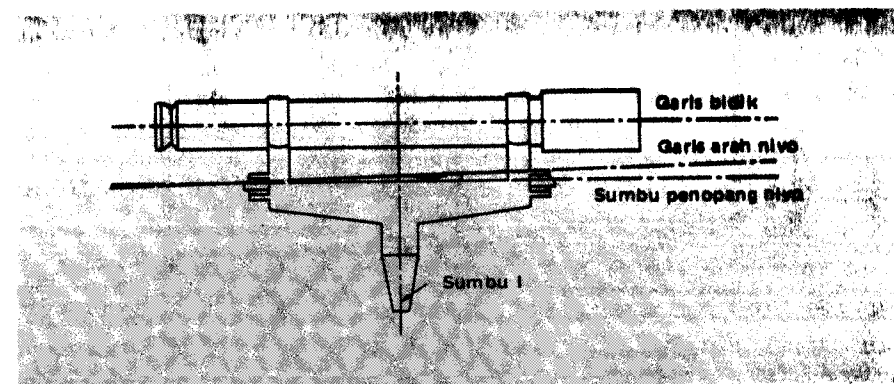
**A-2. CARA-CARA PENGUJIAN INSTRUMEN.** Kebanyakan pengujian untuk mengecek instrumen ukur tanah termasuk satu dari dua kategori berikut ini:

1. *Perbandingan dengan nilai-nilai yang diketahui.* Metode ini adalah membuat perbandingan langsung antara alat-alat ukur dengan sebuah patokan yang telah ditera dengan saksama. Ini dipakai dalam pengujian dan peneraan pita, EDM dan rambu sipat datar.

2. *Prinsip reversi.* Prosedur ini adalah penempatan instrumen dari kedudukan biasa ke kedudukan luar biasa agar galat menjadi rangkap dan membuatnya lebih jelas. Ini dipakai secara luas untuk menguji alat sipat datar, transit dan teodolit. Untuk menggambarkan, anggaplah dalam Gambar A-1 galat sudut antara garis yang benar dengan yang belum teratur  $\epsilon$  disebabkan karena beda panjang  $a$  dan  $b$  seperti pada kedudukan (1). (Contohnya adalah ketinggian kedua ujung tabung nivo pada sebuah teropong). Setelah teropong diputar  $180^\circ$  horisontal, garis yang belum teratur menempati kedudukan (2) karena  $a$  dan  $b$  telah bertukar tempat. Karena sudut antara kedudukan (1) dan (2) adalah  $2\epsilon$ , berarti dengan sekali pembalikan (reversi) mendingkalikan galat. Metode-metode khusus untuk menguji dengan reversi pada alat sipat datar, transit dan teodolit dibicarakan dalam apendiks ini.

**A-3. PERSYARATAN UNTUK PENGUJIAN DAN PENGATURAN ALAT SIPAT DATAR, TRANSIT DAN TEODOLIT.** Sebelum melaksanakan pengaturan, sebaiknya dilakukan beberapa pengujian dengan *cermat* untuk memperoleh keyakinan bahwa apa yang nampak belum teratur benar-benar disebabkan oleh karena keadaan instrumen, bukan karena kurang cermatnya pengujian. Untuk mengatur dengan baik dan mengecek baik alat sipat datar, transit, maupun teodolit di lapangan, harus diikuti beberapa ketentuan sebagai berikut:

1. Pilihlah tanah yang memungkinkan pemasangan instrumen dengan teguh di lapangan yang hampir datar agar dapat dibidik jarak-jarak paling sedikit 200 ft pada arah berlawanan. Tiga titik permanen dipasang kira-kira terpisah 200 ft pada garis lurus, di tanah hampir datar, dan lebih baik dengan elevasi sama untuk mempercepat pengaturan. Instansi yang memiliki sejumlah instrumen untuk dipakai, dan para juru-ukur yang bekerja di suatu wilayah untuk jangka waktu lama, merasakan



Gambar A-2. Alat sipat datar semua-tetap.

2. Laksanakan pengaturan bila keadaan cuaca baik, lebih disukai di hari mendung yang bebas dari gelombang panas. Jangan membuat garis bidik melewati sinar matahari kemudian melewati tempat teduh, atau membuat garis bidik terarah ke matahari.
3. Tempatkan pemasangan instrumen di tempat teduh, atau lindungilah dari sinar matahari langsung.
4. Pastikanlah bahwa alas kaki tiga kokoh dan instrumen disekrupkan padanya dengan teguh. Rentangkan kaki-kakinya cukup terpisah dan pasanglah ketiganya sehingga bidang atas nampak datar. Tancapkan alas kaki dengan mantap ke tanah. Kalau digunakan kaki tiga konvensional buatan lama, kendorkan dulu ketiga sekrup engselnya untuk melepaskan tegangan dan kemudian diketatkan lagi.

Metode-metode baku dan urutan yang telah ditentukan harus diikuti dalam mengatur alat sipat datar, transit, dan teodolit. Kedudukan yang benar daripada bagian-bagiannya dicapai dengan mengendorkan dan mengetatkan mur dan sekrup pengatur tertentu, memakai jarum-jarum khusus. Menyempurnakan tiap pengaturan pada percobaan pertama adalah membuang waktu karena beberapa pengaturan berpengaruh pada yang lain. Serangkaian pengujian lengkap mungkin harus diulang beberapa kali bila instrumen menyimpang jauh. Pengecekan akhir seluruh pengaturan harus dilakukan untuk meyakinkan bahwa tak satupun terganggu. Pengaturan yang paling sederhana yaitu menghilangkan paralaks dengan jalan memupun lensa obyektif dan okuler dengan cermat, harus selalu diingat setiap waktu.

Jarum pengatur (pen koreksi) yang dipakai harus lurus dan kuat, serta tepat dengan lubang sekrup koreksi, sedangkan sekrup koreksinya harus diperlakukan dengan hati-hati agar tidak merusak logamnya yang lunak. Sekrup-sekrup untuk mengatur telah dipasang dengan baik sewaktu instrumen dikirim dari pabriknya. Memutar sekrup terlalu banyak (atau tidak cukup), berarti mengabaikan prosedur pengaturan yang benar dan dapat menyebabkan instrumen menjadi lebih buruk keadaannya daripada sebelum diatur.

**A-4. MENGATUR ALAT SIPAT DATAR SEMUA-TETAP.** Sebuah alat sipat datar teratur membentuk bidang bidik horisontal bila teropong diputar mengelilingi sumbu I. Garis-garis pokok pada alat sipat datar, seperti dijelaskan pada Gambar A-2, adalah (1) garis bidik, (2) garis arah nivo, (3) sumbu penopang nivo, (4) sumbu I.

Untuk pengaturan sempurna, garis bidik, garis arah nivo, dan sumbu penopang nivo sejajar satu sama lain dan tegak lurus sumbu I. Ada dua bagian yang dapat diatur: benang silang dan tabung nivo.



**Pembetulan.** Dengan garis bidik horisontal, sekrup koreksi nivo diputar naik atau turun seperlunya untuk menyeimbangkan gelembung, atau untuk membuat ujung gelembung berimpit pada jenis nivo ujung berimpit.

**A-6. PENGATURAN TRANSIT.<sup>1</sup>** Transit itu dirancang untuk mengukur proyeksi-proyeksi sudut vertikal dan horisontal serta bertindak sebagai alat sipat datar, sehingga garis-garis dan sumbu-sumbu tertentu harus diatur letaknya dengan saksama. Garis-garis utama pada transit, dijelaskan sebelumnya pada Gambar 11-15, adalah:

1. Garis arah nivo-nivo lingkaran. Garis singgung pada titik tengah busur lingkaran atas tabung nivo.
2. Sumbu I. Sama dengan pada alat sipat datar.
3. Sumbu II. Garis melalui pusat putaran sumbu teropong dan pelurunya dalam penopang.
4. Garis bidik. Sama dengan pada alat sipat datar.
5. Garis arah nivo teropong. Sama dengan pada alat sipat datar.

Untuk pengaturan yang benar, (1) garis arah nivo lingkaran harus tegak lurus sumbu I, (2) sumbu II sejajar garis arah nivo lingkaran, (3) garis bidik tegak lurus sumbu I, dan (4) garis arah nivo teropong sejajar dengan garis bidik. Untuk mencapai hubungan-hubungan ini, nivo piringan, benang silang, penopang-penopang, nivo teropong dan nonius lingkaran vertikal dapat diatur.

#### A-6.1. MENGATUR NIVO PIRINGAN (NIVO LINGKARAN)

**Tujuan.** Untuk membuat garis arah tiap nivo piringan tegak lurus sumbu I.

**Pengujian.** Pasanglah instrumen, tempatkan sebuah nivo piringan di atas dua sekrup penyatel yang berhadapan, dan seimbangkan dengan keduanya. Putarlah instrumen  $180^\circ$  keliling sumbu I agar nivo tadi bertukar ujung tetapi di atas kedua sekrup lagi. Panjang simpangan dari kedudukan seimbang adalah dua kali galatnya.

**Pembetulan.** Putarlah sekrup koreksi nivo di satu ujung tabung nivo untuk menggerakkan gelembung *setengah* panjang simpangan ke arah kedudukan seimbang. Sekarang imbangkan nivo dengan gerakan gelembung setengah simpangan, memakai kedua sekrup penyatel. Ulangilah pengujian hingga gelembung tetap seimbang selama putaran penuh instrumen.

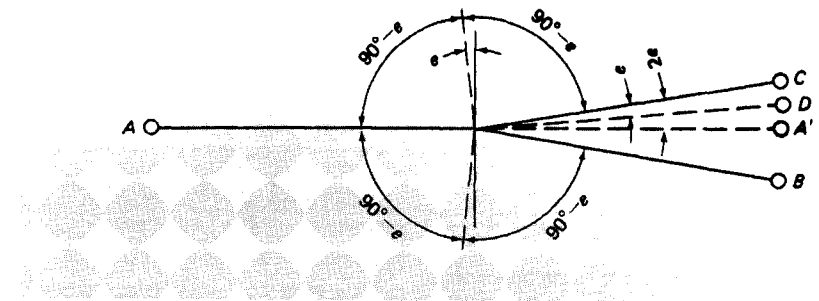
Aturlah nivo lainnya dengan cara yang sama.

#### A-6.2. PENGATURAN AWAL BENANG SILANG VERTIKAL

**Tujuan.** Untuk menempatkan benang silang vertikal pada bidang tegak lurus sumbu II instrumen.

**Pengujian.** Bidiklah titik yang tajam dengan satu ujung benang silang vertikal. Putarlah teropong mengelilingi sumbu II sehingga benang silang bergerak sepanjang titik. Jika titik menyimpang dari benang, benang silang tidak tegak lurus sumbu II.

<sup>1</sup> Pengujian-pengujian (percobaan-percobaan) yang dijelaskan dalam paragraf ini juga dapat dipakai untuk mengecek teodolit; tetapi seperti dijelaskan sebelumnya, pada umumnya pengaturan lebih baik diserahkan kepada ahlinya.



Gambar A-4. Timbal-balik rangkap.

**Pembetulan.** Kendorkan keempat sekrup diafragma, dan putarlah diafragma sedikit hingga benang vertikal tetap ada di titik tertentu tadi selama putaran teropong. Ketatkan sekrup diafragma dan periksa kembali pengaturan.

#### A-6.3. PENGATURAN BENANG SILANG VERTIKAL

**Tujuan.** Untuk membuat agar garis bidik tegak lurus sumbu II.

**Pengujian.** Pengujian ini menerapkan prosedur pusat-rangkap untuk memperpanjang sebuah garis lurus. Datarkan transit dan bidiklah dengan cermat titik belakang yang jauh dan tajam *A*, seperti pada Gambar A-4, dengan mengunci piringan-piringan. Luarbiasakan teropong dan tetapkan bidikan depan titik *B* yang kira-kira sama elevasinya dengan *A*, dan bila mungkin paling sedikit sejauh 400 ft. Dengan teropong masih luar biasa kedudukannya, bukalah pengunci salah satu piringan, putarlah teropong pada sumbu I, ambillah bidikan belakang pada titik pertama *A* lagi, dan kuncikan piringan. Kembalikan teropong ke kedudukan biasa dan tetapkan titik *C* di samping titik bidikan depan pertama *B*. Jarak antara *B* dan *C* adalah empat kali galat pengaturan karena adanya timbal-balik rangkap.

**Pembetulan.** Kendorkan sebuah sekrup penahan samping diafragma pada tabung teropong dan putarlah sekrup di depannya untuk menggerakkan benang silang vertikal sebesar *seperempat* jarak *CB* ke titik *D*. Ulangi pengujian hingga teropong membidik titik *A'* yang sama setelah dari bidikan belakang *A* diputar.

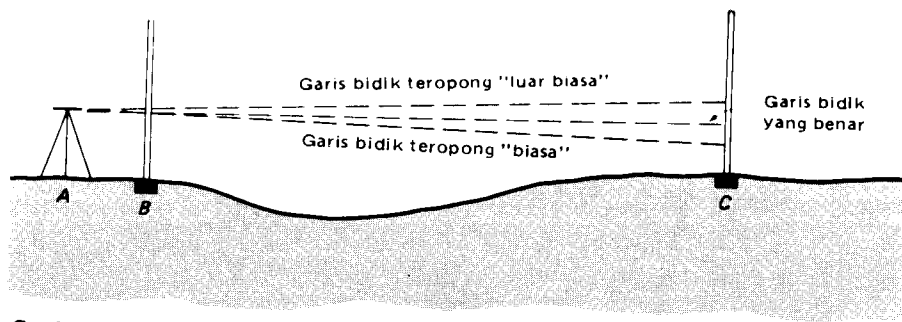
#### A-6.4. PENGATURAN BENANG SILANG HORIZONTAL

**Tujuan.** Untuk membuat benang silang horisontal berpotongan dengan sumbu optis teropong. Ini perlu bila transit akan dipakai untuk sipat datar atau mengukur sudut vertikal.

**Pengujian.** Pasanglah dan datarkan transit di titik *A*, seperti pada Gambar A-5. Aturlah dua patok *B* dan *C* segaris dengan *A* dengan elevasi yang kira-kira sama. Patok *B* harus pada jarak pempunan minimum dari *A*, mungkin 5 atau 10 ft, dan patok *C* paling sedikit berjarak 300 ft.

Pertama bacalah rambu di *B* dengan benang silang horisontal, kemudian pada rambu di *C*. Ubahlah teropong menjadi luar biasa dan bidiklah *B* lagi, menempatkan benang silang horisontal pada pembacaan pertama rambu. Kemudian sumbu I dan II dikunci, bacalah rambu pada *C*. Selisih kedua pembacaan di *C* adalah kira-kira dua kali galatnya.





Gambar A-5. Pengaturan benang silang horisontal.

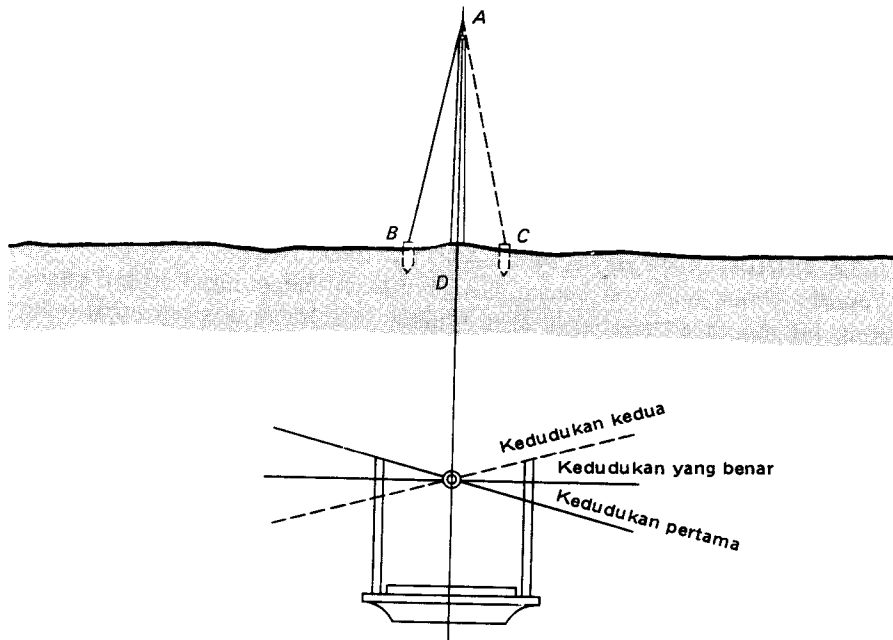
**Pembetulan.** Dengan memutar sekrup koreksi diafragma atas dan bawah, benang horisontal digerakkan hingga pembacaan tepat di tengah antara kedua pembacaan di C tadi. Ulangilah pengujian dan pembetulan hingga benang horisontal memberikan pembacaan yang tak berubah pada bidikan titik jauh dengan kedudukan biasa dan luar biasa.

#### A-6.5. MENGATUR PENOPANG-PENOPANG

**Tujuan.** Untuk membuat sumbu II tegak lurus sumbu I.

**Pengujian.** Transit didatarkan dengan cermat hingga sumbu II horisontal kedudukannya. Bidiklah titik yang tajam A yang tinggi letaknya, seperti dalam Gambar A-6, paling sedikit dengan sudut bertikal  $30^\circ$ , dan kuncikan piringan-piringan. Putarlah teropong hingga mengarah ke bawah pada titik di dekat tanah, ditandai dengan titik B. Ubahlah teropong menjadi luar biasa dan bidiklah lagi titik A, kuncilah piringan-piringan. Sekarang putar lagi

Gambar A-6. Pengaturan penopang-penopang.



teropong mengarah ke bawah, tandailah titik C' dekat B. Bila B tidak berimpit C' maka ada kemiringan sumbu II dan jarak BC kira-kira dua kali galatnya.

**Pembetulan.** Tentukan sebuah titik D kira-kira di tengah-tengah antara B dan C dan bidiklah titik itu. Dengan piringan-piringan terkunci, teropong dibidikkan ke titik A dengan menaikkan atau menurunkan ganjal yang dapat digerakkan, pada sebuah penopang. Untuk menaikkan sumbu II, mula-mula kendorkan sekrup-sekrup-geser penahan tutup sumbu dua pada penopang, kemudian ketatkan sekrup koreksi di bawah pengganjal. Untuk menurunkan sumbu II, kerjakan sebaliknya. Sekrup-sekrup-geser penahan tutup sumbu II harus dipasang dengan cermat agar teropong tidak terlalu longgar atau terlalu seret putarannya.

Ulangilah pengujian dan pembetulan hingga titik tinggi maupun rendah tetap di garis bidik pada kedudukan teropong biasa maupun luar biasa.

#### A-6.6. PENGATURAN TABUNG NIVO-TEROPONG

**Tujuan.** Untuk membuat garis arah nivo tegak lurus sumbu I dan sejajar dengan garis bidik teropong.

**Pengujian.** Sama dengan pengujian untuk pengaturan pancang alat sipat datar semua tetap (lihat Paragraf A-4.3).

**Pembetulan.** Jika pembacaan rambu  $b_2$ , seperti pada Gambar A-3, menunjukkan perlunya pengaturan, pembacaan rambu yang benar dan diperlukan untuk menghasilkan garis bidik horisontal ditetapkan pada rambu dengan sekrup penggerak halus lingkaran vertikal. Gelembung nivo teropong kemudian diseimbangkan dengan memutar sekrup koreksi nivo pada satu ujung tabung nivo.

#### A-6.7. PENGATURAN NONIUS LINGKARAN-VERTIKAL

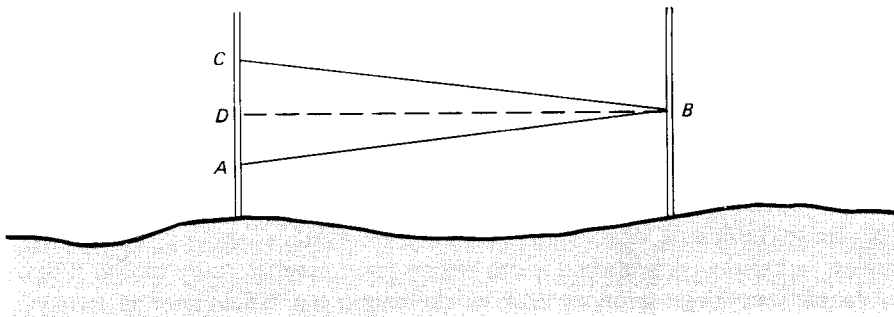
**Tujuan.** Untuk membuat nonius lingkaran vertikal terbaca nol bila nivo teropong seimbang, sehingga tidak ada galat indeks.

**Pengujian.** Datarkan instrumen dengan kedua nivo piringan. Seimbangkan nivo teropong memakai sekrup penggerak halus lingkaran vertikal. Bila pada nonius lingkaran vertikal terbaca suatu harga, itulah galat indeksnya.

**Pembetulan.** Kendorkan sekrup koreksi yang menahan piringan nonius dan gerakkan sehingga tanda nol lingkaran berimpit dengan tanda nol nonius. Kuncikan sekrup koreksi. Jangan sampai ada celah antara nonius dengan lingkaran vertikal, karena akan menyebabkan galat dalam membaca sudut.

**A-7. PENGATURAN PEMUSAT OPTIS.** Garis bidik pemusat optis harus berimpit dengan sumbu I instrumen. Untuk mengaturnya, pasanglah transit atau teodolit pada titik yang jelas dan bidiklah dengan tepat pemusat optis ke titik itu dengan memutar sekrup-sekrup penyatel. Putarlah instrumen horisontal  $180^\circ$ . Bila titik-bidik pemusat optis berpindah dari titiknya, kembalilah mendekati titik setengah penyimpangan dengan sekrup pengatur yang ada. Sekarang tepatkan dengan menggerakkan sejauh setengah penyimpangan titik bidik, memakai sekrup-sekrup penyatel, dan ulangilah pengujian.

**A-8. PENGATURAN NIVO KOTAK.** Jika gelembung nivo kotak tidak tetap seimbang sewaktu instrumen diputar horisontal, diperlukan pengaturan namun tidak perlu sangat sak-



Gambar A-7. Pengaturan alat sipat datar tangan.

sama karena nivo itu tidak menentukan secara halus datarnya garis bidik. Seimbangkan dengan hati-hati gelembung nivo kotak memakai sekrup-sekrup penyetel dan putarlah  $180^\circ$  instrumen itu horisontal. *Setengah* penyimpangan gelembung dihilangkan dengan memutar sekrup koreksi tabung nivo, dan setengahnya lagi dihilangkan hingga gelembung seimbang memakai putaran sekrup-sekrup penyetel. Pengujian diulangi hingga baik.

**A-9. PENGATURAN ALAT SIPAT DATAR TANGAN.** Bagian yang dapat diatur pada alat sipat datar tangan Locke hanyalah benang silang horisontal.

**Tujuan.** Untuk membuat garis bidik menjadi horisontal bila gelembung seimbang.

**Pengujian.** Alat sipat datar tangan ditopang kokoh pada elevasi *A*, gelembung diseimbangkan, membidik sebuah tiang atau pojok gedung pada titik yang diberi tanda *B* seperti pada Gambar A-7. Jarak *AB* sebaiknya tak lebih dari 100 ft. Topanglah alat sipat datar tangan itu di *B*, seimbangkan gelembungnya, dan perhatikan apakah garis bidik jatuh di *A*. Bila tidak, maka titik itu diberi tanda *C*.

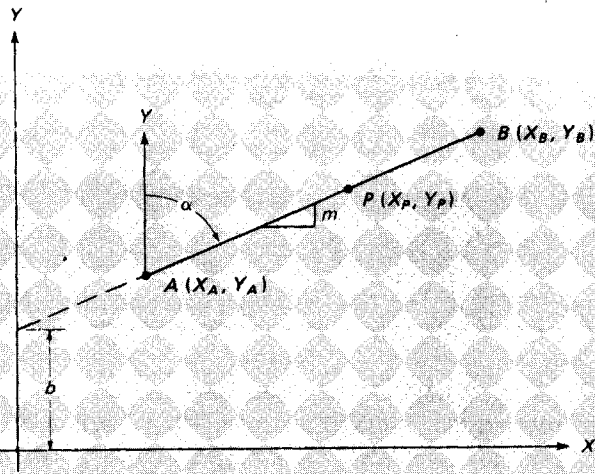
**Pembetulan.** Bagilah jarak *AC* menjadi dua sama besar dan titik tengah itu disebut *D*. Alat masih di *B* dan gelembung seimbang, benang silang ditepatkan di *D* dengan sekrup koreksi.

## GEOMETRI KOORDINAT DALAM HITUNGAN APENDIKS B PENGUKURAN TANAH

**B-1. PENGANTAR.** Kecuali untuk pengukuran titik kontrol geodetik yang luas, hampir seluruh pengukuran lainnya didasarkan pada sistem koordinat-tegaklurus bidang datar. Koordinat bidang negara bagian (lihat Bab 21) adalah paling sering dipakai, walaupun sistem sementara lokal dapat dipakai. Keuntungan mendasarkan titik-titik pada sistem koordinat tegaklurus adalah (1) kedudukan nisbi titik-titik dinyatakan secara unik, (2) titik-titik itu mudah digambar, (3) jika hilang di lapangan dengan mudah dapat ditemukan kembali dari titik-titik lain yang ada, berdasarkan sistem yang sama, dan (4) hitungan-hitungan amat dipermudah. Keuntungan yang akhir tadi adalah pokok pembicaraan apendiks ini.

Hitungan-hitungan yang menyangkut koordinat dilaksanakan dalam berbagai masalah pengukuran. Dua keadaan ditampilkan dalam Bab 13, di mana diperlihatkan bahwa panjang dan sudut arah (atau azimuth) sebuah garis dapat dihitung dari koordinat titik-titik ujungnya. Hitungan luas memakai koordinat dibicarakan dalam Bab 15. Masalah-masalah tambahan yang mudah diselesaikan memakai koordinat adalah menentukan titik potong (a) dua garis lurus, (b) garis lurus dan lingkaran, dan (c) dua lingkaran. Masalah-masalah ini sering dijumpai dalam pengukuran jalur lintas di mana diperlukan menghitung perpotongan garis singgung dan lengkungan melingkar dalam pelurusan horisontal, dan dalam pekerjaan batas dan pengkaplingan di mana petak-petak tanah sering dinyatakan dengan garis-garis lurus dan busur-busur lingkaran.

Penyelesaian masalah-masalah ini dapat diperoleh dengan menuliskan persamaan-persamaan untuk garis dan lingkaran yang bersangkutan, yang termasuk koordinat titik potong



Gambar B-1. Geometri garis lurus dalam sistem koordinat bidang datar.

yang belum diketahui, kemudian memecahkannya dengan serentak untuk yang belum diketahui. Persamaan-persamaan yang diperlukan, bersama contoh soal-soal, disajikan dalam paragraf-paragraf berikut ini.

**B-2. BENTUK PERSAMAAN KOORDINAT UNTUK GARIS.** Pada Gambar B-1, garis lurus  $AB$  dinyatakan dalam sistem koordinat tegaklurus bidang datar. Koordinat titik ujung  $A$  dan  $B$  adalah  $X_A, Y_A, X_B$  dan  $Y_B$ . Panjang  $AB$  dan azimut  $\alpha$  garis ini dinyatakan dengan koordinat adalah

$$AB = \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2} \quad (B-1)$$

$$\alpha = \text{busur tg} \left( \frac{X_B - X_A}{Y_B - Y_A} \right) \quad (B-2)$$

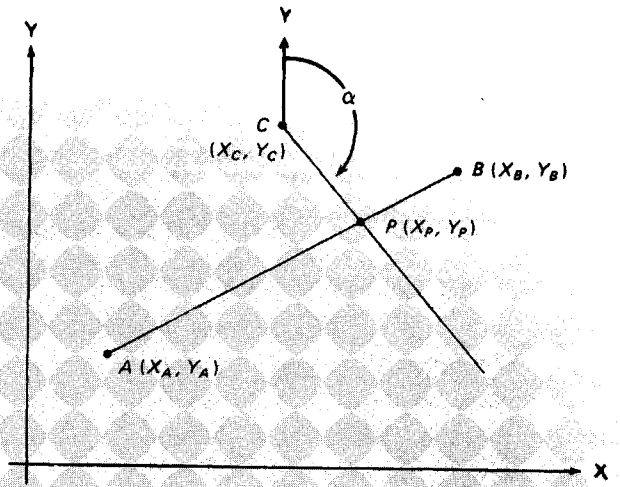
Bentuk matematis umum sebuah garis lurus adalah:

$$Y_p = mX_p + b \quad (B-3)$$

di mana  $Y_p$  adalah koordinat  $Y$  sembarang titik  $P$  pada garis yang koordinat  $X$ -nya adalah  $X_p$ ,  $m$  adalah kemiringan garis, dan  $b$  adalah potongan  $Y$  terhadap garis. Kemiringan  $m$  dapat dinyatakan sebagai:

$$m = \frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A} = \cotg \alpha \quad (B-4)$$

Untuk sembarang garis lurus, kemiringannya tetap; yaitu, pada Gambar B-1, kemiringan antara  $A$  dan  $B$  sama dengan kemiringan antara  $A$  dan  $P$ . Jadi persamaan berikut dapat



Gambar B-2. Perpotongan dua garis.

$$\frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A} = \frac{Y_P - Y_A}{X_P - X_A} = \cotg \alpha \quad (B-5)$$

**B-3. PERPOTONGAN DUA GARIS.** Persamaan (B-5) sangat berguna dalam menghitung titik potong dua garis. Data yang biasanya diketahui untuk soal jenis ini adalah koordinat koordinat titik ujung garis-garis, atau azimut tetap garis yang ditentukan dari pengukuran atau data rancangan.

#### CONTOH B-1

Pada Gambar B-2, keterangan berikut dianggap diketahui untuk dua garis, hitunglah koordinat  $X_p$  dan  $Y_p$  titik potong.

$$\begin{array}{llll} X_A = 1425,07 & X_B = 7484,80 & X_C = 4497,96 & \alpha = 141^\circ 30' \\ Y_A = 1971,28 & Y_B = 5209,64 & Y_C = 6062,00 & \end{array}$$

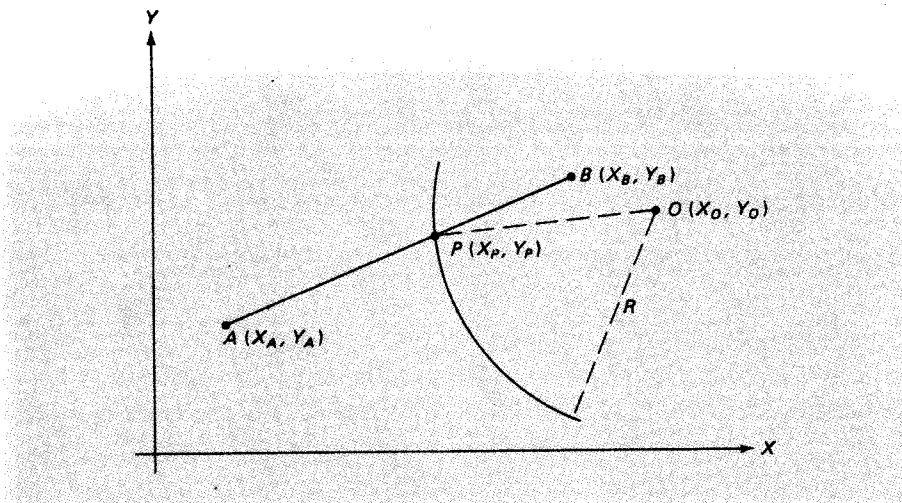
Dengan Pers. (B-5), untuk garis  $AB$  berlaku:

$$\frac{5209,64 - 1971,28}{7484,80 - 1425,07} = \frac{Y_p - 1971,28}{X_p - 1425,07} \quad (a)$$

Juga, dengan Pers. (B-5), untuk garis di  $C$  berlaku:

$$\frac{Y_p - 6062,00}{X_p - 4497,96} = \cotg 141^\circ 30' \quad (b)$$

Penyelesaian (a) dan (b)



Gambar B-3. Perpotongan garis dan lingkaran.

$$0,53441X_p - Y_p = -1209,71 \quad (c)$$

$$1,25717X_p + Y_p = 11.716,43 \quad (d)$$

Pemecahan Pers. (c) dan (d) secara serentak menghasilkan:

$$X_p = 5864,50 \text{ ft}$$

$$Y_p = 4343,76 \text{ ft}$$

**B-4. BENTUK PERSAMAAN KOORDINAT UNTUK LINGKARAN.** Bentuk matematis umum untuk lingkaran dalam koordinat tegaklurus adalah:

$$R^2 = (X_p - X_o)^2 + (Y_p - Y_o)^2 \quad (B-6)$$

Dalam Pers. (B-6) dan berdasarkan Gambar B-3,  $R$  adalah jari-jari lingkaran,  $X_o$  dan  $Y_o$  koordinat titik pusat  $O$ , dan  $X_p$ ,  $Y_p$  adalah koordinat sembarang titik  $P$  pada lingkaran. Untuk kebanyakan soal jari-jari dan koordinat titik pusat lingkaran diketahui,  $R$  dipilih atas dasar ketentuan rancangan, atau kendala geometrik, dan  $X_o$ ,  $Y_o$  telah dihitung sebagai hasil pengukuran, atau diambil dari peta rancangan.

**B-5. PERPOTONGAN GARIS DAN LINGKARAN.** Gambar B-3 memperlihatkan garis  $AB$  memotong lingkaran di titik  $P$ . Koordinat titik-titik  $A$ ,  $B$  dan  $O$  diketahui, begitu pula jari-jarinya. Untuk memecahkan titik potong, sebuah persamaan dalam bentuk Pers. (B-5) dapat dituliskan untuk garisnya, dan sebuah seperti Pers. (B-6) untuk lingkaran. Persamaan-persamaan ini, bila diselesaikan serentak, menghasilkan bentuk kuadrat untuk salah satu yang tak diketahui, sebagai:

$$aY^2 + bY + c = 0 \quad (B-7)$$

Penyelesaian untuk  $Y_p$  diperoleh dari:

$$Y_p = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (B-8)$$

Setelah menghitung  $Y_p$ , harganya dapat dimasukkan ke persamaan aslinya untuk memperoleh  $X_p$ .

#### CONTOH B-2

Pada Gambar B-3, anggaplah bahwa koordinat pusat lingkaran adalah  $X_o = 500,00$  dan  $Y_o = 200,00$ ; untuk titik-titik  $A$  dan  $B$ ,  $X_A = 100,00$ ,  $Y_A = 130,00$ ,  $X_B = 300,00$ , dan  $Y_B = 200,00$ ; dan  $R = 150$  ft. Tentukan koordinat titik potong  $P$ .

Dari Pers. (B-5):

$$\frac{X_p - 100,00}{Y_p - 130,00} = \frac{300,00 - 100,00}{200,00 - 130,00} \quad (e)$$

dan dengan Pers. (B-6):

$$(X_p - 500,00)^2 + (Y_p - 200,00)^2 = (150,00)^2 \quad (f)$$

Penyederhanaan Pers. (e):

$$X_p = 2,8571Y_p - 271,43 \quad (g)$$

Masukkan (g) ke (f) dan disederhanakan:

$$Y_p^2 - 524,73Y_p + 66.856 = 0 \quad (h)$$

Penyelesaian Pers. (h) dengan Pers. (B-8):

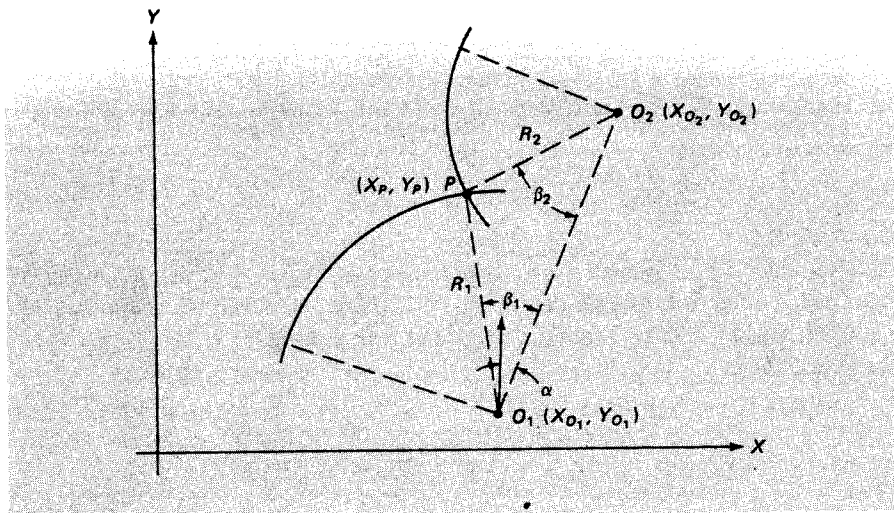
$$Y_p = \frac{524,73 \pm \sqrt{(524,73)^2 - 4(66.856)}}{2} = 217,87$$

Kemudian masukkan  $Y_p = 217,87$  ke dalam Pers. (g):

$$X_p = 2,8571(217,87) - 271,43 = 351,05$$

Dalam menyelesaikan Pers. kuadrat (h), keputusan untuk memakai tanda plus atau minus dapat dibuat berdasarkan pengalaman atau memakai diagram skala yang juga merupakan pengecekan hitungan. Sebuah jawaban akan tidak masuk akal dan dibuang.

**B-6. PERPOTONGAN DUA LINGKARAN.** Kadang-kadang juru-ukur diminta untuk menghitung titik potong dua lingkaran dengan jari-jari yang diketahui, demikian pula koordinat titik-titik pusatnya. Keadaan ini terlihat pada Gambar B-4. Soalnya dapat dipecahkan dengan menuliskan persamaan-persamaan dalam bentuk Pers. (B-6), termasuk koordinat  $X_p$ ,  $Y_p$  yang tak diketahui dalam kedua persamaan, dan kemudian dipecahkan serentak untuk yang tak diketahui. Tetapi yang tak diketahui keduanya akan muncul



Gambar B-4. Perpotongan dua lingkaran.

Dalam pendekatan alternatif, panjang dan azimuth  $O_1O_2$  dari Gambar B-4 dapat diperoleh dari Pers. (B-1) dan Pers. (B-2), setelah mana sudut-sudut  $\beta_1$  dan  $\beta_2$  dihitung dengan memakai dalil cos. Setelah  $\beta_1$  dan  $\beta_2$  diketahui, azimuth-azimut  $O_1P$  dan  $O_2P$  dihitung, dan soalnya sekarang tinggal menyelesaikan koordinat  $P$  diketahui panjang dan arahnya dari titik  $O_1$  atau  $O_2$  yang diketahui.

### CONTOH B-3

Pada Gambar B-4, anggaplah data berikut ini tersedia, dan  $X_p, Y_p$  dicari:

$$\begin{aligned} X_{O_1} &= 2851,28 & Y_{O_1} &= 299,40 & R_1 &= 2000 \text{ ft} \\ X_{O_2} &= 3898,72 & Y_{O_2} &= 2870,15 & R_2 &= 1500 \text{ ft} \end{aligned}$$

Dengan Pers. (B-1):

$$O_1O_2 = \sqrt{(3898,72 - 2851,28)^2 + (2870,15 - 299,40)^2} = 2775,95 \text{ ft}$$

Dengan Pers. (B-2):

$$\alpha = \text{busur tg} \left( \frac{3898,72 - 2851,28}{2870,15 - 299,40} \right) = 22^\circ 10' 05,5''$$

Dari rumus cos:

$$\beta_1 = \text{busur cos} \left[ \frac{(2000)^2 + (2775,95)^2 - (1500)^2}{2(2000)(2775,95)} \right] = 31^\circ 36' 53,4''$$

$$\beta_2 = \text{busur cos} \left[ \frac{(1500)^2 + (2775,95)^2 - (2000)^2}{2(1500)(2775,95)} \right] = 44^\circ 20' 31,8''$$

$$\begin{aligned} \alpha_{O_1P} &= 22^\circ 10' 05,5'' + 31^\circ 36' 53,4'' = 53^\circ 47' 0,9'' \\ &= 360^\circ - 53^\circ 47' 0,9'' = 350^\circ 33' 12,1'' \\ \alpha_{O_2P} &= 22^\circ 10' 05,5'' + 180^\circ + 44^\circ 20' 31,8'' = 246^\circ 30' 37,3'' \end{aligned}$$

Dengan koordinat  $O_1$  dan panjang serta arah  $O_1P$  diketahui, koordinat  $P$  dapat diperoleh langsung sebagai:

$$\begin{aligned} X_p &= 2851,28 + 2000 \times \sin 350^\circ 33' 12,1'' = 2523,02 \text{ ft} \\ Y_p &= 299,40 + 2000 \times \cos 350^\circ 33' 12,1'' = 2272,28 \text{ ft} \end{aligned}$$

Koordinat-koordinat ini dapat dicek dengan hitungan serupa dari titik  $O_2$  memakai panjang dan arah  $O_2P$ .

**B-7. TRANSFORMASI KOORDINAT DUA-DIMENSI.** Kadang-kadang perlu mengkonversi koordinat titik dari satu sistem sumbu pengukuran ke sistem yang lain. Ini terjadi misalnya jika pengukuran dilaksanakan dalam sistem koordinat sementara atau sistem koordinat lokal, dan belakangan ingin dihitung dalam sistem koordinat bidang negara bagian. Proses pembuatan konversi ini disebut *transformasi koordinat*, dan jika hanya melibatkan koordinat planimetrik (yaitu  $X$  dan  $Y$ ) disebut *transformasi koordinat dua dimensi*.

Geometri transformasi koordinat dua dimensi dilukiskan dalam Gambar B-5. Dalam gambar,  $X - Y$  merupakan sistem koordinat anggapan lokal, dan  $E - N$  adalah sistem koordinat bidang negara bagian. Koordinat titik  $A$  sampai dengan  $D$  diketahui dalam sistem  $X - Y$  dan koordinat  $A$  dan  $B$  juga diketahui dalam sistem  $E - N$ . Titik-titik semacam  $A$  dan  $B$  yang kedudukannya diketahui di kedua sistem, diberi istilah "titik kontrol". Paling sedikit diperlukan dua titik kontrol agar dapat ditentukan koordinat  $E - N$  titik-titik lain misalnya  $C$  dan  $D$ .

Jika kedua sistem itu sama skalanya (kasus yang biasa dalam pengukuran tanah), hanya dua langkah yang terlibat dalam transformasi koordinat; (1) *putaran* (rotasi), dan (2) *gerak lurus* translasi. Menurut Gambar B-5, putaran terdiri atas penentuan koordinat titik-titik dalam sistem sumbu  $X' - Y'$  yang diputar (digambar dengan garis putus-putus). Sumbu  $X' - Y'$  sejajar dengan  $E - N$ , tetapi pusat sistem ini berimpit dengan pusat  $X - Y$ . Pada gambar, sudut putaran  $\theta$ , antara sistem sumbu  $X - Y$  dan  $X' - Y'$  adalah:

$$\theta = \alpha - \beta \quad (\text{B-9})$$

Dalam Pers. (B-9),  $\alpha$  dan  $\beta$  dihitung dari dua pasang koordinat titik kontrol  $A$  dan  $B$  memakai Pers. (B-2) sebagai berikut:

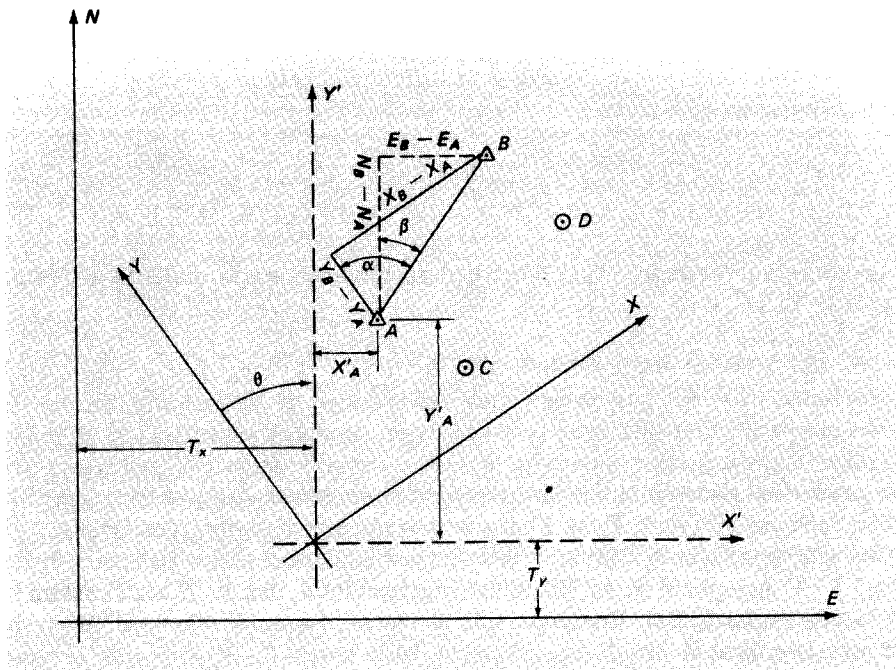
$$\alpha = \text{busur tg} \left[ \frac{X_B - X_A}{Y_B - Y_A} \right]$$

dan

$$\beta = \text{busur tg} \left[ \frac{E_B - E_A}{N_B - N_A} \right]$$

Setelah  $\theta$  diketahui,  $X'$  dan  $Y'$  dari sembarang titik, misalnya  $A$ , dapat dihitung dari:

$$\begin{aligned} X'_A &= X_A \cos \theta - Y_A \sin \theta \\ Y'_A &= X_A \sin \theta + Y_A \cos \theta \end{aligned} \quad (\text{B-10})$$



Gambar B-5. Geometri transformasi koordinat dua-dimensi.

Bagian-bagian terpisah dari rumus-rumus putaran [ruas kanan Pers. (B-10)], diperinci dalam Gambar B-6.

Geraklurus terdiri atas pergeseran pusat sumbu  $X' - Y'$  ke pusat sumbu sistem  $E - N$ . Ini dicapai dengan menambahkan faktor-faktor geraklurus  $T_x$  dan  $T_y$  (lihat Gambar B-5) pada koordinat  $X'$  dan  $Y'$  untuk memperoleh koordinat  $E$  dan  $N$ . Jadi untuk titik  $A$ :

$$\begin{aligned} E_A &= X'_A + T_x \\ N_A &= Y'_A + T_y \end{aligned} \quad (B-11)$$

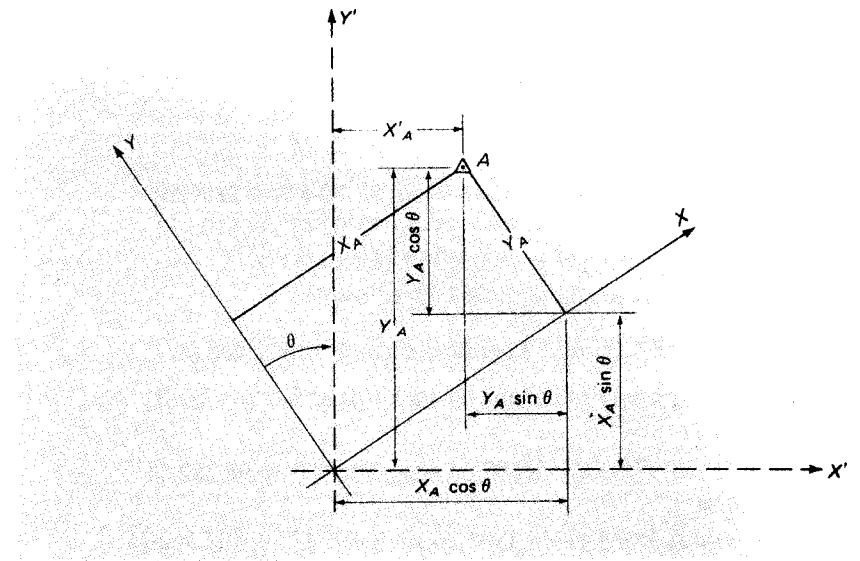
Menyusun kembali Pers. (B-11) dan memakai koordinat salah satu titik kontrol (misalnya  $A$ ), harga-harga numeris  $T_x$  dan  $T_y$  dapat diperoleh sebagai:

$$\begin{aligned} T_x &= E_A - X'_A \\ T_y &= N_A - Y'_A \end{aligned} \quad (B-12)$$

Titik kontrol yang lain (yaitu titik  $B$ ) sebaiknya juga dipakai dalam Pers. (B-12) untuk menghitung  $T_x$  dan  $T_y$ , sehingga didapat pengecekan hitungan.

Memasukkan Pers. (B-10) ke dalam Pers. (B-11) dan menghilangkan huruf bawah, diperoleh persamaan-persamaan sebagai berikut untuk menghitung koordinat  $E$  dan  $N$  titik-titik yang bukan titik kontrol (misalnya  $C$  dan  $D$ ) dari harga-harga  $X$  dan  $Y$ -nya:

$$\begin{aligned} E &= X \cos \theta - Y \sin \theta + T_x \\ N &= X \sin \theta + Y \cos \theta + T_y \end{aligned} \quad (B-13)$$



Gambar B-6. Perincian rumus putaran pada transformasi koordinat dua-dimensi.

Dalam ringkasan, prosedur pelaksanaan transformasi koordinat dua-dimensi terdiri atas (1) menghitung sudut putaran  $\theta$  memakai dua titik kontrol dan Pers. (B-2) dan (B-9); (2) menyelesaikan Pers. (B-10) dan (B-12) memakai sebuah titik kontrol (dicek dengan yang lain) untuk mendapatkan faktor-faktor geraklurus  $T_x$  dan  $T_y$ , dan (3) memakai  $\theta$  dan  $T_x$  serta  $T_y$  dalam Pers. (B-13) untuk mentransformasikan semua yang bukan titik kontrol. Jika ada lebih dari dua titik kontrol, dapat diperoleh penyelesaian yang lebih baik dengan memakai kuadrat terkecil, tetapi pembicaraan itu di luar cakupan teks ini.

#### CONTOH B-4

Pada Gambar B-5, koordinat  $E - N$  dan  $X - Y$  berikut ini diketahui untuk titik  $A$  sampai dengan  $D$ . Hitunglah koordinat  $E$  dan  $N$  untuk titik-titik  $C$  dan  $D$ .

TITIK	KOORDINAT BID. DATAR NEG. BAGIAN (ft)		KOORDINAT SEMENTARA (ft)	
	T	U	X	Y
A	194.683,50	99.760,22	2848,28	2319,94
B	196.412,80	102.367,61	5720,05	3561,68
C			3541,72	897,03
D			6160,31	1941,26

#### PENYELESAIAN

1. Tentukan  $\alpha$ ,  $\beta$  dan  $\theta$  dari Pers.(B-2) dan (B-9):

$$\alpha = \text{busur tg} \left[ \frac{5720,05 - 2848,28}{3561,68 - 2319,94} \right] = 66^\circ 36' 59,7''$$

$$\beta = \text{busur tg} \left[ \frac{196.412,80 - 194.683,50}{102.367,61 - 99.760,22} \right] = 33^\circ 33' 12,7''$$

$$\theta = 66^\circ 36' 59,7'' - 33^\circ 33' 12,7'' = 33^\circ 03' 47''$$



2. Tentukan  $T_x$  dan  $T_y$  dari Pers. (B-10) dan (B-12) memakai titik  $A$ :

$$X'_A = 2848,28 \cos 33^\circ 03' 47'' - 2319,94 \sin 33^\circ 03' 47'' = 1121,39$$

$$Y'_A = 2848,28 \sin 33^\circ 03' 47'' + 2319,94 \cos 33^\circ 03' 47'' = 3498,18$$

$$T_x = 194.683,50 - 1121,39 = 193,562,11$$

$$T_y = 99.760,22 - 3498,18 = 96.262,04$$

3.  $T_x$  dan  $T_y$  dicek memakai titik  $B$ :

$$X'_B = 5720,05 \cos 33^\circ 03' 47'' - 3561,68 \sin 33^\circ 03' 47'' = 2850,69$$

$$Y'_B = 5720,05 \sin 33^\circ 03' 47'' + 3561,68 \cos 33^\circ 03' 47'' = 6105,58$$

$$T_x = 196.412,80 - 2850,69 = 193.562,11 \text{ (Cocok!)}$$

$$T_y = 102.367,61 - 6105,58 = 96.262,03 \text{ (Cocok!)}$$

4. Selesaikan Pers. (B-13) untuk koordinat  $E$  dan  $N$  titik  $C$  dan  $D$ :

$$E_C = 3541,72 \cos 33^\circ 03' 47'' - 897,03 \sin 33^\circ 03' 47'' + 193.562,11 \\ = 196.040,93$$

$$N_C = 3541,72 \sin 33^\circ 03' 47'' + 897,03 \cos 33^\circ 03' 47'' + 96.262,04 \\ = 98,946,04$$

$$E_D = 6160,31 \cos 33^\circ 03' 47'' - 1941,26 \sin 33^\circ 03' 47'' + 193.562,11 \\ = 197.665,81$$

$$N_D = 6160,31 \sin 33^\circ 03' 47'' + 1941,26 \cos 33^\circ 03' 47'' + 96.262,04 \\ = 101.249,78$$

## PROGRAM-PROGRAM APENDIKS C KOMPUTER

**C-1. PENGANTAR.** Apendiks ini berisi daftar tiga program komputer, bersama dengan contoh-contoh masukan/keluaran (input/output) menggambarkan pemakaiannya. Program-program itu ditulis dalam BASIC dan cocok dengan hampir semua sistem hitungan yang mendukung bahasa ini. Pemasukan papan tombol jari (keyboard) daripada daftar ini, bila dibuat tepat seperti yang ditunjukkan, akan memberikan hasil seperti contoh-contoh dan memecahkan masalah-masalah serupa.

Program-program itu, yang dijelaskan lebih terperinci dalam paragraf-paragraf berikutnya, melaksanakan (1) hitungan poligon, (2) azimut dari pengamatan Polaris, dan (3) azimut dari matahari. Dalam tiap program, "desakan" yang ditunjukkan dengan tanda tanya memberitahu kepada pemakai untuk memasukkan data yang diperlukan untuk penyelesaian.

Pemakaian tak terbatas atas program-program ini telah diizinkan; tetapi, penerbit dan para pengarang tidak bertanggungjawab atas masalah-masalah yang mungkin timbul sebagai akibat pemakaiannya.

**C-2. PROGRAM UNTUK HITUNGAN POLIGON.** Program berikut ini melaksanakan hitungan poligon untuk kedua jenis poligon tertutup – yaitu, poligon-poligon yang terikat pada titik awalnya dan poligon-poligon yang terikat pada titik lain yang diketahui keduanya. Seperti yang sekarang segera terlihat, poligon-poligon sampai 40 arah dapat ditangani. Hitungannya termasuk menentukan selisih- $x$  dan selisih- $y$ , meratakannya dengan aturan kompas dan menghitung kesalahan penutup linier dan kasaksamaan. Dari koordinat

yang diberikan pada stasiun awal, koordinat semua titik poligon ditentukan, dan jika berbentuk poligon tertutup, luasnya dihitung dengan metode koordinat.

Sebelum memakai program, stasiun-stasiun poligon harus diberi tanda pengenal dengan nomor urut mulai dengan 1. Masukan ke program terdiri atas (1) banyaknya jurusan dalam poligon; (2) pemasukan (entry) nomor 1 bila poligon tertutup, 2 bila bukan; (3) panjang (dalam feet) dan azimut (dalam derajat, menit dan sekon) masing-masing jurusan yang berturutan dimulai dengan garis 1-2; dan (4) koordinat stasiun 1 jika poligon segibanyak, atau stasiun-stasiun pertama dan terakhir bila bukan. Dalam penomoran stasiun-stasiun poligon, 1 harus diberikan kepada stasiun yang diketahui koordinatnya. Program dapat menerima panjang dalam meter; tetapi, dianggap memakai feet dan berdasarkan anggapan ini, luas dihitung dan ditulis dalam acre. Jika dipakai meter, panjang dan koordinat akan ditulis benar pada keluaran (output) dalam meter. Tetapi, luas yang tertulis harus dikalikan 4,3560 untuk mengubahnya menjadi hektar.

Berikut ini adalah daftar program dan contoh masukan/keluaran (input/output) untuk menyelesaikan Contoh 13-2 dan 14-5 pada teks. Perhatikanlah bahwa hasilnya cocok dengan yang diberikan dalam Tabel 13-3 dan 14-3.

### Daftar Program

```

100 REM TRAVERSE COMPUTATION
110 DIM DS(40),DG(40),MN(40),SC(40),RA(40),XU(41),YU(41),XB(41),YB(41),
    X(41),Y(41)
120 RD=3.14159265/180
130 PRINT "ENTER NUMBER OF COURSES IN TRAVERSE";
140 INPUT NC
150 PRINT "ENTER '1' IF POLYGON TRAVERSE, '2' IF NOT";
160 INPUT TT
170 IF TT=1 THEN 200
180 IF TT=2 THEN 200
190 GOTO 150
200 DX=0
210 DY=0
220 PE=0
230 PRINT "ENTER DISTANCE AND AZIMUTH (deg,min,sec) OF EACH COURSE"
240 FOR I=1 TO NC
250 PRINT "COURSE";I;
260 INPUT DS(I),DG(I),MN(I),SC(I)
270 PE=PE+DS(I)
280 RA(I)=RD*(DG(I)+MN(I)/60+SC(I)/3600)
290 XU(I)=DS(I)*SIN(RA(I))
300 YU(I)=DS(I)*COS(RA(I))
310 DX=DX+XU(I)
320 DY=DY+YU(I)
330 NEXT I
340 PRINT "ENTER COORDINATES (X,Y) OF STARTING STATION";
350 INPUT X(1),Y(1)
360 IF TT=1 THEN 420
370 PRINT "ENTER COORDINATES (X,Y) OF ENDING STATION";
380 INPUT X(NC+1),Y(NC+1)
390 CX=DX-(X(NC+1)-X(1))
400 CY=DY-(Y(NC+1)-Y(1))
410 GOTO 460
420 X(NC+1)=X(1)
430 Y(NC+1)=Y(1)
440 CX=DX
450 CY=DY
460 CL=SQR(CX*CX+CY*CY)
470 PC=INT(PE/CL)
480 PRINT
490 PRINT "COURSE";TAB(11);"LENGTH";TAB(26);"AZIMUTH";TAB(43);"COS";
    TAB(55);"SIN"
500 FOR I=1 TO NC
510 J=0
520 IF TT=2 THEN 550
530 IF I<>NC THEN 550
540 J=NC
550 PRINT I;"-";I+1-J;TAB(11);DS(I);TAB(23);DG(I);"-" ;MN(I);"-" ;SC(I);
    TAB(41);COS(RA(I));TAB(53);SIN(RA(I))
560 XB(I)=XU(I)-CX*DS(I)/PE
570 YB(I)=YU(I)-CY*DS(I)/PE
580 X(I+1)=X(I)+XB(I)

```

```

590 Y(I+1)=Y(I)+YB(I)
600 NEXT I
610 PRINT "UNBALANCED";TAB(26);"BALANCED";TAB(50);"COORDINATES"
650 PRINT "LAT";TAB(14);"DEP";TAB(23);"LAT";TAB(33);"DEP";
    TAB(43);"STA";TAB(49);"NORTH";TAB(60);"EAST"
660 XX=0
670 FOR I=1 TO NC
680 XU(I)=INT(XU(I)*1000+0.5)/1000
690 YU(I)=INT(YU(I)*1000+0.5)/1000
700 XB(I)=INT(XB(I)*1000+0.5)/1000
710 YB(I)=INT(YB(I)*1000+0.5)/1000
720 X(I)=INT(X(I)*1000+0.5)/1000
730 Y(I)=INT(Y(I)*1000+0.5)/1000
740 PRINT YU(I);TAB(12);XU(I);TAB(22);YB(I);TAB(32);XB(I);TAB(43);I;
    TAB(48);Y(I);TAB(59);X(I)
750 IF TT=2 THEN 770
760 XX=XX+X(I)*Y(I+1)-Y(I)*X(I+1)
770 NEXT I
780 DX=INT(DX*1000+0.5)/1000
790 DY=INT(DY*1000+0.5)/1000
800 PRINT DY;TAB(12);DX
810 PRINT
820 PRINT
830 PRINT "LINEAR MISCLOSURE = ";INT(1000*CL)/1000;" Feet"
840 PRINT "PRECISION = 1 in ";PC
850 IF TT=2 THEN 870
860 PRINT "AREA = ";INT(10000*ABS(XX/(2*43560)))/10000;" Acres"
870 END

```

### Daftar Masukan/Keluaran untuk Soal Contoh

```

ENTER NUMBER OF COURSES IN TRAVERSE? 5
ENTER '1' IF POLYGON TRAVERSE, '2' IF NOT? 1
ENTER DISTANCE AND AZIMUTH (deg,min,sec) OF EACH COURSE
COURSE 1 ? 285.10,26,10,00
COURSE 2 ? 610.45,104,35,00
COURSE 3 ? 720.48,195,30,00
COURSE 4 ? 203.00,358,18,00
COURSE 5 ? 647.02,306,54,00
ENTER COORDINATES (X,Y) OF STARTING STATION? 10000,10000

```

COURSE	LENGTH	AZIMUTH	COS	SIN
1 - 2	285.1	26 - 10 - 0	.897515	.440984
2 - 3	610.45	104 - 35 - 0	-.251788	.967783
3 - 4	720.48	195 - 30 - 0	-.963631	-.267238
4 - 5	203	358 - 18 - 0	.99956	-.0296663
5 - 1	647.02	306 - 54 - 0	.60042	-.799685
	2466.05			

UNBALANCED		BALANCED		COORDINATES		
LAT	DEP	LAT	DEP	STA	NORTH	EAST
255.882	125.724	255.963	125.663	1	10000	10000
-153.704	590.783	-153.529	590.651	2	10255.963	10125.663
-694.276	-192.54	-694.071	-192.696	3	10102.434	10716.314
202.911	-6.022	202.969	-6.066	4	9408.363	10523.618
388.484	-517.412	388.669	-517.552	5	9611.331	10517.552
-.704	.533					

```

LINEAR MISCLOSURE = .883 Feet (Kesalahan penutup linier)
PRECISION = 1 in 2791 (Kesaksamaan)
AREA = 6.2582 Acres (Luas)

```

**C-3. AZIMUT DARI PENGAMATAN POLARIS.** Program berikut ini menyelesaikan Pers. (19-1) untuk azimut Polaris (atau bintang lain) pada sembarang sudut jam. Sudut horizontal dan titik sampai bintang kemudian harus diterapkan dengan tangan untuk memperoleh azimut garisnya. Seperti sekarang diberikan, program akan menerima berapa saja banyaknya pengamatan biasa maupun luar biasa sampai sejumlah 16, dan bila lebih dari satu dimasukkan, program melaksanakan hitungan secara terpisah untuk masing-masing pengamatan dan akan memberikan azimut menengah.

Masukan terdiri atas (1) jumlah banyaknya pengamatan, biasa dan luar biasa; (2) lintang stasiun pengamatan (dalam derajat, menit, dan sekon); (3) bujur stasiun (dalam derajat, menit, dan sekon); (4) deklinasi bintang (dalam derajat, menit, dan sekon) pada saat paling mutakhir yang terdaftar dalam efemeris sebelum pengamatan pertama; (5) deklinasi bintang (dalam derajat, menit dan sekon) pada saat sedekat mungkin dengan saat yang terdaftar dalam efemeris setelah pengamatan; (6) waktu terlewat (dalam hari sampai 0,1 hari, terdekat) antara saat deklinasi masuk pertama dan saat pengamatan; (7) interval waktu (dalam hari sampai 0,1 hari, terdekat) antara saat pengamatan dan saat deklinasi masuk kedua; (8) sudut jam Greenwich (dalam derajat, menit dan sekon) bintang pada jam 0 (nol) GCT pada hari pengamatan; dan (9) Greenwich Civil Time (dalam jam, menit dan detik) dari masing-masing pengamatan.

Daftar program disajikan beserta masukan/keluaran untuk menyelesaikan Contoh 19-1 dalam teks. Dalam contoh, keempat rangkaian data dimasukkan dan azimuth menengah bintang ( $359^{\circ}31'24,8''$ ) dihitung. Untuk memperoleh azimuth garis, harga menengah dari keempat sudut horisontal ( $49^{\circ}38,8'$ ) dikurangkan, menghasilkan azimuth garis sebesar  $309^{\circ}52,6'$ . Ini cocok dengan harga yang diperoleh dalam penyelesaian contoh dalam teks, yang hanya untuk pengamatan pertama saja.

#### Daftar Program

```

100 REM AZIMUTH FROM POLARIS OBSERVATIONS
110 DIM A(16)
120 PI=3.14159265
130 RO=PI/180
140 PRINT "HOW MANY OBSERVATIONS (DIRECT + REVERSE)";
150 INPUT N
160 PRINT "LATITUDE (deg,min,sec)";
170 INPUT D,M,S
180 LA=RO*(D+M/60+S/3600)
190 PRINT "LONGITUDE (deg,min,sec)";
200 INPUT D,M,S
210 LO=RO*(D+M/60+S/3600)
220 PRINT "DECL. (deg,min,sec) AT MOST RECENT TIME BEFORE OBSERVATIONS";
230 INPUT D,M,S
240 DE=RO*(D+M/60+S/3600)
250 PRINT "DECL. (deg,min,sec) AT NEAREST TIME AFTER OBSERVATIONS";
260 INPUT D,M,S
270 DA=RO*(D+M/60+S/3600)
280 PRINT "INTERVAL FROM TIME OF DECL. #1 TO TIME OF OBS. (NEAREST 0.1 DAY)";
290 INPUT TB
300 PRINT "INTERVAL FROM TIME OF OBS. TO TIME OF DECL. #2 (NEAREST 0.1 DAY)";
310 INPUT TA
320 DO=DB+(DA-DE)*(TB/(TA+TB))
330 PRINT "GHA (deg,min,sec) AT 0hrs GCT ON DAY OF OBSERVATIONS";
340 INPUT D,M,S
350 GH=RO*(D+M/60+S/3600)
360 FOR I=1 TO N
370 PRINT "GCT (hr,min,sec) OF OBSERVATION #";I;
380 INPUT D,M,S
390 GC=RO*15*(D+M/60+S/3600)
400 GCT=GH+GC*1.002737909
410 T=GCT-LO
420 FT=1
430 IF T<=0 THEN 460
440 IF T>=PI THEN 460
450 FT=-1
460 T=ABS(T)
470 IF T<=PI THEN 490
480 T=2*PI-T
490 Z=ATN(SIN(T)/(COS(LA)*TAN(DO)-SIN(LA)*COS(T)))
500 Z=Z*FT/RO
510 A(I)=Z
520 PRINT
530 NEXT I
540 X=0
550 FOR I=1 TO N
560 X=X+A(I)
570 NEXT I
580 X=X/N
590 IF X>=0 THEN 610
600 X=X+360

```

```

610 PRINT "AZIMUTH OF STAR (deg,min,sec):";XD;" ";XM;" ";XS;
620 END

```

#### Daftar Masukan/Keluaran untuk Soal Contoh

```

HOW MANY OBSERVATIONS (DIRECT + REVERSE)? 4 Direct = Instrumen "biasa"
LATITUDE (deg,min,sec)? 43,5,4,00 Reverse = Instrumen "luar biasa"
LONGITUDE (deg,min,sec)? 89,26,00
DECL. (deg,min,sec) AT MOST RECENT TIME BEFORE OBSERVATIONS? 89,11,06,00
DECL. (deg,min,sec) AT NEAREST TIME AFTER OBSERVATIONS? 89,11,02,00
INTERVAL FROM TIME OF DECL. #1 TO TIME OF OBS. (NEAREST 0.1 DAY)? 4.1
INTERVAL FROM TIME OF OBS. TO TIME OF DECL. #2 (NEAREST 0.1 DAY)? 5.9
GHA (deg,min,sec) AT 0hrs GCT ON DAY OF OBSERVATIONS? 218,31,8,00
GCT (hr,min,sec) OF OBSERVATION # 1 ? 1,30,49

GCT (hr,min,sec) OF OBSERVATION # 2 ? 1,39,00 (GCT = Greenwich Civil Time)

GCT (hr,min,sec) OF OBSERVATION # 3 ? 1,44,33

GCT (hr,min,sec) OF OBSERVATION # 4 ? 1,49,46

AZIMUTH OF STAR (deg,min,sec): 359 - 31 - 24.8 (Azimut bintang)

```

**C-4. AZIMUT DARI PENGAMATAN MATAHARI.** Program berikut ini menyelesaikan Pers. (19-4) untuk azimuth matahari berdasarkan tinggi bintang terukur. Sudut horisontal dari titik ke matahari kemudian harus diterapkan dengan tangan terhadap azimuth matahari untuk memperoleh azimuth garis. Dapat dipakai beberapa kali pengamatan dengan teropong biasa dan luar biasa, dan azimuth matahari menengah dihitung dari padanya.

Program itu menghitung koreksi-koreksi biasan dan paralaks terhadap tinggi-bintang terukur. Koreksi biasan dibuat dengan interpolasi dari harga-harga efemeris yang dimasukkan oleh pemakai untuk sudut-sudut vertikal yang merupakan golongan tinggi-bintang terukur daripada matahari. Paralaks dihitung sebagai fungsi tinggi matahari dan tidak memerlukan masukan (input) khusus. Program ini tidak mengoreksi galat indeks dan setengah-diameter. Jadi dianggap bahwa sejumlah pengamatan biasa yang sama banyak dengan pengamatan luar biasa akan dimasukkan, dan dipakai prisma Roelof atau diamati tepi matahari dengan jumlah sama pada kuadran-kuadran berhadapan diagonal di bidang pemandangan.

Masukan terdiri atas (1) tekanan atmosferik di saat pengamatan (dalam in air raksa); (2) suhu (dalam derajat Fahrenheit); (3) lintang stasiun yang diduduki (dalam derajat, menit, dan sekon); (4) deklinasi matahari (dalam derajat, menit dan sekon) pada jam 0 (nol) GCT hari pengamatan; (5) deklinasi matahari (dalam derajat, menit dan sekon) pada jam nol GCT hari setelah pengamatan; (6) jumlah banyaknya pengamatan, biasa plus luar biasa; (7) pemasukan 1 bila pengamatan pagi hari dan 2 bila sore hari; (8) tinggi-bintang terukur (dalam derajat, menit dan sekon) dan GCT (dalam jam, menit, dan detik) untuk masing-masing pengamatan; (dan (9) harga-harga interpolasi diambil dari efemeris untuk biasan (didorong oleh purata dari semua sudut tinggi-bintang terukur). Ini terdiri atas sudut tinggi-bintang (dalam derajat, menit dan sekon) lebih rendah daripada sudut tinggi-bintang menengah terukur, dan koreksi biasannya (dalam menit); dan sebuah sudut tinggi-bintang (dalam derajat, menit dan sekon) lebih tinggi daripada sudut tinggi-bintang menengah terukur, dan koreksi biasannya (dalam menit).

Daftar program diikuti dengan masukan/keluaran untuk penyelesaian Contoh 19-4 pada teks. Perhatikan bahwa hasil azimuth matahari yang tercatat, cocok dengan harga yang diperoleh dalam contoh teks.

## Daftar Program

```
100 REM AZIMUTH FROM SUN OBSERVATIONS
110 PI=3.14159265
120 PRINT "PRESSURE (Inches of Hg)";
130 INPUT P
140 PRINT "TEMPERATURE (FARENHEIT)";
150 INPUT T
160 CP=.014+.0333*P
170 CT=1.108-.00241*T+4.44E-6*T*T
180 PRINT "LATITUDE (deg,min,sec)";
190 INPUT D,M,S
200 LT=(D+M/60+S/3600)*PI/180
210 PRINT "DECL (deg,min,sec) AT 0hrs GCT DAY OF OBSERVATION";
220 INPUT D,M,S
230 DB=D+M/60+S/3600
240 PRINT "DECL. (deg,min,sec) AT 0hrs GCT DAY AFTER OBSERVATION";
250 INPUT D,M,S
260 DA=D+M/60+S/3600
270 PRINT "NUMBER OF OBSERVATIONS";
280 INPUT N
290 PRINT "ENTER '1' FOR MORNING OBSERVATIONS, '2' FOR AFTERNOON";
300 INPUT MA
310 IF MA=1 THEN 340
320 IF MA=2 THEN 340
330 GOTO 290
340 GC=0
350 H=0
360 FOR I=1 TO N
370 PRINT "OBSERVATION #";I
380 PRINT "ALTITUDE (deg,min,sec)";
390 INPUT D,M,S
400 H=H+D+M/60+S/3600
410 PRINT "GCT (hr,min,sec)";
420 INPUT D,M,S
430 GC=GC+D+M/60+S/3600
440 NEXT I
450 H=H/N
460 GC=GC/N
470 TD=(DB+(DA-DB)*GC/24)*PI/180
480 D=INT(H)
490 M=INT(60*(H-D))
500 PRINT "ENTER INTERPOLATION VALUES FOR REFRACTION (H=";D;"deg";M;"min)"
510 PRINT "LOWER ANGLE (deg,min), REFRACTION VALUE (min)";
520 INPUT D,M,RL
530 HL=D+M/60
540 PRINT "HIGHER ANGLE (deg,min), REFRACTION VALUE (min)";
550 INPUT D,M,RH
560 HH=D+M/60
570 R=RL+(RH-RL)*(H-HL)/(HH-HL)
580 Z=4.2606E-5*SIN((H+90)*PI/180)
590 HT=(H-R*CP*CT/60)*PI/180+ATN(Z/SQR(1-Z*Z))
600 Z=SIN(TD)/COS(LT)/COS(HT)-TAN(LT)*TAN(HT)
610 Z=90-ATN(Z/SQR(1-Z*Z))*180/PI
620 IF MA=1 THEN 640
630 Z=360-Z
640 D=INT(Z)
650 M=INT(60*(Z-D))
660 S=INT(60*(60*(Z-D)-M))
670 PRINT
680 PRINT
690 PRINT "AZIMUTH OF SUN (deg-min-sec):";D;"-";M;"-";S
700 END
```

```
ALTITUDE (deg,min,sec)? 49,52,00
GCT (hr,min,sec)? 19,15,37
OBSERVATION # 1
ALTITUDE (deg,min,sec)? 49,40,00
GCT (hr,min,sec)? 19,36,49
ENTER INTERPOLATION VALUES FOR REFRACTION (H= 49 deg 42 min)
LOWER ANGLE (deg,min), REFRACTION VALUE (min)? 48,00,0.86
HIGHER ANGLE (deg,min), REFRACTION VALUE (min)? 50,00,0.80
```

AZIMUTH OF SUN (deg-min-sec): 245 - 4 - 37

## Daftar Masukan/Keluaran untuk Soal Contoh

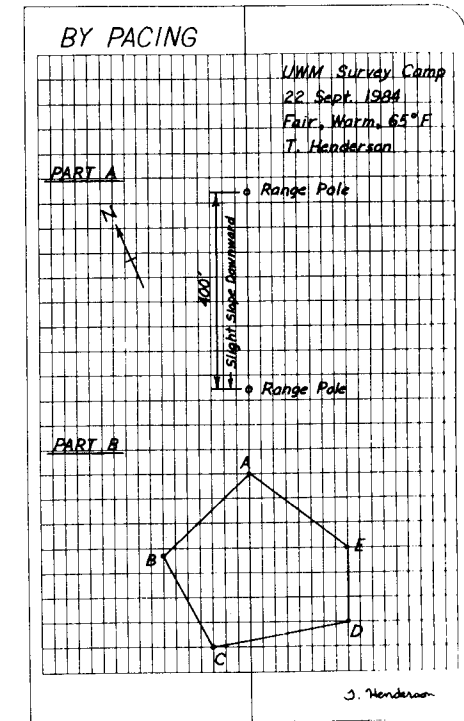
```
PRESSURE (Inches of Hg)? 28.7
TEMPERATURE (FARENHEIT)? 80
LATITUDE (deg,min,sec)? 42,45,00
DECL. (deg,min,sec) AT 0hrs GCT DAY OF OBSERVATION? 18,42.2,00
DECL. (deg,min,sec) AT 0hrs GCT DAY AFTER OBSERVATION? 18,27.8,00
NUMBER OF OBSERVATIONS? 4
ENTER '1' FOR MORNING OBSERVATIONS, '2' FOR AFTERNOON? 2
OBSERVATION # 1
ALTITUDE (deg,min,sec)? 49,44,00
GCT (hr,min,sec)? 19,33,10
OBSERVATION # 2
ALTITUDE (deg,min,sec)? 49,32,00
GCT (hr,min,sec)? 19,34,20
OBSERVATION # 3
```

# APENDIKS D

# CONTOH FORMULIR CATATAN

GAMBAR D-1

DISTANCES		
<b>A. DETERMINING LENGTH OF PACE</b>		
No. of Paces	Direction	Taped Dist.
154	S	400'
155	N	400'
155	S	400'
156	N	400'
155	Average	
Length of pace = $\frac{400'}{155} = 2.58'$		
No. of paces per 100' = 39		
<b>B. CHECKING LENGTH OF COURSE DE</b>		
No. of Paces	Direction	
119	N	
118	S	
119	N	
120	S	
119	Average	
Distance = $119 \times 2.58 = 307'$		
Taped length = 306.83' (Check)		

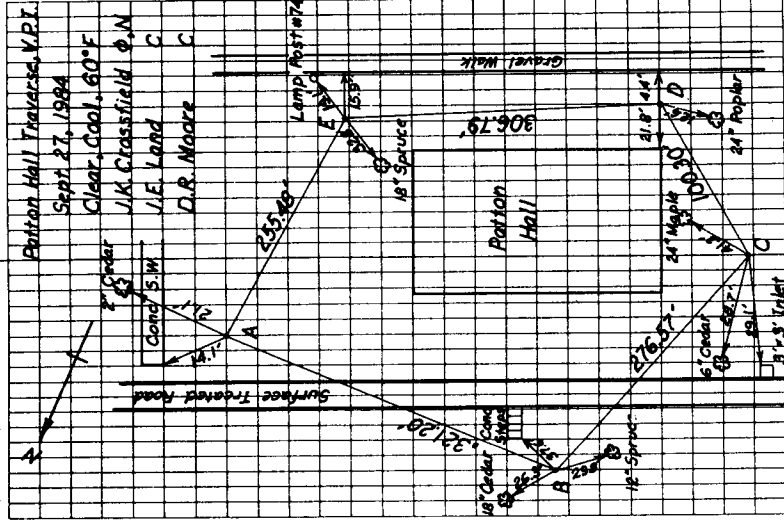


GAMBAR D-2

MEASURING DISTANCES WITH

Hub	Sta.	Dist.
A	0+00	321.20'
B	3+21.42	276.57'
C	5+97.99	100.30'
D	6+98.29	306.79'
E	10+05.16	255.48'
A	12+60.64	
$\Sigma$	1260.64	1260.34
Ratio of error = $\frac{0.30}{1260.49} = \frac{1}{4200}$		

A STEEL TAPE - TYING IN HUBS



J. K. Confield

GAMBAR D-3

DIFFERENTIAL LEVELS

Sta.	Sight	HI	Sight	Elev.	Dist.
BM Mil.	1.33	101.33		100.00	150
TP 1	0.22	93.18	8.37	92.96	150
TP 2	0.96	86.23	7.91	85.27	135
TP 3	0.46	74.97	8.94	85.27	135
BM Rutgers	2.97	78.21	11.72	74.51	160
BM Rutgers	11.95	88.15	0.71	66.26	160
TP 1	12.55	88.15	36.71	66.26	1210
TP 2	12.77	100.24		66.26	180
BM Mil.	37.27	100.24	2.61	75.60	180
BM Rutgers			0.68	87.47	180
BM Mil.			0.21	100.03	155
BM Rutgers			3.50	100.03	1030
BM Mil.				2053.18	
BM Rutgers				33.75	
BM Mil.				2086.93	

V.P.I. CAMPUS

BM Mil. to BM Rutgers		
28 Sept. 1984		
BM Mil. on V.P.I. Campus		
SW of Old Military Bldg.		
5.4 ft north of sidewalk		
to instrument room and		
1/6 ft from bldg. Bronze		
disc in pipe flush with		
ground.		
BM Rutgers SE of Patton Hall		
opposite main entrance and		
8 ft from curb around drill		
field. Bronze disc flush with		
ground set in 6" concrete		
cylinder and stamped "Rutgers."		
Rod Sums		
-36.71	+37.27	Elev Checks
+2.97	-3.50	+100.00
-33.74	+33.77	-33.74
	-33.74	+66.26
		+100.03
Loop misclosure 0.03		
Permissible misclosure = $0.05 \sqrt{M}$		
= $0.05 \sqrt{10000} = 0.03'$		

Marian M. Clark



GAMBAR D-4

RECIPROCAL LEVELING			
Station	Sight	Sight	Elev.
BM Rutgers	2.605		2053.182
BM Eggle		12.304	
		12.302	
		12.293	
		12.297	
BM Eggle		Avg. 12.299	2043.488
BM Rutgers	1.528		
	1.517		
	1.519		
	1.522		
	1.522	Avg.	
		11.203	9.681 2043.501
		Misclosure	0.013
BM Eggle		Mean	9.688
			2043.494

ACROSS DRILL FIELD	
VPI Campus	04 Oct. 1994
Clear. Hor. 80° E	
C.D. Ghilardi	N
H.W. Mills	Ø
M. Eidson	A
K&E Level #7	
BM Eggle NE corner of 2nd step of entrance to Eggleston Hall. An "X" chiseled in concrete.	

C. Shlain

GAMBAR D-5

PROFILE LEVELS			
Station	Sight	HI	Inf. Sight Elev.
BM Road	10.14	370.62	360.48
0+00			9.36 361.26
0+20			9.8 360.8
1+00			6.5 364.1
2+00			4.3 366.3
2+60			3.7 366.9
3+00			7.1 363.5
3+90			11.7 358.9
4+00			11.2 359.4
4+35			9.5 361.1
TP1	7.33	366.48	359.15
5+00		11.47	358.1
5+54			11.08 355.40
5+74			10.66 355.82
5+94			11.06 355.42
6+00			10.5 356.0
7+00			4.4 362.1
TP2	2.55	363.77	361.22
8+00		5.26	362.6
9+00			3.9 359.9
9+25.2			3.4 360.4
9+25.3			4.6 359.2
9+43.2			2.2 361.6
BM Store		0.76	363.01
Σ	20.02	17.49	

BM ROAD to BM STORE	
BM Road 3 miles SW of Mpls 200 yds. N of Pine St. overpass	SW Minneapolis on Hwy 169
40 ft E of E Hwy 169 Top of BM conc. post. No. 268	6 Oct 1984
E Hwy 169, painted "X"	Cool, Sunny, 50°F
West drainage ditch	R.J. Hintz N
	N.R. Olson Ø
	R.G. Perry A
Summit	Wild Level #3
Sag	
Summit	
E gutter, Maple St	+20.02
Ø Maple St	-17.49
W gutter, Maple St	+ 2.53
	360.48
	363.01
Summit	
Top of E curb, Elm St	
Bottom of E curb, Elm St	
Ø Elm St	
BM Store NE corner Elm St & 4th Ave. SE corner Store foundation wall. 3" brass disc set in gravel	

COPY

GAMBAR D-6

BORROW-PIT LEVELING			
Point	Sight	HI	Elev.
BM Road	4.22	364.70	360.48
A,0		5.2	359.5
B,0		5.4	359.3
C,0		5.7	359.0
D,0		5.9	358.8
E,0		6.2	358.5
A,1		4.7	360.0
B,1		4.8	359.9
C,1		5.2	359.5
D,1		5.5	359.2
E,1		5.8	358.9
A,2		4.2	360.5
B,2		4.7	360.0
C,2		4.8	359.9
D,2		5.0	359.7
A,3		3.8	360.9
B,3		4.0	360.7
C,3		4.6	360.1
D,3		4.6	360.1
A,4		3.4	361.3
B,4		3.7	361.0
C,4		4.2	360.5
BM Road	4.23		

### SECOND OAK STREETS

Sta	Madison, WI
BM Road - Description	p.5 Cool, Cloudy, 60°F
1.5	B.A. DeWitt
2.6	B.K. Harris
2.0	E.A. Custer
1.6	11 Oct 1984
0.5	Kern Level #13
4.0	
7.6	
6.0	
3.6	
0.9	
5.0	
8.0	
7.6	
3.4	
5.8	
10.8	
6.3	
2.1	
3.3	
6.0	
2.5	
91.1	
4	
22.8	

A 20' B C D E

1  
2  
3  
4

Grade elevation 358.0'

Volume = area of base  $\times$   $h_1 + h_2 + h_3 + h_4$

S.A. Dewitt

$22.8 \times 1.27 = 337 \text{ cu. yd.}$

GAMBAR D-7

CLOSING THE HORIZON			
Object	Vern. A	Vern. B	Mean
AB	0°00'00"	180°00'00"	0°00'00"
3 Rep N	26°36'20"	306°36'20"	(Read for prelim. check)
3 Rep P	253°13'00"	73°13'00"	253°13'00" 42°12'10" 42°12'09"
Reading AC to AD			
3 Rep N (Reading not required)			
3 Rep P	252°53'40"	72°54'00"	252°53'50" 59°56'48" 59°56'47"
Reading AD to AB			
3 Rep N (Reading not required)			
3 Rep P	0°00'20"	180°00'20"	0°00'20" 257°51'05" 257°51'04" 360°00'03" 360°00'00"
Vernier misclosure			0°00'20"
Horizon misclosure			0°00'03"
Sta. adjustment			0°00'01"

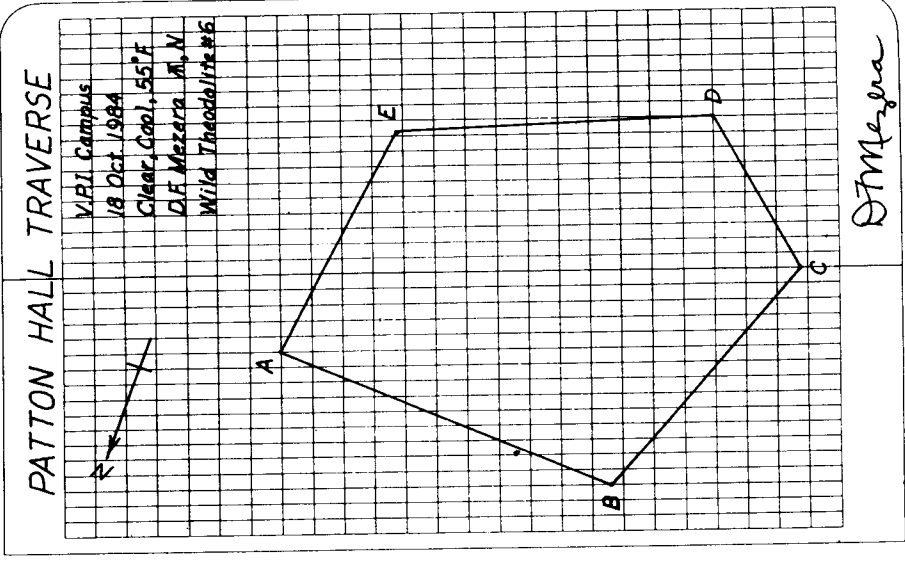
### A STATION A

Transit	T.W.C. Campus
Date	13 Oct. 1984
Survey	Sunny, 75°F
Observer	J.M. Laverriere
Instrument	M.R. Duckett
Station	KiE Transit #17

Jans Laverriere

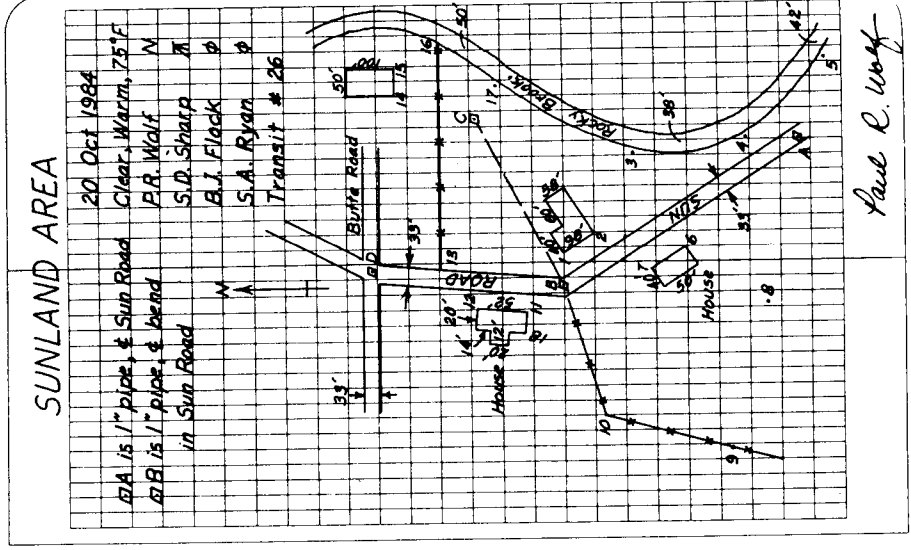
GAMBAR D-8

DOUBLE DIRECT ANGLES		
Hub	Dist. Single & Double	Avg. &
A	321.31'	38° 58.0' 77° 56.8' 38° 58.4'
B	276.57'	148° 53.6' 297° 47.0' 148° 53.5'
C	100.30'	84° 28.1' 168° 56.2' 84° 28.1'
D	306.83'	114° 40.3' 229° 20.9' 114° 40.4'
E	255.48'	152° 59.4' 305° 58.6' 152° 59.3'
A	Σ 1260.49'	Misclosure 0° 00.3'
		Σ interior ∠s = (N-2)180° = (5-2)180° = 540° 00'



GAMBAR D-9

STADIA SURVEY			
Station	Stadia Interval	Vert. & Horiz. Dist.	Elev.
A @ B.B.	177.42'	h.i. = 5.0	
B.A	6.74	148° 04' - 0° 34'	675 170.7
B.C	4.21	60° 12' - 1° 35'	422 165.8
1	0.91	90° 45' 8.3	92 174.1
2	1.66	120° 20' - 2° 12'	167 171.0
3	3.15	126° 30' - 2° 06'	316 165.9
4	4.60	143° 45' - 1° 23'	461 166.0
5	7.85	141° 30' - 0° 38'	786 168.7
6	2.47	167° 20' 8.6	248 173.8
7	1.97	172° 20' 9.6	198 172.8
8	4.99	181° 15' 3.2	500 179.2
9	5.79	221° 45' + 1° 02'	580 187.8
10	3.47	256° 00' + 1° 50'	348 188.5
11	1.17	342° 05' 2.4	118 180.0
12	1.71	350° 15' 2.4	172 180.0
B.D	4.49	6° 10' 5.2	450 177.2
B.A	6.74	148° 04' - 0° 34'	675 170.7
A @ B.C.	Elev. 165.77'	h.i. = 5.2	
B.B	4.20	240° 12' + 1° 34'	421 177.3
13	3.21	286° 00' + 2° 01'	322 177.1
14	2.36	32° 05' 8.5	237 162.5
15	2.60	41° 50' 10.0	261 161.0
16	4.59	68° 30' - 1° 22'	460 154.8



GAMBAR D-10

CROSS-SECTION LEVELING		
Sta.	HI	Elev.
5+00	9.5	
4+00	12.6	
TP1	106.61	96.36
3+00	2.1	
2+50	5.8	
2+00	7.4	
1+35	9.7	
1+00	5.6	
0+50	7.6	
0+00	8.5	
BM Pod	8.51	98.23
		89.72

HONOLULU-KAILUA HIGHWAY		
992	1015	974
993	1016	975
994	1017	976
995	1018	977
996	1019	978
997	1020	979
998	1021	980
999	1022	981
1000	1023	982
1001	1024	983
1002	1025	984
1003	1026	985
1004	1027	986
1005	1028	987
1006	1029	988
1007	1030	989
1008	1031	990
1009	1032	991
1010	1033	992
1011	1034	993
1012	1035	994
1013	1036	995
1014	1037	996
1015	1038	997
1016	1039	998
1017	1040	999
1018	1041	1000
1019	1042	1001
1020	1043	1002
1021	1044	1003
1022	1045	1004
1023	1046	1005
1024	1047	1006
1025	1048	1007
1026	1049	1008
1027	1050	1009
1028	1051	1010
1029	1052	1011
1030	1053	1012
1031	1054	1013
1032	1055	1014
1033	1056	1015
1034	1057	1016
1035	1058	1017
1036	1059	1018
1037	1060	1019
1038	1061	1020
1039	1062	1021
1040	1063	1022
1041	1064	1023
1042	1065	1024
1043	1066	1025
1044	1067	1026
1045	1068	1027
1046	1069	1028
1047	1070	1029
1048	1071	1030
1049	1072	1031
1050	1073	1032
1051	1074	1033
1052	1075	1034
1053	1076	1035
1054	1077	1036
1055	1078	1037
1056	1079	1038
1057	1080	1039
1058	1081	1040
1059	1082	1041
1060	1083	1042
1061	1084	1043
1062	1085	1044
1063	1086	1045
1064	1087	1046
1065	1088	1047
1066	1089	1048
1067	1090	1049
1068	1091	1050
1069	1092	1051
1070	1093	1052
1071	1094	1053
1072	1095	1054
1073	1096	1055
1074	1097	1056
1075	1098	1057
1076	1099	1058
1077	1100	1059
1078	1101	1060
1079	1102	1061
1080	1103	1062
1081	1104	1063
1082	1105	1064
1083	1106	1065
1084	1107	1066
1085	1108	1067
1086	1109	1068
1087	1110	1069
1088	1111	1070
1089	1112	1071
1090	1113	1072
1091	1114	1073
1092	1115	1074
1093	1116	1075
1094	1117	1076
1095	1118	1077
1096	1119	1078
1097	1120	1079
1098	1121	1080
1099	1122	1081
1100	1123	1082
1101	1124	1083
1102	1125	1084
1103	1126	1085
1104	1127	1086
1105	1128	1087
1106	1129	1088
1107	1130	1089
1108	1131	1090
1109	1132	1091
1110	1133	1092
1111	1134	1093
1112	1135	1094
1113	1136	1095
1114	1137	1096
1115	1138	1097
1116	1139	1098
1117	1140	1099
1118	1141	1100
1119	1142	1101
1120	1143	1102
1121	1144	1103
1122	1145	1104
1123	1146	1105
1124	1147	1106
1125	1148	1107
1126	1149	1108
1127	1150	1109
1128	1151	1110
1129	1152	1111
1130	1153	1112
1131	1154	1113
1132	1155	1114
1133	1156	1115
1134	1157	1116
1135	1158	1117
1136	1159	1118
1137	1160	1119
1138	1161	1120
1139	1162	1121
1140	1163	1122
1141	1164	1123
1142	1165	1124
1143	1166	1125
1144	1167	1126
1145	1168	1127
1146	1169	1128
1147	1170	1129
1148	1171	1130
1149	1172	1131
1150	1173	1132
1151	1174	1133
1152	1175	1134
1153	1176	1135
1154	1177	1136
1155	1178	1137
1156	1179	1138
1157	1180	1139
1158	1181	1140
1159	1182	1141
1160	1183	1142
1161	1184	1143
1162	1185	1144
1163	1186	1145
1164	1187	1146
1165	1188	1147
1166	1189	1148
1167	1190	1149
1168	1191	1150
1169	1192	1151
1170	1193	1152
1171	1194	1153
1172	1195	1154
1173	1196	1155
1174	1197	1156
1175	1198	1157
1176	1199	1158
1177	1200	1159
1178	1201	1160
1179	1202	1161
1180	1203	1162
1181	1204	1163
1182	1205	1164
1183	1206	1165
1184	1207	1166
1185	1208	1167
1186	1209	1168
1187	1210	1169
1188	1211	1170
1189	1212	1171
1190	1213	1172
1191	1214	1173
1192	1215	1174
1193	1216	1175
1194	1217	1176
1195	1218	1177
1196	1219	1178
1197	1220	1179
1198	1221	1180
1199	1222	1181
1200	1223	1182
1201	1224	1183
1202	1225	1184
1203	1226	1185
1204	1227	1186
1205	1228	1187
1206	1229	1188
1207	1230	1189
1208	1231	1190
1209	1232	1191
1210	1233	1192
1211	1234	1193
1212	1235	1194
1213	1236	1195
1214	1237	1196
1215	1238	1197
1216	1239	1198
1217	1240	1199
1218	1241	1200
1219	1242	1201
1220	1243	1202
1221	1244	1203
1222	1245	1204
1223	1246	1205
1224	1247	1206
1225	1248	1207
1226	1249	1208
1227	1250	1209
1228	1251	1210
1229	1252	1211
1230	1253	1212
1231	1254	1213
1232	1255	1214
1233	1256	1215
1234	1257	1216
1235	1258	1217
1236	1259	1218
1237	1260	1219
1238	1261	1220
1239	1262	1221
1240	1263	1222
1241	1264	1223
1242	1265	1224
1243	1266	1225
1244	1267	1226
1245	1268	1227
1246	1269	1228
1247	1270	1229
1248	1271	1230
1249	1272	1231
1250	1273	1232
1251	1274	1233
1252	1275	1234
1253	1276	1235
1254	1277	1236
1255	1278	1237
1256	1279	1238
1257	1280	1239
1258	1281	1240
1259	1282	1241
1260	1283	1242
1261	1284	1243
1262	1285	1244
1263	1286	1245
1264	1287	1246
1265	1288	1247
1266	1289	1248
1267	1290	1249
1268	1291	1250
1269	1292	1251
1270	1293	1252
1271	1294	1253
1272	1295	1254
1273	1296	1255
1274	1297	1256
1275	1298	1257
1276	1299	1258
1277	1300	1259
1278	1301	1260
1279	1302	1261
1280	1303	1262
1281	1304	1263
1282	1305	1264
1283	1306	1265
1284	1307	1266
1285	1308	1267
1286	1309	1268
1287	1310	1269
1288	1311	1270
1289	1312	1271
1290	1313	1272
1291	1314	1273
1292	1315	1274
1293	1316	1275
1294	1317	1276
1295	1318	1277
1296	1319	1278
1297	1320	1279
1298	1321	1280
1299	1322	1281
1300	1323	1282
1301	1324	1283
1302	1325	1284
1303	1326	1285
1304	1327	1286
1305	1328	1287
1306	1329	1288

GAMBAR D-12

8" SEWER STAKEOUT					
Station	(2) +Sight	(3) HI	(4) -Sight	(5) Ground Elev.	(6) Pipe Flow Line
BM 16	2.11	102.76		100.65	
0+00			6.21	96.55	96.55
+00.0			3.20	99.56	96.55
+50.0			3.91	98.85	95.95
1+00.0			4.07	98.69	95.34
+31.0			8.22	94.54	94.97
+50.0			4.01	98.75	94.74
2+00.0			4.52	98.24	94.14
+33.7.0			5.03	97.73	93.73
+33.7			9.03	93.73	93.73
BM 16			2.11	100.65	
Flowline Calculations					
Line drops 50' (1.206%) = 0.60' per 50'					
Example					
Sta. 0+50 = 96.55 - 0.60 = 95.95					
1+00 = 96.55 - 1.21 = 95.34					
1+31 = 96.55 - 1.31(1.206%) = 94.97					

Third Street, Statesboro, GA  
1 Nov. 1984

See page 23, Book 67 for description.

Floor of Existing Catch Basin @ PA. Hartzheim N

C 3.01 Existing 8" Clay Pipe

C 2.90 K&E Transit #14

C 3.35 Existing Catch Basin

F 0.43 New 8" Sewer

C 4.02 Existing Manhole

C 4.09 Existing Manhole

C 4.00 Existing Manhole

Floor of Existing Manhole

Paul Hartmann

Grade =  $\frac{\text{Fall}}{\text{Dist.}} = \frac{96.55 - 93.73}{100} = 1.206\%$

GAMBAR D-13

ALIGNMENT OF				Curve Data
Station P.O.T.	Chord	Total Def. Bearing	Calc. Mag. Bearing	
68	100.00			
67	62.92			
P.T. 66+37.08	37.08	4°12'00"	N24°42'E N24°45'E	Δ = 8°24'
66	100.00	3°49'48"		R = 2864.79
P.O.C. 65	100.00	2°49'45"		D = 2'00'
64	100.00	1°49'45"		L = 420.00'
63	82.92	0°49'45"		T = 210.38'
				E = 7.71'
				M = 7.69'
				Defl./ft. = 0.6 min
P.C. 62+17.08	17.08	0°00'00"	N16°18'E N16°30'E	
62	100.00			
61	100.00			
60	100.00			
P.O.T. 59				

LAFAYETTE HIGHWAY

Lafayette College Campus  
3 Nov. 1984

Cop. L. Clear. 50' F

M.A. Dawood A.W

K.I. Hassenm C

J.M. Hewlett C

Wild Theodolite #32

M.A. Dawood

Highway Definition  
A.C. = 100'

# APENDIKS E

# TABEL - TABEL

$\Delta$  Elevasi adalah negatif bila  $z > 90^\circ$

TABEL E-1. REDUKSI TAKIMETRI

MENIT	$a = 0^\circ$ $z = 90^\circ$		$a = 1^\circ$ $z = 91^\circ$		$a = 2^\circ$ $z = 92^\circ$		$a = 3^\circ$ $z = 93^\circ$		
	JARAK HOR.	BEDA ELEV.	JARAK HOR.	BEDA ELEV.	JARAK HOR.	BEDA ELEV.	JARAK HOR.	BEDA ELEV.	
0	100,00	0,00	99,97	1,74	99,88	3,49	99,73	5,23	60'
2	100,00	0,06	99,97	1,80	99,87	3,55	99,72	5,28	
4	100,00	0,12	99,97	1,86	99,87	3,60	99,71	5,34	
6	100,00	0,17	99,96	1,92	99,87	3,66	99,71	5,40	
8	100,00	0,23	99,96	1,98	99,86	3,72	99,70	5,46	
10	100,00	0,29	99,96	2,04	99,86	3,78	99,69	5,52	50'
12	100,00	0,35	99,96	2,09	99,85	3,84	99,69	5,57	
14	100,00	0,41	99,95	2,15	99,85	3,89	99,68	5,63	
16	100,00	0,47	99,95	2,21	99,84	3,95	99,68	5,69	
18	100,00	0,52	99,95	2,27	99,84	4,01	99,67	5,75	
20	100,00	0,58	99,95	2,33	99,83	4,07	99,66	5,80	40'
22	100,00	0,64	99,94	2,38	99,83	4,13	99,66	5,86	
24	100,00	0,70	99,94	2,44	99,82	4,18	99,65	5,92	
26	99,99	0,76	99,94	2,50	99,82	4,24	99,64	5,98	
28	99,99	0,81	99,93	2,56	99,81	4,30	99,63	6,04	
30	99,99	0,87	99,93	2,62	99,81	4,36	99,63	6,09	30'
32	99,99	0,93	99,93	2,67	99,80	4,42	99,62	6,15	
34	99,99	0,99	99,93	2,73	99,80	4,47	99,61	6,21	
36	99,99	1,05	99,92	2,79	99,79	4,53	99,61	6,27	
38	99,99	1,11	99,92	2,85	99,79	4,59	99,60	6,32	
40	99,99	1,16	99,92	2,91	99,78	4,65	99,59	6,38	20'
42	99,99	1,22	99,91	2,97	99,78	4,71	99,58	6,44	
44	99,98	1,28	99,91	3,02	99,77	4,76	99,58	6,50	
46	99,98	1,34	99,90	3,08	99,77	4,82	99,57	6,56	
48	99,98	1,40	99,90	3,14	99,76	4,88	99,56	6,61	
50	99,98	1,45	99,90	3,20	99,76	4,94	99,55	6,67	10'
52	99,98	1,51	99,89	3,26	99,75	4,99	99,55	6,73	
54	99,98	1,57	99,89	3,31	99,74	5,05	99,54	6,79	
56	99,97	1,63	99,89	3,37	99,74	5,11	99,53	6,84	
58	99,97	1,69	99,88	3,43	99,73	5,17	99,52	6,90	
60	99,97	1,74	99,88	3,49	99,73	5,23	99,51	6,96	00'
C = 0,75	0,75	0,01	0,75	0,02	0,75	0,03	0,75	0,05	
C = 1,00	1,00	0,01	1,00	0,03	1,00	0,04	1,00	0,06	
C = 1,25	1,25	0,02	1,25	0,03	1,25	0,05	1,25	0,08	
		+		+		+		+	Menit
		$z = 89^\circ$		$z = 88^\circ$		$z = 87^\circ$		$z = 86^\circ$	

$\Delta$  Elevasi adalah positif bila  $z < 90^\circ$



TABEL E-I. (Lanjutan)

MENIT	$a = 4^\circ$ $z = 94^\circ$		$a = 5^\circ$ $z = 95^\circ$		$a = 6^\circ$ $z = 96^\circ$		$a = 7^\circ$ $z = 97^\circ$		
	JARAK HOR.	BEDA ELEV.	JARAK HOR.	BEDA ELEV.	JARAK HOR.	BEDA ELEV.	JARAK HOR.	BEDA ELEV.	
0	99,51	6,96	99,24	8,68	98,91	10,40	98,51	12,10	60'
2	99,51	7,02	99,23	8,74	98,90	10,45	98,50	12,15	
4	99,50	7,07	99,22	8,80	98,88	10,51	98,49	12,21	
6	99,49	7,13	99,21	8,85	98,87	10,57	98,47	12,27	
8	99,48	7,19	99,20	8,91	98,86	10,62	98,46	12,32	
10	99,47	7,25	99,19	8,97	98,85	10,68	98,44	12,38	50'
12	99,46	7,30	99,18	9,03	98,83	10,74	98,43	12,43	
14	99,46	7,36	99,17	9,08	98,82	10,79	98,41	12,49	
16	99,45	7,42	99,16	9,14	98,81	10,85	98,40	12,55	
18	99,44	7,48	99,15	9,20	98,80	10,91	98,39	12,60	
20	99,43	7,53	99,14	9,25	98,78	10,96	98,37	12,66	40'
22	99,42	7,59	99,13	9,31	98,77	11,02	98,36	12,72	
24	99,41	7,65	99,11	9,37	98,76	11,08	98,34	12,77	
26	99,40	7,71	99,10	9,43	98,74	11,13	98,33	12,83	
28	99,39	7,76	99,09	9,48	98,73	11,19	98,31	12,88	
30	99,38	7,82	99,08	9,54	98,72	11,25	98,30	12,94	30'
32	99,38	7,88	99,07	9,60	98,71	11,30	98,28	13,00	
34	99,37	7,94	99,06	9,65	98,69	11,36	98,27	13,05	
36	99,36	7,99	99,05	9,71	98,68	11,42	98,25	13,11	
38	99,35	8,05	99,04	9,77	98,67	11,47	98,24	13,17	
40	99,34	8,11	99,03	9,83	98,65	11,53	98,22	13,22	20'
42	99,33	8,17	99,01	9,88	98,64	11,59	98,20	13,28	
44	99,32	8,22	99,00	9,94	98,63	11,64	98,19	13,33	
46	99,31	8,28	98,99	10,00	98,61	11,70	98,17	13,39	
48	99,30	8,34	98,98	10,05	98,60	11,76	98,16	13,45	
50	99,29	8,40	98,97	10,11	98,58	11,81	98,14	13,50	10'
52	99,28	8,45	98,96	10,17	98,57	11,87	98,13	13,56	
54	99,27	8,51	98,94	10,22	98,56	11,93	98,11	13,61	
56	99,26	8,57	98,93	10,28	98,54	11,98	98,10	13,67	
58	99,25	8,63	98,92	10,34	98,53	12,04	98,08	13,73	
60	99,24	8,68	98,91	10,40	98,51	12,10	98,06	13,78	00'
$C = 0,75$	0,75	0,06	0,75	0,07	0,75	0,08	0,74	0,10	
$C = 1,00$	1,00	0,08	1,00	0,10	0,99	0,11	0,99	0,13	
$C = 1,25$	1,25	0,10	1,24	0,12	1,24	0,14	1,24	0,16	

$z = 85^\circ$

$z = 84^\circ$

$z = 83^\circ$

$z = 82^\circ$

Menit

TABEL E-1 (Lanjutan)

MENIT	$a = 8^\circ$ $z = 98^\circ$		$a = 9^\circ$ $z = 99^\circ$		$a = 10^\circ$ $z = 100^\circ$		$a = 11^\circ$ $z = 101^\circ$		
	JARAK HOR.	BEDA ELEV.	JARAK HOR.	BEDA ELEV.	JARAK HOR.	BEDA ELEV.	JARAK HOR.	BEDA ELEV.	
0	98,06	13,78	97,55	15,45	96,98	17,10	96,36	18,73	60'
2	98,05	13,84	97,53	15,51	96,96	17,16	96,34	18,78	
4	98,03	13,89	97,52	15,56	96,94	17,21	96,32	18,84	
6	98,01	13,95	97,50	15,62	96,92	17,26	96,29	18,89	
8	98,00	14,01	97,48	15,67	96,90	17,32	96,27	18,95	
10	97,98	14,06	97,46	15,73	96,88	17,37	96,25	19,00	50'
12	97,97	14,12	97,44	15,78	96,86	17,43	96,23	19,05	
14	97,95	14,17	97,43	15,84	96,84	17,48	96,21	19,11	
16	97,93	14,23	97,41	15,89	96,82	17,54	96,18	19,16	
18	97,92	14,28	97,39	15,95	96,80	17,59	96,16	19,21	
20	97,90	14,34	97,37	16,00	96,78	17,65	96,14	19,27	40'
22	97,88	14,40	97,35	16,06	96,76	17,70	96,12	19,32	
24	97,87	14,45	97,33	16,11	96,74	17,76	96,09	19,38	
26	97,85	14,51	97,31	16,17	96,72	17,81	96,07	19,43	
28	97,83	14,56	97,29	16,22	96,70	17,86	96,05	19,48	
30	97,82	14,62	97,28	16,28	96,68	17,92	96,03	19,54	30'
32	97,80	14,67	97,26	16,33	96,66	17,97	96,00	19,59	
34	97,78	14,73	97,24	16,39	96,64	18,03	95,98	19,64	
36	97,76	14,79	97,22	16,44	96,62	18,08	95,96	19,70	
38	97,75	14,84	97,20	16,50	96,60	18,14	95,93	19,75	
40	97,73	14,90	97,18	16,55	96,57	18,19	95,91	19,80	20'
42	97,71	14,95	97,16	16,61	96,55	18,24	95,89	19,86	
44	97,69	15,01	97,14	16,66	96,53	18,30	95,86	19,91	
46	97,68	15,06	97,12	16,72	96,51	18,35	95,84	19,96	
48	97,66	15,12	97,10	16,77	96,49	18,41	95,82	20,02	
50	97,64	15,17	97,08	16,83	96,47	18,46	95,79	20,07	10'
52	97,62	15,23	97,06	16,88	96,45	18,51	95,77	20,12	
54	97,61	15,28	97,04	16,94	96,42	18,57	95,75	20,18	
56	97,59	15,34	97,02	16,99	96,40	18,62	95,72	20,23	
58	97,57	15,40	97,00	17,05	96,38	18,68	95,70	20,28	
60	97,55	15,45	96,98	17,10	96,36	18,73	95,68	20,34	00'
$C = 0,75$	0,74	0,11	0,74	0,12	0,74	0,14	0,73	0,15	
$C = 1,00$	0,99	0,15	0,99	0,17	0,98	0,18	0,98	0,20	
$C = 1,25$	1,24	0,18	1,23	0,21	1,23	0,23	1,22	0,25	

$z = 81^\circ$

$z = 80^\circ$

$z = 79^\circ$

$z = 78^\circ$

Menit

TABEL E-1. (Lanjutan)

MENIT	$a = 12^\circ$ $z = 102^\circ$		$a = 13^\circ$ $z = 103^\circ$		$a = 14^\circ$ $z = 104^\circ$		$a = 15^\circ$ $z = 105^\circ$		
	JARAK HOR.	BEDA ELEV.	JARAK HOR.	BEDA ELEV.	JARAK HOR.	BEDA ELEV.	JARAK HOR.	BEDA ELEV.	
0	95,68	20,34	94,94	21,92	94,15	23,47	93,30	25,00	60'
2	95,65	20,39	94,91	21,97	94,12	23,52	93,27	25,05	
4	95,63	20,44	94,89	22,02	94,09	23,58	93,24	25,10	
6	95,61	20,50	94,86	22,08	94,07	23,63	93,21	25,15	
8	95,58	20,55	94,84	22,13	94,04	23,68	93,18	25,20	
10	95,56	20,60	94,81	22,18	94,01	23,73	93,16	25,25	50'
12	95,53	20,66	94,79	22,23	93,98	23,78	93,13	25,30	
14	95,51	20,71	94,76	22,28	93,95	23,83	93,10	25,35	
16	95,49	20,76	94,73	22,34	93,93	23,88	93,07	25,40	
18	95,46	20,81	94,71	22,39	93,90	23,93	93,04	25,45	
20	95,44	20,87	94,68	22,44	93,87	23,99	93,01	25,50	40'
22	95,41	20,92	94,66	22,49	93,84	24,04	92,98	25,55	
24	95,39	20,97	94,63	22,54	93,82	24,09	92,95	25,60	
26	95,36	21,03	94,60	22,60	93,79	24,14	92,92	25,65	
28	95,34	21,08	94,58	22,65	93,76	24,19	92,89	25,70	
30	95,32	21,13	94,55	22,70	93,73	24,24	92,86	25,75	30'
32	95,29	21,18	94,52	22,75	93,70	24,29	92,83	25,80	
34	95,27	21,24	94,50	22,80	93,67	24,34	92,80	25,85	
36	95,24	21,29	94,47	22,85	93,65	24,39	92,77	25,90	
38	95,22	21,34	94,44	22,91	93,62	24,44	92,74	25,95	
40	95,19	21,39	94,42	22,96	93,59	24,49	92,71	26,00	20'
42	95,17	21,45	94,39	23,01	93,56	24,55	92,68	26,05	
44	95,14	21,50	94,36	23,06	93,53	24,60	92,65	26,10	
46	95,12	21,55	94,34	23,11	93,50	24,65	92,62	26,15	
48	95,09	21,60	94,31	23,16	93,47	24,70	92,59	26,20	
50	95,07	21,66	94,28	23,22	93,45	24,75	92,56	26,25	10'
52	95,04	21,71	94,26	23,27	93,42	24,80	92,53	26,30	
54	95,02	21,76	94,23	23,32	93,39	24,85	92,49	26,35	
56	94,99	21,81	94,20	23,37	93,36	24,90	92,46	26,40	
58	94,97	21,87	94,17	23,42	93,33	24,95	92,43	26,45	
60	94,94	21,92	94,15	23,47	93,30	25,00	92,40	26,50	00'
$C = 0,75$	0,73	0,16	0,73	0,18	0,73	0,19	0,72	0,20	
$C = 1,00$	0,98	0,22	0,97	0,23	0,97	0,25	0,96	0,27	
$C = 1,25$	1,22	0,27	1,22	0,29	1,21	0,31	1,20	0,33	
	$z = 77^\circ$	+	$z = 76^\circ$	+	$z = 75^\circ$	+	$z = 74^\circ$	+	Menit

TABEL E-2. KONVERGENSI-MERIDIAN (RANGE LINES)

LINTANG (DERAJAT)	SELISIH ANTARA BATAS-BATAS SELATAN DAN UTARA TOWNSHIP (LINKS)	SUDUT KONVERGENSI MERIDIAN BERBATASAN (' '')	SELISIH BUJUR TIAP MERIDIAN		SELISIH LINTANG DALAM MENIT BUSUR, UNTUK	
			BUSUR (' '')	WAKTU (DETIK)	1 mil	6 mil
25	33,9	2 25	5 44,34	22,96	0,871	5,229
26	35,4	2 32	5 47,20	23,15		
27	37,0	2 39	5 50,22	23,35		
28	38,6	2 46	5 53,40	23,56		
29	40,2	2 53	5 56,74	23,78		
30	41,9	3 00	6 00,36	24,02	0,871	5,225
31	43,6	3 07	6 04,02	24,27		
32	45,4	3 15	6 07,93	24,53		
33	47,2	3 23	6 12,00	24,80		
34	49,1	3 30	6 16,31	25,09		
35	50,9	3 38	6 20,95	25,40	0,870	5,221
36	52,7	3 46	6 25,60	25,71		
37	54,7	3 55	6 30,59	26,04		
38	56,8	4 04	6 35,81	26,39		
39	58,8	4 13	6 41,34	26,76		
40	60,9	4 22	6 47,13	27,14	0,869	5,217
41	63,1	4 31	6 53,22	27,55		
42	65,4	4 41	6 59,62	27,97		
43	67,7	4 51	7 06,27	28,42		
44	70,1	5 01	7 13,44	28,90		
45	72,6	5 12	7 20,93	29,39	0,869	5,212
46	75,2	5 23	7 28,81	29,92		
47	77,8	5 34	7 37,10	30,47		
48	80,6	5 46	7 45,79	31,05		
49	83,5	5 59	7 55,12	31,67		
50	86,4	6 12	8 04,83	32,32	0,868	5,207
51	89,6	6 25	8 15,17	33,01		
52	92,8	6 39	8 26,13	33,74		
53	96,2	6 54	8 37,75	34,52		
54	99,8	7 09	8 50,07	35,34		
55	103,5	7 25	9 03,18	36,22	0,867	5,202
56	107,5	7 42	9 17,12	37,14		
57	111,6	8 00	9 31,97	38,13		
58	116,0	8 19	9 47,83	39,19		
59	120,6	8 38	10 04,78	40,32		
60	125,5	8 59	10 22,94	41,52	0,866	5,198
61	130,8	9 22	10 42,42	42,83		
62	136,3	9 46	11 03,38	44,22		
63	142,2	10 11	11 25,97	45,73		
64	148,6	10 38	11 50,37	47,36		
65	155,0	11 08	12 16,82	49,12	0,866	5,195
66	162,8	11 39	12 45,55	51,04		
67	170,7	12 13	13 16,88	53,12		
68	179,3	12 51	13 51,15	55,41		
69	188,7	13 31	14 28,77	57,92		
70	199,1	14 15	15 10,26	60,68	0,866	5,193

TABEL B-3. AZIMUT GARIS SINGGUNG\*

LIN TANG	SUDUT				BELOKAN 6 mil
	0 mil	1 mil	2 mil	3 mil	
25	89 58,8	89 59,2	89 59,6	90	2 25
26	58,7	59,2	59,6	T atau B	2 32
27	58,7	59,1	59,6	" " "	2 39
28	58,6	59,1	59,5	" " "	2 46
29	58,6	59,0	59,5	" " "	2 53
30	58,5	59,0	59,5	" " "	3 00
31	58,4	59,0	59,5	" " "	3 07
32	58,4	58,9	59,5	" " "	3 15
33	58,3	58,9	59,4	" " "	3 23
34	58,2	58,8	59,4	" " "	3 30
35	58,2	58,8	59,4	" " "	3 38
36	58,1	58,7	59,4	" " "	3 46
37	58,0	58,7	59,3	" " "	3 55
38	58,0	58,6	59,3	" " "	4 04
39	57,9	58,6	59,3	" " "	4 13
40	57,8	58,5	59,3	" " "	4 22
41	57,7	58,5	59,2	" " "	4 31
42	57,7	58,4	59,2	" " "	4 41
43	57,6	58,4	59,2	" " "	4 51
44	57,5	58,3	59,2	" " "	5 01
45	57,4	58,3	59,1	" " "	5 12
46	57,3	58,2	59,1	" " "	5 23
47	57,2	58,1	59,1	" " "	5 34
48	57,1	58,1	59,0	" " "	5 46
49	57,0	58,0	59,0	" " "	5 59
50	56,9	57,9	59,0	" " "	6 12
51	56,8	57,9	58,9	" " "	6 25
52	56,7	57,8	58,9	" " "	6 39
53	56,6	57,7	58,8	" " "	6 54
54	56,4	57,6	58,8	" " "	7 09
55	56,3	57,5	58,8	" " "	7 25
56	56,2	57,4	58,7	" " "	7 42
57	56,0	57,3	58,7	" " "	8 00
58	55,8	57,2	58,6	" " "	8 19
59	55,7	57,1	58,6	" " "	8 38
60	55,5	57,0	58,5	" " "	8 59
61	55,3	56,9	58,4	" " "	9 22
62	55,1	56,7	58,4	" " "	9 46
63	54,9	56,6	58,3	" " "	10 11
64	54,7	56,5	58,2	" " "	10 38
65	54,4	56,3	58,1	" " "	11 08
66	54,2	56,1	58,1	" " "	11 39
67	53,9	55,9	58,0	" " "	12 13
68	53,6	55,7	57,9	" " "	12 51
69	53,2	55,5	57,8	" " "	13 31
70	89 52,9	89 55,3	89 57,6	" " "	14 15
	6 mil	5 mil	4 mil	3 mil	

\* Dari U.S. Department of the Interior, *Patokan Tabel-tabel Lapangan dan Rumus-rumus Trigonometrik*, edisi ke-8, Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1950.

TABEL F 4. PERGESERAN (OFFSETS), DALAM LINKS, DARI GARIS SINGGUNG KE PARALEL\*

LIN TANG	PERGESERAN (OFFSETS)						
	0 mil	$\frac{1}{2}$ mil	1 mil	$1\frac{1}{2}$ mil	2 mil	$2\frac{1}{2}$ mil	3 mil
25	2 N.	1 N.	0	1 S.	1 S.	2 S.	2 S.
26	2	1	0	1	1	2	2
27	3	1	0	1	2	2	2
28	3	1	0	1	2	2	2
29	3	1	0	1	2	2	2
30	3	1	0	1	2	2	2
31	3	1	0	1	2	2	2
32	3	1	0	1	2	2	3
33	3	1	0	1	2	2	3
34	3	2	0	1	2	3	3
35	4	2	0	1	2	3	3
36	4	2	0	1	2	3	3
37	4	2	0	1	2	3	3
38	4	2	0	1	2	3	3
39	4	2	0	1	2	3	3
40	4	2	0	1	3	3	3
41	4	2	0	2	3	3	4
42	5	2	0	2	3	3	4
43	5	2	0	2	3	4	4
44	5	2	0	2	3	4	4
45	5	2	0	2	3	4	4
46	5	2	0	2	3	4	4
47	5	2	0	2	3	4	4
48	6	3	0	2	3	4	4
49	6	3	0	2	3	4	5
50	6	3	0	2	4	4	5
51	6	3	0	2	4	5	5
52	6	3	0	2	4	5	5
53	7	3	0	2	4	5	5
54	7	3	0	2	4	5	6
55	7	3	0	3	4	5	6
56	7	3	0	3	4	6	6
57	8	3	0	3	5	6	6
58	8	4	0	3	5	6	6
59	8	4	0	3	5	6	7
60	9	4	0	3	5	7	7
61	9	4	0	3	5	7	7
62	9	4	0	3	6	7	8
63	10	4	0	3	6	7	8
64	10	5	0	4	6	8	8
65	11	5	0	4	6	8	9
66	11	5	0	4	7	8	9
67	12	5	0	4	7	9	9
68	12	6	0	4	7	9	10
69	13	6	0	5	8	10	10
70	14 N.	6 N.	0	5 S.	8 S.	10 S.	11 S.
	6 mil	$5\frac{1}{2}$ mil	5 mil	$4\frac{1}{2}$ mil	4 mil	$3\frac{1}{2}$ mil	3 mil

\* Dari U.S. Department of the Interior, *Patokan Tabel-tabel Lapangan dan Rumus-rumus Trigonometrik*, edisi ke-8, Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1950.

TABEL E. S. FUNGSI-FUNGSI LENGKUNGAN MELINGKAR

DERAJAT KELENGKUNGAN D	BELOK-AN PER FT STA (MENIT)	DEFINISI TALII BUSUR		DEFINISI BUSUR		DERAJAT KELENGKUNGAN D	BELOK-AN PER FT STA (MENIT)	DEFINISI TALII BUSUR		DEFINISI BUSUR
		JARI-JARI R	SIMP. TL. BSR. I STA.	JARI-JARI R	SIMP. TL. BSR. I STA.			JARI-JARI R	SIMP. TL. BSR. I STA.	
0° 0'		Infinito		Infinito		1° 0'	0,30	5729,65	1,75	5729,58
1'	0,005	34377,5	0,03	34377,5	0,03	1'	0,305	5635,72	1,77	5635,65
2'	0,01	17188,7	0,06	17188,7	0,06	2'	0,31	5544,83	1,80	5544,75
3'	0,015	11459,2	0,09	11459,2	0,09	3'	0,315	5456,82	1,83	5456,74
4'	0,02	85943,7	0,12	85943,7	0,12	4'	0,32	5371,56	1,86	5371,48
5'	0,025	68754,9	0,15	68754,9	0,15	5'	0,325	5288,92	1,89	5288,84
6'	0,03	57295,8	0,17	57295,8	0,17	6'	0,33	5208,79	1,92	5208,71
7'	0,035	49110,7	0,20	49110,7	0,20	7'	0,335	5131,05	1,95	5130,97
8'	0,04	42971,8	0,23	42971,8	0,23	8'	0,34	5055,59	1,98	5055,51
9'	0,045	38197,2	0,26	38197,2	0,26	9'	0,345	4982,33	2,01	4982,24
10'	0,05	34377,5	0,29	34377,5	0,29	10'	0,35	4911,15	2,03	4911,07
11'	0,055	31252,2	0,32	31252,2	0,32	11'	0,355	4841,98	2,07	4841,90
12'	0,06	28647,8	0,35	28647,8	0,35	12'	0,36	4774,74	2,09	4774,65
13'	0,065	26444,2	0,38	26444,2	0,38	13'	0,365	4709,33	2,12	4709,24
14'	0,07	24555,4	0,41	24555,4	0,41	14'	0,37	4645,69	2,15	4645,60
15'	0,075	22918,3	0,44	22918,3	0,44	15'	0,375	4583,75	2,18	4583,66
16'	0,08	21485,9	0,47	21485,9	0,47	16'	0,38	4523,44	2,21	4523,35
17'	0,085	20222,1	0,49	20222,1	0,49	17'	0,385	4464,70	2,24	4464,61
18'	0,09	19098,6	0,52	19098,6	0,52	18'	0,39	4407,46	2,27	4407,37
19'	0,095	18093,4	0,55	18093,4	0,55	19'	0,395	4351,67	2,30	4351,58
20'	0,10	17188,8	0,58	17188,8	0,58	20'	0,40	4297,28	2,33	4297,18
21'	0,105	16370,2	0,61	16370,2	0,61	21'	0,405	4244,23	2,35	4244,13
22'	0,11	15626,1	0,64	15626,1	0,64	22'	0,41	4192,47	2,39	4192,37
23'	0,115	14946,8	0,67	14946,8	0,67	23'	0,415	4141,96	2,41	4141,86
24'	0,12	14324,0	0,70	14324,0	0,70	24'	0,42	4092,66	2,44	4092,56
25'	0,125	13751,0	0,73	13751,0	0,73	25'	0,425	4044,51	2,47	4044,41
26'	0,13	13222,1	0,76	13222,1	0,76	26'	0,43	3997,49	2,50	3997,38
27'	0,135	12732,4	0,79	12732,4	0,79	27'	0,435	3951,54	2,53	3951,43
28'	0,14	12277,7	0,81	12277,7	0,81	28'	0,44	3906,64	2,56	3906,53
29'	0,145	11854,3	0,84	11854,3	0,84	29'	0,445	3862,74	2,59	3862,64
30'	0,15	11459,2	0,87	11459,2	0,87	30'	0,45	3819,83	2,62	3819,71
31'	0,155	11089,6	0,90	11089,6	0,90	31'	0,455	3777,85	2,65	3777,74
32'	0,16	10743,0	0,93	10743,0	0,93	32'	0,46	3736,79	2,68	3736,68
33'	0,165	10417,4	0,96	10417,4	0,96	33'	0,465	3696,61	2,71	3696,50
34'	0,17	10111,0	0,99	10111,0	0,99	34'	0,47	3657,29	2,73	3657,18
35'	0,175	9822,13	1,02	9822,13	1,02	35'	0,475	3618,80	2,76	3618,68
36'	0,18	9549,29	1,05	9549,29	1,05	36'	0,48	3581,10	2,79	3580,99
37'	0,185	9291,21	1,07	9291,21	1,07	37'	0,485	3544,19	2,82	3544,07
38'	0,19	9046,75	1,11	9046,75	1,11	38'	0,49	3508,02	2,85	3507,91
39'	0,195	8814,73	1,13	8814,73	1,13	39'	0,495	3472,59	2,88	3472,47
40'	0,20	8594,42	1,16	8594,42	1,16	40'	0,50	3437,87	2,91	3437,75
41'	0,205	8384,80	1,19	8384,80	1,19	41'	0,505	3403,83	2,94	3403,71
42'	0,21	8185,16	1,21	8185,16	1,21	42'	0,51	3370,46	2,97	3370,34
43'	0,215	7994,81	1,25	7994,81	1,25	43'	0,515	3337,74	3,00	3337,62
44'	0,22	7813,11	1,28	7813,11	1,28	44'	0,52	3305,65	3,03	3305,53
45'	0,225	7639,49	1,31	7639,49	1,31	45'	0,525	3274,17	3,05	3274,04
46'	0,23	7473,42	1,34	7473,42	1,34	46'	0,53	3243,29	3,08	3243,16
47'	0,235	7314,41	1,37	7314,41	1,37	47'	0,535	3212,98	3,11	3212,85
48'	0,24	7162,03	1,39	7162,03	1,39	48'	0,54	3183,23	3,14	3183,10
49'	0,245	7015,87	1,43	7015,87	1,43	49'	0,545	3154,03	3,17	3153,90
50'	0,25	6875,55	1,45	6875,55	1,45	50'	0,55	3125,36	3,20	3125,22
51'	0,255	6740,74	1,48	6740,74	1,48	51'	0,555	3097,20	3,23	3097,07
52'	0,26	6611,12	1,51	6611,12	1,51	52'	0,56	3069,55	3,26	3069,42
53'	0,265	6486,38	1,54	6486,38	1,54	53'	0,565	3042,39	3,29	3042,25
54'	0,27	6366,26	1,57	6366,26	1,57	54'	0,57	3015,71	3,32	3015,57
55'	0,275	6250,51	1,60	6250,51	1,60	55'	0,575	2989,48	3,35	2989,34
56'	0,28	6138,90	1,63	6138,90	1,63	56'	0,58	2963,72	3,37	2963,58
57'	0,285	6031,14	1,66	6031,14	1,66	57'	0,585	2938,39	3,40	2938,25
58'	0,29	5927,22	1,69	5927,22	1,69	58'	0,59	2913,49	3,43	2913,34
59'	0,295	5826,76	1,72	5826,76	1,72	59'	0,595	2889,01	3,46	2888,86

TABEL E-5. (Lanjutan)

DERAJAT KELENGKUNGAN D	BELOK-AN PER FT STA (MENIT)	DEFINISI TALI BUSUR		DERAJAT KELENGKUNGAN D	BELOK-AN PER FT STA (MENIT)	DEFINISI TALI BUSUR		DEFINISI BUSUR JARI- JARI R	DEFINISI BUSUR JARI- JARI R
		SIMP. TL. BSR. I STA.	JARI- JARI R			SIMP. TL. BSR. I STA.	JARI- JARI R		
2° 0'	0,60	3,49	2864,93	3° 0'	0,90	1910,08	1909,86		
1'	0,605	3,52	2841,26	1'	0,905	1899,53	1899,31		
2'	0,61	3,55	2817,97	2'	0,91	1889,09	1888,87		
3'	0,615	3,58	2795,06	3'	0,915	1878,77	1878,55		
4'	0,62	3,61	2772,53	4'	0,92	1868,56	1868,34		
5'	0,625	3,64	2750,35	5'	0,925	1858,47	1858,24		
6'	0,63	3,66	2728,52	6'	0,93	1848,48	1848,25		
7'	0,635	3,69	2707,04	7'	0,935	1838,59	1838,37		
8'	0,64	3,72	2685,89	8'	0,94	1828,82	1828,59		
9'	0,645	3,75	2665,08	9'	0,945	1819,14	1818,91		
10'	0,65	3,78	2644,58	10'	0,95	1809,57	1809,34		
11'	0,655	3,81	2624,39	11'	0,955	1800,10	1799,87		
12'	0,66	3,84	2604,51	12'	0,96	1790,73	1790,49		
13'	0,665	3,87	2584,93	13'	0,965	1781,45	1781,22		
14'	0,67	3,90	2565,65	14'	0,97	1772,27	1772,03		
15'	0,675	3,93	2546,64	15'	0,975	1763,18	1762,95		
16'	0,68	3,96	2527,92	16'	0,98	1754,19	1753,95		
17'	0,685	3,98	2509,47	17'	0,985	1745,29	1745,05		
18'	0,69	4,01	2491,29	18'	0,99	1736,48	1736,24		
19'	0,695	4,04	2473,37	19'	0,995	1727,75	1727,51		
20'	0,70	4,07	2455,70	20'	1,00	1719,12	1718,87		
21'	0,705	4,10	2438,29	21'	1,005	1710,57	1710,32		
22'	0,71	4,13	2421,12	22'	1,01	1702,10	1701,85		
23'	0,715	4,16	2404,19	23'	1,015	1693,72	1693,47		
24'	0,72	4,19	2387,50	24'	1,02	1685,42	1685,17		
25'	0,725	4,22	2371,04	25'	1,025	1677,20	1676,95		
26'	0,73	4,25	2354,80	26'	1,03	1669,06	1668,81		
27'	0,735	4,28	2338,78	27'	1,035	1661,00	1660,75		
28'	0,74	4,30	2322,98	28'	1,04	1653,01	1652,76		
29'	0,745	4,33	2307,39	29'	1,045	1645,11	1644,85		
30'	0,75	4,36	2291,83	30'	1,05	1637,28	1637,02		
31'	0,755	4,39	2276,65	31'	1,055	1629,52	1629,26		
32'	0,76	4,42	2261,68	32'	1,06	1621,84	1621,58		
33'	0,765	4,45	2247,08	33'	1,065	1614,22	1613,96		
34'	0,77	4,48	2232,49	34'	1,07	1606,68	1606,42		
35'	0,775	4,51	2218,09	35'	1,075	1599,21	1598,95		
36'	0,78	4,54	2203,87	36'	1,08	1591,81	1591,55		
37'	0,785	4,57	2189,84	37'	1,085	1584,48	1584,21		
38'	0,79	4,60	2175,98	38'	1,09	1577,21	1576,95		
39'	0,795	4,62	2162,30	39'	1,095	1570,01	1569,75		
40'	0,80	4,65	2148,79	40'	1,10	1562,88	1562,61		
41'	0,805	4,68	2135,44	41'	1,105	1555,81	1555,54		
42'	0,81	4,71	2122,26	42'	1,11	1548,80	1548,53		
43'	0,815	4,74	2109,24	43'	1,115	1541,86	1541,59		
44'	0,82	4,77	2096,39	44'	1,12	1534,98	1534,71		
45'	0,825	4,80	2083,68	45'	1,125	1528,16	1527,89		
46'	0,83	4,83	2071,13	46'	1,13	1521,40	1521,13		
47'	0,835	4,86	2058,73	47'	1,135	1514,71	1514,43		
48'	0,84	4,89	2046,48	48'	1,14	1508,06	1507,78		
49'	0,845	4,92	2034,37	49'	1,145	1501,48	1501,20		
50'	0,85	4,94	2022,41	50'	1,15	1494,95	1494,67		
51'	0,855	4,97	2010,59	51'	1,155	1488,48	1488,20		
52'	0,86	5,00	1998,90	52'	1,16	1482,07	1481,79		
53'	0,865	5,03	1987,35	53'	1,165	1475,71	1475,43		
54'	0,87	5,06	1975,93	54'	1,17	1469,41	1469,12		
55'	0,875	5,09	1964,64	55'	1,175	1463,16	1462,87		
56'	0,88	5,12	1953,48	56'	1,18	1456,96	1456,67		
57'	0,885	5,15	1942,44	57'	1,185	1450,81	1450,53		
58'	0,89	5,18	1931,53	58'	1,19	1444,72	1444,43		
59'	0,895	5,21	1920,75	59'	1,195	1438,68	1438,39		

TABEL E.6. PANJANG BUSUR DAN TALI BUSUR SEBENARNYA\*

D	DEFINISI TALI BUSUR D			DEFINISI BUSUR D			
	BUSUR UNTUK 1 STA.	TALI BUSUR SEBENARNYA		TALI BUSUR SEBENARNYA			
		$\frac{1}{10}$ STA.	$\frac{1}{4}$ STA.	$\frac{1}{2}$ STA.	$\frac{1}{4}$ STA.	$\frac{1}{2}$ STA.	1 STA.
1°	100,001	10	25	50	25	50	100
2°	100,005	10	25	50	25	50	99,99
3°	100,011	10	25	50	25	50	99,99
4°	100,020	10	25	50,01	25	50	99,98
5°	100,032	10	25,01	50,01	25	50	99,97
6°	100,046	10,01	25,01	50,02	25	50	99,95
7°	100,062	10,01	25,02	50,02	25	50	99,94
8°	100,081	10,01	25,02	50,03	25	49,99	99,92
9°	100,103	10,01	25,02	50,04	25	49,99	99,90
10°	100,127	10,01	25,03	50,05	25	49,98	99,88
11°	100,154	10,02	25,04	50,06	25	49,98	99,85
12°	100,183	10,02	25,04	50,07	25	49,98	99,82
13°	100,215	10,02	25,05	50,08	25	49,97	99,79
14°	100,249	10,02	25,06	50,09	25	49,97	99,75
15°	100,286	10,03	25,07	50,11	25	49,96	99,72
16°	100,326	10,03	25,08	50,12	25	49,96	99,68
17°	100,368	10,04	25,09	50,14	25	49,95	99,63
18°	100,412	10,04	25,10	50,16	24,99	49,95	99,59
19°	100,460	10,04	25,11	50,17	24,99	49,94	99,54
20°	100,510	10,05	25,12	50,19	24,99	49,94	99,49
21°	100,562	10,06	25,13	50,21	24,99	49,93	99,44
22°	100,617	10,06	25,14	50,23	24,99	49,92	99,39
23°	100,675	10,07	25,16	50,25	24,99	49,92	99,33
24°	100,735	10,07	25,17	50,27	24,99	49,91	99,27
25°	100,798	10,08	25,19	50,30	24,99	49,90	99,21
26°	100,863	10,08	25,20	50,32	24,99	49,89	99,14
27°	100,931	10,09	25,22	50,35	24,99	49,88	99,08
28°	101,002	10,10	25,23	50,38	24,98	49,88	99,01
29°	101,075	10,11	25,25	50,40	24,98	49,87	98,94
30°	101,152	10,11	25,27	50,43	24,98	49,86	98,86

TABEL E.6 (Lanjutan)

D	DEFINISI TALI BUSUR D			DEFINISI TALI BUSUR D			
	BUSUR UNTUK 1 STA.	TALI BUSUR SEBENARNYA		TALI BUSUR SEBENARNYA			
		$\frac{1}{10}$ STA.	$\frac{1}{4}$ STA.	$\frac{1}{2}$ STA.	$\frac{1}{4}$ STA.	$\frac{1}{2}$ STA.	1 STA.
32°	101,312	10,13	25,31	50,49	24,98	49,84	98,71
34°	101,482	10,15	25,35	50,56	24,98	49,82	98,54
36°	101,664	10,16	25,39	50,62	24,97	49,79	98,36
38°	101,857	10,18	25,43	50,69	24,97	49,77	98,18
41°	102,166	10,21	25,51	50,81	24,97	49,73	97,88
44°	102,500	10,25	25,59	50,94	24,96	49,69	97,56
48°	102,986	10,30	25,70	51,12	24,95	49,63	97,10
52°	103,516	10,35	25,82	51,31	24,95	49,57	96,60
57°	104,246	10,42	25,98	51,59	24,94	49,49	95,93
64°	105,394	10,53	26,26	52,01	24,92	49,35	94,88
72°	106,896	10,68	26,61	52,57	24,90	49,18	93,55
82°	109,073	10,90	27,12	53,38	24,87	48,94	91,68
95°	112,445	11,23	27,91	54,63	24,82	48,58	88,93
115°	118,992	11,88	29,44	57,03	24,74	47,93	84,04

Definisi tali busur  $D$

Untuk derajat-derajat kelengkungan tak terdaftar di sini, dapatkan kelebihan busur kira-kira per stasiun dengan interpolasi, atau tepatnya sampai tiga desimal (sampai  $D = 15^\circ$ ) dari rumus:

$$\text{kelebihan} = 0,00127 D^2$$

Definisi busur  $D$

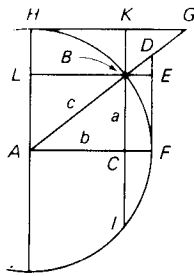
Untuk derajat-derajat kelengkungan tak terdaftar di sini, dapatkan kekurangan tali busur kira-kira per stasiun dengan interpolasi, atau tepatnya sampai dua desimal (sampai  $D = 30^\circ$ ) dari rumus:

$$\text{kekurangan} = 0,00127 D^2$$

\* Dari Meyer & Gibson, *Rancangan dan Pengukuran Jalur-lintas* hal. 328, edisi ke-5.



**TABEL E.7. RUMUS-RUMUS TRIGONOMETRIK UNTUK PENYELESAIAN SEGITIGA SIKU-SIKU**



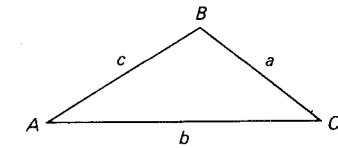
Jika  $A =$  sudut  $BAC =$  busur  $BF$  dan jari-jari  $AF = AB = AH = 1$ , maka

$\sin A = BC$	$\csc A = AG$
$\cos A = AC$	$\sec A = AD$
$\operatorname{tg} A = DF$	$\operatorname{cotg} A = HG$
$\operatorname{vers} A = CF = BE$	$\operatorname{covers} A = BK = LH$
$\operatorname{exsec} A = BD$	$\operatorname{coexsec} A = BG$
$\operatorname{tali busur} A = BF$	$\operatorname{tali busur} 2A = BI = 2BC$

Dalam segitiga siku-siku  $ABC$ , jika  $AB = c$ ,  $BC = a$ ,  $CA = b$ , maka

- |                                                                                     |                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 1. $\sin A = \frac{a}{c}$                                                           | 11. $a = c \sin A = b \operatorname{tg} A$          |
| 2. $\cos A = \frac{b}{c}$                                                           | 12. $b = c \cos A = a \operatorname{cotg} A$        |
| 3. $\operatorname{tg} A = \frac{a}{b}$                                              | 13. $c = \frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\cos A}$       |
| 4. $\operatorname{cotg} A = \frac{b}{a}$                                            | 14. $a = c \cos B = b \operatorname{cotg} B$        |
| 5. $\sec A = \frac{c}{b}$                                                           | 15. $b = c \sin B = a \operatorname{tg} B$          |
| 6. $\operatorname{cosec} A = \frac{c}{a}$                                           | 16. $c = \frac{a}{\cos B} = \frac{b}{\sin B}$       |
| 7. $\operatorname{vers} A = 1 - \cos A = \frac{c-b}{c}$<br>= covers $B$             | 17. $a = \sqrt{c^2 - b^2}$<br>= $\sqrt{(c-b)(c+b)}$ |
| 8. $\operatorname{exsec} A = \sec A - 1 = \frac{c-b}{b} = \operatorname{coexsec} B$ | 18. $b = \sqrt{c^2 - a^2}$<br>= $\sqrt{(c-a)(c+a)}$ |
| 9. $\operatorname{covers} A = \frac{c-a}{c} = \operatorname{vers} B$                | 19. $c = \sqrt{a^2 + b^2}$                          |
| 10. $\operatorname{coexsec} A = \frac{c-a}{a} = \operatorname{exsec} B$             | 20. $C = 90^\circ = A + B$                          |
21.  $\text{luas} = \frac{1}{2} ab$

**TABEL E.8. RUMUS-RUMUS TRIGONOMETRIK UNTUK PENYELESAIAN SEGITIGA SEMBARANG**



NO.	DIBERIKAN	DICARI	RUMUS
22	$A, B, a$	$C, b, c$	$C = 180^\circ - (A + B)$ $b = \frac{a}{\sin A} \times \sin B$ $c = \frac{a}{\sin A} \times \sin(A + B) = \frac{a}{\sin A} \times \sin C$ Luas = $\frac{1}{2} ab \sin C = \frac{a^2 \sin B \sin C}{2 \sin A}$
23	$A, a, b$	$B, C, c$	$\sin B = \frac{\sin A}{a} \times b$ $C = 180^\circ - (A + B)$ $C = \frac{a}{\sin A} \times \sin C$ Luas = $\frac{1}{2} ab \sin C$
24	$C, a, b,$	$c$	$c = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos C}$
25	$\frac{1}{2}(A + B)$	$\frac{1}{2}(A + B) = 90^\circ - \frac{1}{2}C$	
26	$\frac{1}{2}(A - B)$	$\operatorname{tg} \frac{1}{2}(A - B) = \frac{a-b}{a+b} \times \operatorname{tg} \frac{1}{2}(A + B)$	
27	$A, B$	$A = \frac{1}{2}(A + B) + \frac{1}{2}(A - B)$ $B = \frac{1}{2}(A + B) - \frac{1}{2}(A - B)$	
28	$c$	$c = (a + b) \times \frac{\cos \frac{1}{2}(A + B)}{\cos \frac{1}{2}(A - B)} = (a - b) \times \frac{\sin \frac{1}{2}(A + B)}{\sin \frac{1}{2}(A - B)}$	
29	Luas	Luas = $\frac{1}{2} ab \sin C$	
30	$a, b, c$	$A$	Let $s = \frac{a + b + c}{2}$
31			$\sin \frac{1}{2}A = \sqrt{\frac{(s-b)(s-c)}{bc}}$ $\cos \frac{1}{2}A = \sqrt{\frac{s(s-a)}{bc}}$ $\operatorname{tg} \frac{1}{2}A = \sqrt{\frac{(s-b)(s-c)}{s(s-a)}}$
32			$\sin A = \frac{2\sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)}}{bc}$ $\cos A = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}$
33	Luas	Luas = $\sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)}$	

**TABEL E-9. HUBUNGAN ANTARA GALAT-LINIER DAN GALAT SUDUT**

GALAT SUDUT YANG DIBOLEHKAN UNTUK KESAKSAMAAN LINIER YANG DIBERIKAN		GALAT LINIER YANG DIBOLEHKAN UNTUK KESAKSAMAAN SUDUT YANG DIBERIKAN					
KESAKSAMAAN PENGUKURAN LINIER	GALAT SUDUT YANG DIBOLEHKAN	PEMBACAAN TER- KECIL DLM PENG- UKURAN SUDUT	GALAT LINIER YANG DIBOLEHKAN DALAM				PER- BAN- DINGAN
			100'	500'	1000'	5000'	
$\frac{1}{500}$	6'53"	5'	0,145	0,727	1,454	7,272	$\frac{1}{688}$
$\frac{1}{1000}$	3'26"	1'	0,029	0,145	0,291	1,454	$\frac{1}{3440}$
$\frac{1}{5000}$	0'41"	30"	0,015	0,073	0,145	0,727	$\frac{1}{6880}$
$\frac{1}{10.000}$	0'21"	20"	0,010	0,049	0,097	0,485	$\frac{1}{10.300}$
$\frac{1}{50.000}$	0'04"	10"	0,005	0,024	0,049	0,242	$\frac{1}{20.600}$
$\frac{1}{100.000}$	0'02"	5"	0,002	0,012	0,024	0,121	$\frac{1}{41.200}$
$\frac{1}{1.000.000}$	0'00,2"	2"	0,001	0,005	0,010	0,048	$\frac{1}{103.100}$
		1"		0,002	0,005	0,024	$\frac{1}{206.300}$

**TABEL E-10 KESAKSAMAAN HARGA TERHITUNG**

BESAR SUDUT DAN FUNGSI	GALAT SUDUT				
	1'	30"	20"	10"	5"
<b>KESAKSAMAAN HARGA-TERHITUNG MEMAKAI SIN ATAU COS</b>					
sin 5° atau cos 85°	$\frac{1}{300}$	$\frac{1}{600}$	$\frac{1}{900}$	$\frac{1}{1800}$	$\frac{1}{3600}$
10 80	$\frac{1}{610}$	$\frac{1}{1210}$	$\frac{1}{1820}$	$\frac{1}{3640}$	$\frac{1}{7280}$
20 70	$\frac{1}{1250}$	$\frac{1}{2500}$	$\frac{1}{3750}$	$\frac{1}{7500}$	$\frac{1}{15.000}$
30 60	$\frac{1}{1990}$	$\frac{1}{3970}$	$\frac{1}{5960}$	$\frac{1}{11.970}$	$\frac{1}{23.940}$
40 50	$\frac{1}{2890}$	$\frac{1}{5770}$	$\frac{1}{8660}$	$\frac{1}{17.310}$	$\frac{1}{34.620}$
50 40	$\frac{1}{4100}$	$\frac{1}{8190}$	$\frac{1}{12.290}$	$\frac{1}{24.580}$	$\frac{1}{49.160}$
60 30	$\frac{1}{5950}$	$\frac{1}{11.900}$	$\frac{1}{17.860}$	$\frac{1}{35.720}$	$\frac{1}{71.440}$
70 20	$\frac{1}{9450}$	$\frac{1}{18.900}$	$\frac{1}{28.330}$	$\frac{1}{56.670}$	$\frac{1}{113.340}$
80 10	$\frac{1}{19.500}$	$\frac{1}{39.000}$	$\frac{1}{58.500}$	$\frac{1}{117.000}$	$\frac{1}{234.000}$
<b>KESAKSAMAAN HARGA-TERHITUNG MEMAKAI TG ATAU COTG</b>					
tg atau cotg 5°	$\frac{1}{300}$	$\frac{1}{600}$	$\frac{1}{900}$	$\frac{1}{1790}$	$\frac{1}{3580}$
10	$\frac{1}{590}$	$\frac{1}{1180}$	$\frac{1}{1760}$	$\frac{1}{3530}$	$\frac{1}{7050}$
20	$\frac{1}{1100}$	$\frac{1}{2210}$	$\frac{1}{3310}$	$\frac{1}{6620}$	$\frac{1}{13.250}$
30	$\frac{1}{1490}$	$\frac{1}{2980}$	$\frac{1}{4470}$	$\frac{1}{8930}$	$\frac{1}{17.870}$
40	$\frac{1}{1690}$	$\frac{1}{3390}$	$\frac{1}{5080}$	$\frac{1}{10.160}$	$\frac{1}{20.320}$
45	$\frac{1}{1720}$	$\frac{1}{3440}$	$\frac{1}{5160}$	$\frac{1}{10.310}$	$\frac{1}{20.630}$
50	$\frac{1}{1690}$	$\frac{1}{3390}$	$\frac{1}{5080}$	$\frac{1}{10.160}$	$\frac{1}{20.320}$
60	$\frac{1}{1490}$	$\frac{1}{2980}$	$\frac{1}{4470}$	$\frac{1}{8930}$	$\frac{1}{17.870}$
70	$\frac{1}{1100}$	$\frac{1}{2210}$	$\frac{1}{3310}$	$\frac{1}{6620}$	$\frac{1}{13.250}$
80	$\frac{1}{590}$	$\frac{1}{1180}$	$\frac{1}{1760}$	$\frac{1}{3530}$	$\frac{1}{7050}$
85	$\frac{1}{300}$	$\frac{1}{600}$	$\frac{1}{900}$	$\frac{1}{1790}$	$\frac{1}{3580}$

# JAWABAN SOAL – SOAL TERPILIH

## APENDIKS F

---

### BAB 2

- 2-1(c). 3.705,01ft
- 2-2(c). 1.259,7m
- 2-3(c). 2.709,3ft
- 2-4(c). 40,068 Gunter's chain persegi
- 2-6(b). 52,15ft
- 2-8(b). 0,910acres
- 2-10(c).  $147^{\circ}20'20''$
- 2-11(b). 1615
- 2-12(c).  $1,2749 \times 10^2$
- 2-17.  $\bar{M} = 728,890$  ft,  $\sigma = \pm 0,046$  ft,  $\sigma_m = \pm 0,015$  ft
- 2-21. 50%. 728,859 to 728,921 (7)  
90%. 728,814 to 728,966 (8)
- 2-25.  $M = 49^{\circ}23'11''$ ,  $\sigma = \pm 12,7''$ ,  $\sigma_m = \pm 4,5''$
- 2-29.  $\sigma = \pm 0,016$  ft
- 2-31(b).  $\sigma = \pm 0,044$  m
- 2-33(b).  $\bar{M}_w = 65^{\circ}38'20,9''$
- 2-35(b). Luas = 12.144 m<sup>2</sup>,  $\pm 2,4$  m<sup>2</sup>
- 2-38(b). Beda elev.  $\Rightarrow -80,362$  m,  $\pm 0,032$  m

---

### BAB 4

- 4-3(b). 1661,66 ft
- 4-4(c). 650,79 ft

- 4-9. 669,648 ft
- 4-12. 576,073 ft
- 4-15. 87,705 ft
- 4-18. 623,688 ft
- 4-21. 114,076 m
- 4-23. 156,742 m
- 4-26. 570,937 ft
- 4-30.  $P_1 = 27,3$  lb
- 4-32(c). 0,026 ft
- 4-34. Segitiga  $CDG$ ;  $C = 90^\circ 29,1'$ ,  $D = 46^\circ 08,5'$ ,  $G = 43^\circ 22,4'$
- 4-37.  $\pm 0,140$  ft
- 4-40.  $+ 0,123$  ft

## BAB 5

- 5-5.  $5,1 \times 10^{-8}$  sec
- 5-8(c).  $\pm 8,2$  mm
- 5-9(c).  $\frac{1}{107,000}$
- 5-13(b). Kira-kira  $7^\circ\text{F}$
- 5-14(b). Kira-kira  $0,6$  in
- 5-16(b). Kira-kira  $4^\circ\text{C}$
- 5-19. 937,13 m
- 5-21. 241,71 m
- 5-23. 76,73 m

## BAB 6

- 6-3. 7,23 mi
- 6-7. Gabungan =  $-0,00172$  ft
- 6-10. 29,8 ft, 57,8"
- 6-14. 20,0"
- 6-17. 0,036 ft
- 6-24. 147,0 ft
- 6-26. Okuler dan/atau lensa obyektif tak terpumpun dengan baik.
- 6-29.  $n = 5$ ,  $n = 20$
- 6-32. Teropong bayangan tegak memerlukan sebuah lensa tambahan, sinar hilang sedikit; teropong bayangan-terbalik terasa canggung bagi para pemula.
- 6-33. Tabung nivo dapat dibaca bila teropong dibalik.

## BAB 7

- 7-3. 0,51 ft
- 7-5. 0,0035 ft
- 7-6. Sedikit dibawah orde ketiga
- 7-9. 2,26 ft, 5,22 ft
- 7-11. 17 ft
- 7-12. elev BM  $B = 272,28$  ft
- 7-15. 36,40%
- 7-18. elev. BM  $B, C, D = 637,579, 670,033, 708,243$
- 7-20. 0,188 ft
- 7-23.  $\pm 6,9$  mm

## BAB 8

- 8-1. 1,4355 rad,  $83^\circ 23'06''$ ,  $236^\circ 15'$
- 8-11.  $CD = 27\ 54'$
- 8-14.  $A = B = C = 90^\circ$ ,  $D = 143^\circ 12'$ ,  $E = 126^\circ 48'$
- 8-16. Arah  $FG = S58^\circ 02'E$
- 8-17. Arah  $DE = N85^\circ 00'E$
- 8-21. Arah  $EA = S21^\circ 50'W$
- 8-23. Arah  $25 + 48,0 = S43^\circ 39'E$
- 8-27. Azimut  $HI = 284^\circ 06'$
- 8-30. Arah  $EF = N36^\circ 14'E$

## BAB 9

- 9-9.  $9^\circ 15'E$
- 9-11. Di equator; di kutub-kutub
- 9-14. Galat alamiah, sistematik
- 9-15. Kutub Selatan
- 9-20.  $U52^\circ 25'B$
- 9-22.  $U58^\circ 45'T$
- 9-24.  $U84^\circ 31'B$
- 9-29.  $5^\circ 45'T$
- 9-33. Tak ada jarak-jarak diberikan; garis-garis poligon tak memotong, sehingga harus bertemu di suatu tempat untuk tepat menutup poligon.

## BAB 10

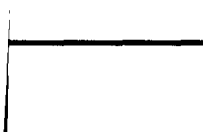
- 10-8. Buatlah 8 pembagian skala nonius, meliputi jarak 7 pembagian skala utama.
- 10-9(c). 12"

## BAB 11

- 11-1(c). 24,8"
- 11-2(d). 43,0"
- 11-10.  $49^\circ 36,5'$
- 11-12.  $X = 136\ 53,25'$ ;  $Y = 223\ 06,90'$ ; penutup =  $0,15'$
- 11-14.  $BAC = 79^\circ 41'32''$ ;  $CAD = 102^\circ 09'50''$ ;  $DAB = 178^\circ 08'38''$
- 11-16.  $\pm 10,4''$
- 11-18. 0,019 ft
- 11-22(c).  $1'01,2''$
- 11-25. Galat indeks =  $-0^\circ 03'$ , sudut sebenarnya =  $16^\circ 20'$
- 11-27(c). 1,1"
- 11-30(c). 8,6', 3,4', 1,9', 52'', 17''

## BAB 12

- 12-7(c).  $1980^\circ$
- 12-8.  $107^\circ 43'$
- 12-9(b).  $\sum \text{left} = \sum \text{kanan}$
- 12-15.  $\pm 37''$
- 12-22. Arah  $EA$



8 ft dan  $-400,72$  ft

- 13-6. Harga  $\Delta x$  dan  $\Delta y$  untuk  $CD$  yang diartikan adalah berturut-turut  $-111,38$  dan  $400,79$  ft.  $X_c = 9531,18$  ft,  $Y_c = 11,688,94$  ft.
- 13-10. Arah  $DE = S46^\circ 43' B$ ,  $\Delta y$  dan  $\Delta x$  untuk  $DE$  adalah berturut-turut  $-734,14$  dan  $-779,51$ , kesalahan penutup linier =  $1,03$  ft dan kesaksamaan =  $\frac{1}{5000}$
- 13-12.  $X_D = 6456,42$  ft,  $Y_D = 4283,73$  ft
- 13-15.  $\Delta y$  dan  $\Delta x$  terimbang untuk  $DA$ , dengan Kaidah Kompas adalah berturut-turut  $-777,27$  dan  $-398,12$  ft; dengan Kaidah Teodolit Kompas adalah berturut-turut  $-777,25$  dan  $-398,11$  ft
- 13-21. Jarak  $CD = 306,40$  ft, arah  $DE = S70^\circ 28' B$
- 13-24. Mungkin  $CD$  terlalu panjang  $10$  ft
- 13-31. Panjang =  $1933,66$  ft, arah =  $S55^\circ 51,8' B$
- 13-33. Sudut  $D$  diratakan =  $106^\circ 27,6'$

---

**BAB 14**

- 14-2. 5,952 acres
- 14-5. 1,331 acres
- 14-8. 5,418 acres
- 14-10. 0,853 acres
- 14-13. 3,302 acres
- 14-17. 1,729 acres
- 14-19. 4,749 acres
- 14-25. Luas = 27,893 acres
- 14-29. 1,262 acres
- 14-32. Panjang garis pemisah = 269 50 ft
- 14-35. 30,028 acres

**M I L I K**  
Badan Perpustakaan  
Propinsi Jawa Timur