



**ANALISIS OPTIMASI SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK
HYBRID DI LABORATORIUM TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI**

**Disusun dan Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Ujian Akhir Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik dari Fakultas Sains dan Teknologi Universitas
Pembangunan Panca Budi**

SKRIPSI

O L E H

NAMA : ALBERT KENEDY BUTAR BUTAR

NPM : 1714210130

PROGRAM STUDI : TEKNIK ELEKTRO

KONSENTRASI : TEKNIK ENERGI LISTRIK

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI**

MEDAN

2022

PENGESAHAN SKRIPSI

JUDUL : ANALISIS OPTIMASI SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK HYBRID DI
LABORATORIUM TEKNIK ELEKTRO UNIVERSITAS PEMBANGUNAN
PANCA BUDI

NAMA : ALBERT KENEDY BUTAR BUTAR
N.P.M : 1714210130
FAKULTAS : SAINS & TEKNOLOGI
PROGRAM STUDI : Teknik Elektro
TANGGAL KELULUSAN : 11 Mei 2022

DIKETAHUI

DEKAN



Hamdani, ST., MT.

KETUA PROGRAM STUDI



Siti Anisah, S.T., M.T

DISETUJUI

KOMISI PEMBIMBING

PEMBIMBING I



Hamdani, S.T., M.T

PEMBIMBING II



Hj Zuraidah Tharo, ST., MT

Hal : Permohonan Meja Hijau

Medan, 20 Mei 2022
Kepada Yth : Bapak/Ibu Dekan
Fakultas SAINS & TEKNOLOGI
UNPAB Medan
Di -
Tempat

Dengan hormat, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : ALBERT KENEDY BUTAR BUTAR
Tempat/Tgl. Lahir : Medan / 15 Juli 1999
Nama Orang Tua : MAROJAHAN BUTAR BUTAR
N. P. M : 1714210130
Fakultas : SAINS & TEKNOLOGI
Program Studi : Teknik Elektro
No. HP : 082163411901
Alamat : JL SUKA TIRTA NO 55 LK XIII MEDAN

Datang bermohon kepada Bapak/Ibu untuk dapat diterima mengikuti Ujian Meja Hijau dengan judul **Analisis Optimasi Sistem Pembangkit Listrik Hybrid di Laboratorium Teknik Elektro Universitas Pembangunan Panca Budi**, Selanjutnya saya menyatakan :

1. Melampirkan KKM yang telah disahkan oleh Ka. Prodi dan Dekan
2. Tidak akan menuntut ujian perbaikan nilai mata kuliah untuk perbaikan indek prestasi (IP), dan mohon diterbitkan ijazahnya setelah lulus ujian meja hijau.
3. Telah tercap keterangan bebas pustaka
4. Terlampir surat keterangan bebas laboratorium
5. Terlampir pas photo untuk ijazah ukuran 4x6 = 5 lembar dan 3x4 = 5 lembar Hitam Putih
6. Terlampir foto copy STTB SLTA dilegalisir 1 (satu) lembar dan bagi mahasiswa yang lanjutan D3 ke S1 lampirkan ijazah dan transkripnya sebanyak 1 lembar.
7. Terlampir pelunasan kwintasi pembayaran uang kuliah berjalan dan wisuda sebanyak 1 lembar
8. Skripsi sudah dijilid lux 2 exemplar (1 untuk perpustakaan, 1 untuk mahasiswa) dan jilid kertas jeruk 5 exemplar untuk penguji (bentuk dan warna penjiilidan diserahkan berdasarkan ketentuan fakultas yang berlaku) dan lembar persetujuan sudah di tandatangani dosen pembimbing, prodi dan dekan
9. Soft Copy Skripsi disimpan di CD sebanyak 2 disc (Sesuai dengan Judul Skripsinya)
10. Terlampir surat keterangan BKKOL (pada saat pengambilan ijazah)
11. Setelah menyelesaikan persyaratan point-point diatas berkas di masukan kedalam MAP
12. Bersedia melunaskan biaya-biaya uang dibebankan untuk memproses pelaksanaan ujian dimaksud, dengan perincian sbb :

1. [102] Ujian Meja Hijau	: Rp.	1,000,000
2. [170] Administrasi Wisuda	: Rp.	1,750,000
Total Biaya	: Rp.	2,750,000

Ukuran Toga :

XL

Diketahui/Disetujui oleh :

Hormat saya



Hamdani, ST., MT.
Dekan Fakultas SAINS & TEKNOLOGI



ALBERT KENEDY BUTAR BUTAR
1714210130

Catatan :

- 1. Surat permohonan ini sah dan berlaku bila ;
 - a. Telah dicap Bukti Pelunasan dari UPT Perpustakaan UNPAB Medan.
 - b. Melampirkan Bukti Pembayaran Uang Kuliah aktif semester berjalan
- 2. Dibuat Rangkap 3 (tiga), untuk - Fakultas - untuk BPAA (asli) - Mhs.ybs.

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Albert Kenedy Butar Butar
Npm : 1714210130
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : Analisis Optimasi Sistem Pembangkit Listrik Hybrid Di
Laboratorium Teknik Elektro Universitas Pembangunan
Panca Budi

Dengan ini Menyatakan bahwa :

1. Skripsi ini merupakan hasil karya tulis saya sendiri dan bukan merupakan hasil karya orang lain (plagiat).
2. Memberikan izin hak bebas Royalti Non-Eklusif Kepada Unpab untuk menyimpan, mengalihkan-media/formatkan, mengelola mendistribusikan dan mempublikasikan karya skripsinya melalui internet dan media lain bagi kepentingan akademis.

Pernyataan ini saya buat dengan penuh tanggung jawab dan saya bersedia menerima konsekuensi apapun sesuai dengan aturan yang berlaku apabila dikemudian hari diketahui bahwa pernyataan ini tidak benar.

Medan , 11 Mei 2022



Albert Kenedy Butar Butar
NPM : 1714210130

PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar sarjana di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah dituliskan atau diorbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam skripsi ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Medan, 28 Maret 2022

Hormat saya



Albert Kenedy ButarButar

NPM. 1714210130

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Sebagai civitas akademika Universitas Pembangunan Panca Budi, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Albert Kenedy Butar Butar
NPM : 1714210130
Program Studi : Teknik Elektro
Fakultas : Sains Dan Teknologi
Jenis Karya : Skripsi

Demi mengembangkan ilmu penegetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Pembangunan Panca Budi Hak bebas Royalti Noneksklusif (*Nonexclusive Royalty-free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul : **ANALISIS OPTIMASI SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK HYBRID DI LABORATORIUM TEKNIK ELEKTRO UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan baik Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Pembangunan Panca Budi berhak menyimpan, mengalih media / - formatkan, mengelolah dalam bentuk pangkalan data (databese), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis / pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.
Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Medan, 28 Maret 2022

saya,


Albert kenedy Butar Butar

NPM. 1714210130

UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI

FAKULTAS SAINS & TEKNOLOGI

Jl. Jend. Gatot Subroto Km 4,5 Medan Fax. 061-8458077 PO.BOX : 1099 MEDAN

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI ARSITEKTUR	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI SISTEM KOMPUTER	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI TEKNIK KOMPUTER	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI AGROTEKNOLOGI	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI PETERNAKAN	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI TEKNOLOGI INFORMASI	(TERAKREDITASI)

PERMOHONAN JUDUL TESIS / SKRIPSI / TUGAS AKHIR*

Bertanda tangan di bawah ini :

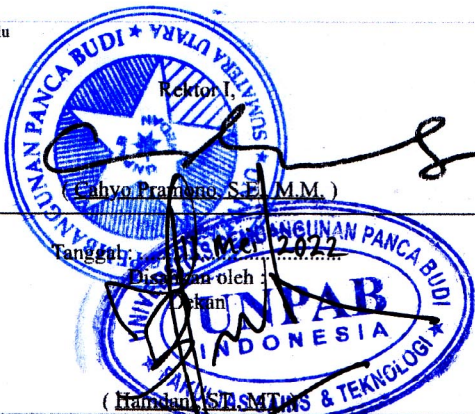
Nama	: ALBERT KENEDY BUTAR BUTAR
Tanggal Lahir	: Medan / 15 Juli 1999
Nomor Mahasiswa	: 1714210130
Judul	: Teknik Elektro
Spesialisasi	: Teknik Energi Listrik
IPK yang telah dicapai	: 143 SKS, IPK 3.50
Nomor Kontak	: 082163411901
menyajikan judul sesuai bidang ilmu sebagai berikut	:

Judul

Analisis Optimasi Sistem Pembangkit Listrik Hybrid di Laboratorium Teknik Elektro Universitas Pembangunan Panca Budi

Oleh Dosen Jika Ada Perubahan Judul

Tidak Perlu



Medan, 10 Mei 2022

Pemohon,

(Albert Kenedy Butar Butar)

Tanggal : 11 Mei 2022

Disetujui oleh:
Dosen Pembimbing I :

(Hamdan, S.T., M.T)

Tanggal : 11 Mei 2022

Disetujui oleh:
Ka. Prodi Teknik Elektro

(Siti Anisah, S.T., M.T)

Tanggal : 19 Mei 2022

Disetujui oleh:
Dosen Pembimbing II :

(Hj Zuzaidah Tharo, ST., MT)

No. Dokumen: FM-UPBM-18-02

Revisi: 0

Tgl. Eff: 22 Oktober 2018

Sumber dokumen: <http://mahasiswa.pancabudi.ac.id>

Dicetak pada: Selasa, 10 Mei 2022 10:38:52

**ANALISIS OPTIMASI SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK
HYBRID DI LABORATORIUM TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI**

Albert Kenedy Butar Butar *

Hamdani, S.T.,M.T. **

Hj. Zuraidah Tharo, S.T.,M.T. **

Universitas Pembangunan Panca Budi

ABSTRAK

Indonesia adalah negara beriklim tropis yang mendapatkan sinar matahari sepanjang tahun merupakan anugrah yang harus dioptimalkan, dan energi angin yang selalu berhembus yang bebas gas emisi dan gratis. Pengembangan kedua energi terbarukan ini menjawab permasalahan energi yang bergantung pada energi fosil yang menyebabkan kerusakan lingkungan. Pemanfaatan musim sangat membantu dalam menghasilkan kombinasi energi angin dan matahari, kombinasi ini disebut tenaga hybrid, kedua sumber energi ini bertujuan untuk saling melengkapi dalam optimalisasi energi listrik yang dihasilkan. Pembangkit listrik tenaga hybrid ini sudah diuji dan medapat beberapa data yaitu kecepatan angin 3,9 m/s dapat menghasilkan tegangan keluran pada *vertical axis wind turbine* sebesar 3,20 Volt. Intensitas cahaya tertinggi terukur sebesar 110,094 W/m² yang menghasilkan daya input Pin 74,907 Watt, daya output Pout 11,484 Watt, dengan efisiensi 15 % pada modul surya. Pengisian baterai dari kondisi awal baterai 12,9 V/ 100 Ah sampai terisi penuh 13,64 V/100 Ah membutuhkan waktu selama 25 Jam dengan energi rata rata VAWT perjamnya sebesar 28,61 W, dan energi rata rata modul surya perjamnya sebesar 32,66 Wp. Dan Optimasi kinerja sistem pembangkit hyrid dapat beroperasi selama 5 jam dengan beban 104 watt.

Kata Kunci : Sumber Daya Alam, Energi Terbarukan, Kombinasi Energi, Vertikal Axis Wind Turbine, Modul Surya, Optimasi Kinerja Pembangkit Hybrid.

* Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro : albertkenedybutar15@gmail.com

* * Dosen Pembimbing Program Studi Teknik Elektro

**OPTIMIZATION ANALYSIS OF HYBRID POWER
GENERATING SYSTEMS IN ELECTRICAL ENGINEERING
LABORATORY, PANCA BUDI DEVELOPMENT UNIVERSITY**

Albert Kenedy Butar Butar *

Hamdani, S.T.,M.T. **

Hj. Zuraidah Tharo, S.T.,M.T. **

University Of Pembangunan Panca Budi

ABSTRACT

Indonesia is a tropical country where getting sunlight all year round is a blessing that must be optimized, and wind energy that always blows is free of emissions and free of gases. The development of these two renewable energies answers the problem of energy depending on fossil energy which causes environmental damage. Utilization of the seasons is very helpful in producing a combination of wind and solar energy, this combination is called hybrid power, these two energy sources aim to complement each other in optimizing the electrical energy produced. This hybrid power plant has been tested and obtained some data, namely the wind speed of 3.9 m/s can produce output voltage on the vertical axis wind turbine of 3.20 Volts. The highest light intensity measured is 110,094 W/m² which produces an input power of 74.907 Watt Pin, 11,484 Watt Pout output power, with an efficiency of 15% on the solar module. Charging the battery from the initial condition of the 12.9 V/100 Ah battery to fully charged 13.64 V/100 Ah takes 25 hours with an average energy of 28.61 W VAWT per hour, and an average hourly energy of 32 solar modules. 66 Wp. And optimization of the performance of the hybrid generator system can operate for 5 hours with a load of 104 watts.

Keywords: Natural Resources, Renewable Energy, Combination Of Energy, Vertical Axis Wind Turbine, Solar Module, Optimization Of Hybrid Generator Performance.

* Student Of Electrical Engineering : albertkenedybutar15@gmail.com

* * Advisier Lecture Electrical Engineering

KATA PENGHANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas kasih dan anugerahNya yang memberikan pengetahuan, kesehatan, kesempatan dan kelancaran serta mempermudah penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Judul tugas akhir ini adalah **Analisis Optimasi Sistem Pembangkit Listrik Hybrid Di Laboratorium Teknik Elektro Universitas Pembangunan Panca Budi**. Harapan penulis dengan adanya tugas akhir ini dapat bermanfaat kalangan mahasiswa dan bagi masyarakat luas. Tugas akhir ini disusun dan diajukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik dari Fakultas Sains dan Terknologi Universitas Pembangunan Panca Budi.

Dalam pembuatan tugas akhir ini, penulis telah banyak mendapat bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, baik berupa material, spiritual, informasi maupun segi administrasi. Oleh sebab itu selayaknya penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Dr. H. Muhammad Isa Indrawan, S.E., M.M, selaku Rektor Universitas Pembangunan Panca Budi.
2. Bapak Hamdani, S.T., M.T, selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Pembangunan Panca Budi.
3. Ibu Siti Anisah, S.T., M.T, selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Teknologi Universitas Pembangunan Panca Budi.
4. Bapak Bapak Hamdani, S.T., M.T, selaku Dosen Pembimbing I Program Studi Teknik Elektro Teknologi Universitas Pembangunan Panca Budi.
5. Ibu Hj. Zuraidah Tharo, S.T., M.T, Dosen Pembimbing II Program Studi Teknik Elektro Teknologi Universitas Pembangunan Panca Budi.
6. Bapak dan Ibu penguji yang memberikan saran, masukan dan kritikan yang membangun untuk membuat skripsi ini lebih baik
7. Bapak dan Ibu staf pengajar dan administrasi Fakultas sains dan teknologi universitas pembangunan panca budi yang telah memberikan ilmu dalam penulisan skripsi ini, serta karyawan dan karyawan yang telah membantu di bidang administrasi.
8. Teristimewa penulis ucapkan kepada orang tua Bapak Marojahan Butar Butar dan Mamak Bentley br Simanjuntak dan abang, kakak, dan adik dan seluruh keluarga yang telah memerikan materi, dukungan, motivasi dan doa yang tulus kepada penulis.
9. Teman-teman seperjuangan mahasiswa angkatan 2017 kelas Reguler 1 A2 serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan namanya satu persatu.

Penulis juga menyadari bahwa dalam menyusun skripsi ini masih banyak terdapat berbagai kekurangan, maka dengan kerendahan hati, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun agar skripsi ini menjadi lebih baik lagi. Akhir kata penulis mengucapkan semoga tulisan ini dapat menambah dan memperkaya pengetahuan dan wawasan bagi pembaca dan khususnya bagi penulis. Atas perhatian dari semua pihak penulis mengucapkan terimakasih.

Medan, 28 Maret 2022

Penulis

Albert kenedy Butar Butar

NPM. 1714210130

DAFTAR ISI

PERNYATAAN ORISINALITAS

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

ABSTRAK

ABSTRACT

KATA PENGHANTAR..... i

DAFTAR ISI..... iii

DAFTAR GAMBAR..... vi

DAFTAR TABEL viii

BAB I PENDAHULUAN..... 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 3

1.3 Batasan Masalah..... 4

1.4 Tujuan Penelitian..... 5

1.5 Manfaat Penelitian..... 5

1.6 Sistematika Penulisan..... 6

BAB II DASAR TEORI..... 8

2.1 Energi Terbarukan..... 8

2.2 Energi Surya 8

2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya 10

2.3.1 Panel Surya 11

2.3.2 Solar Charge Controller 23

2.3.3 Baterai 25

2.3.4 Inverter 28

2.4 Tenaga Bayu 30

2.5 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu 31

2.5.1 Turbin Angin..... 32

2.5.2	Torsi.....	38
2.5.3	Generator	39
2.5.4	Daya Angin.....	42
2.5.5	Daya Kincir Angin.....	42
2.5.6	Tip Speed Ratio (tsr).....	43
2.5.7	Koefisien Daya (C_p).....	43
BAB III	METODE PENELITIAN	45
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian	45
3.2	Metode Pengumpulan Data	45
3.3	Alat Dan Bahan Penelitian	46
3.3.1	Modul Surya	46
3.3.2	Solar Charge Controller	47
3.3.3	Vertikal Exis Wind Turbine.....	48
3.3.4	Alternator Rectifier	49
3.3.5	Baterai.....	50
3.3.6	Inverter.....	51
3.3.7	Anemometer.....	52
3.3.8	Multitester.....	52
3.4	Flowchart.....	53
BAB IV	HASIL PENELITIAN.....	54
4.1	Deskripsi Umum.....	54
4.2	Pengujian Vertikal Axis Wind Turbine.....	54
4.3	Pengujian Modul Surya	57
4.3.1	Pengujian Modul Surya Tidak Berbeban.....	57
4.3.2	Pengujian Modul Surya Dengan Berbeban.....	59
4.4	Hasil Pengujian Pengisian Baterai	64
4.5	Hasil Modul Inverter Pada Variasi Beban.....	78
4.6	Hasil Pengujian Optimasi Kinerja Sistem Pembangkit Hybrid.....	82
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	87
5.1	Kesimpulan.....	87

5.2	Saran.....	88
DAFTAR PUSTAKA	90

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya.....	11
Gambar 2. 2	Panel Surya	12
Gambar 2. 3	Penampang Panel Surya	13
Gambar 2. 4	Junction Semikonduktor Tipe-P Dan Tipe-N.....	14
Gambar 2. 5	Ilustrasi Cara Kerja Sel Surya.....	15
Gambar 2. 6	Monokristal.....	16
Gambar 2. 7	Polikristal.....	17
Gambar 2. 8	Thin Film Photovoltaic (TFPV)	18
Gambar 2. 9	Kurva I-V.....	19
Gambar 2. 10	Modul I-V curve (12V DC nominal).....	20
Gambar 2. 11	Pengaruh Intensitas Matahari Terhadap Daya Solar Cell.....	23
Gambar 2. 12	Konstruksi Baterai	26
Gambar 2. 13	Inverter.....	29
Gambar 2. 14	PLTB Secara Umum.....	32
Gambar 2. 15	Bentuk-Bentuk Kincir Angin Poros Horizontal	34
Gambar 2. 16	Bentuk-Bentuk Kincir Angin Poros Vertikal	36
Gambar 2. 17	Generator Magnet Permanen	40
Gambar 2. 18	Generator Magnet Permanen	41
Gambar 2. 19	Generator Magnet Permanen	42
Gambar 2. 20	Grafik Hubungan Antara Koefisien Daya Dengan Tip Speed Ratio Dari Berbagai Jenis Kincir Angin.	44
Gambar 3. 1	Modul Surya	46
Gambar 3. 2	Solar Charge Controller.....	47
Gambar 3. 3	Vertical Exis Wind Turbine.....	48
Gambar 3. 4	Jembatan Rectifier	49
Gambar 3. 5	Baterai.....	50
Gambar 3. 6	Inverter.....	51
Gambar 3. 7	Anemometer	52
Gambar 3. 8	Multitester.....	52
Gambar 4. 1	Pengujian Kecepatan Angin Menggunakan Anemometer	55
Gambar 4. 2	Grafik Pengujian Kecepatan Angin Pada VAWT	56
Gambar 4. 3	Skema Rangkaian Pengujian Modul Surya Tidak Berbeban.....	57
Gambar 4. 4	Skema Instalasi Pengujian Modul Surya Berbeban	59
Gambar 4. 5	Lux Light Meter Pada Mobile Phone	60
Gambar 4. 6	Pengukuran Tegangan Pada Pengujian Modul Surya Berbeban	60

Gambar 4. 7 Hubungan Intensitas Cahaya Matahari Dengan Tegangan Output Modul Surya.....	62
Gambar 4. 8 Kondisi Awal Baterai Sebelum Dilakukan Pengisian	65
Gambar 4. 9 Grafik Pengujian Pengisian Baterai Hari Pertama.....	67
Gambar 4. 10 Grafik Pengujian Pengisian Baterai Hari Kedua	69
Gambar 4. 11 Grafik Pengujian Pengisian Baterai Hari Ketiga	71
Gambar 4. 12 Grafik Pengujian Pengisian Baterai Hari Keempat	73
Gambar 4. 13 Grafik Pengujian Pengisian Baterai Hari Kelima.....	75
Gambar 4. 14 Baterai Saat Sudah Terisi Penuh.....	76
Gambar 4. 15 Grafik Daya Yang Dihasilkan Perhari Pada Pengujian Pengisian Baterai	77
Gambar 4. 16 Skema Rangkaian Pengujian Inverter.....	79
Gambar 4. 17 Pengukuran Tegangan AC pada Output Inverter.....	80
Gambar 4. 18 Pengukuran Frekuensi pada Output Inverter	80
Gambar 4. 19 Grafik Pengujian Modul Inverter Pada Variasi Beban	82
Gambar 4. 20 Pengujian Optimasi Kinerja Sistem Pembangkit Hybrid Dengan Beban.....	83
Gambar 4. 21 Pengukuran Tegangan Output Inverter Disaat Tegangan Baterai Pada Dispay SCC Sebesar 10,00 V.....	84
Gambar 4. 22 Grafik Pengujian Optimasi Kinerja Pembangkit Hybrid.....	86

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Spesifikasi Modul Surya	47
Tabel 3. 2 Spesifikasi Solar Charge Controller (PWM).....	48
Tabel 3. 3 Spesifikasi Turbine Angin.....	49
Tabel 3. 4 Spesifikasi Rectifier	50
Tabel 3. 5 Spesifikasi Inverter.....	51
Tabel 4. 1 Pengujian Kecepatan Angin Menggunakan Anemometer	55
Tabel 4. 2 Data Hasil Pengujian Modul Surya Tidak Berbeban	58
Tabel 4. 3 Pengujian Modul Surya Berbeban.....	61
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Pengisian Baterai Hari Pertama	65
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Pengisian Baterai Hari kedua.....	68
Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Pengisian Baterai Hari Ketiga.....	70
Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Pengisian Baterai Hari Keempat	72
Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Pengisian Baterai Hari Kelima.....	74
Tabel 4. 9 Daya Yang Dihasilkan Oleh Vertical Axis Wind Turbin Dan Modul Surya	76
Tabel 4. 10 Data Pengujian Modul Inverter Pada Variasi Beban.....	81
Tabel 4. 11 Data Pengujian Modul Inverter Pada Variasi Beban.....	84

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan kebutuhan pokok yang memainkan peran yang sangat penting pada semua aspek kehidupan manusia dan harus dikelola dengan cara yang efisien. Kebutuhan akan energi yang bertambah besar seiring dengan pertumbuhan penduduk dan meningkatnya aktifitas masyarakat. Selama ini kebutuhan akan energi masih bergantung pada sumber energi dari bahan bakar fosil yang mengandalkan batubara, minyak bumi, gas bumi yang akan semakin menipis bahkan habis. Penggunaan bahan bakar fosil ini akan berdampak pada masalah lingkungan dan mendorong manusia untuk memanfaatkan sumber energi terbarukan.

Kebutuhan energi yang semakin meningkat, mendorong Pemerintah terus berupaya melaksanakan percepatan pengembangan energi terbarukan di Indonesia terutama untuk mencapai target bauran energi terbarukan sebesar 23% pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050 dari bauran energi final sesuai dengan kebijakan energi nasional (Peraturan Pemerintah No.79 tahun 2014). Pemanfaatan sumber energi terbarukan memiliki peran aktif dalam menjawab permasalahan energi di masa yang akan datang. Energi terbarukan adalah energi yang berasal dari alam yang bersifat ramah lingkungan dan tidak akan habis seperti matahari, angin air,biomasa.

Energi surya adalah sumber energi yang ramah lingkungan dan ketersediaannya tidak akan pernah habis. Energi surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang perkembangannya cukup pesat didunia termasuk di Indonesia. Posisi Indonesia sebagai negara beriklim tropis yang mendapatkan sinar matahari sepanjang tahun merupakan anugrah yang harus dioptimalkan. Energi angin merupakan sumber energi terbarukan dan sangat potensial. Energi angin dianggap sebagai salah satu sumber energi paling praktis dan sempurna karena bebas emisi dan gratis.

Pemanfaatan musim sangat membantu dalam menghasilkan kombinasi energi angin dan matahari, kombinasi ini disebut tenaga hybrid, yang mana pada saat musim kemarau matahari akan lebih berperan, sedangkan pada musim hujan angin akan lebih berperan dalam menghasilkan sumber energi listrik. Kedua sumber energi ini bertujuan untuk saling melengkapi dalam optimalisasi energi listrik yang dihasilkan (Tharo, 2019). Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* (PLTH) merupakan pembangkit listrik yang terdiri dari dua atau lebih pembangkit dengan sumber energi yang berbeda. Misalnya seperti Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang dipadu dengan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) atau disebut *Hybrid PV-Bayu* (Hidayanti, Dewangga, M.P, Sarita, Sumarno, & W, 2019).

Panel surya merupakan perangkat yang mengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik dengan proses efek fotovoltaic, oleh karena nya dinamakan juga sel fotovoltaic (*Photovoltaic cell* – disingkat PV). Tegangan listrik yang dihasilkan oleh sebuah sel surya sangay kecil, sekitar 0,6 V tanpa beban atau 0,45 V dengan beban. Untuk mendapatkan tegangan listrik yang besar sesuai keinginan

diperlukan beberapa sel surya yang tersusun secara seri (Purwoto B. H., Jatmiko, F, & Huda, 2018)

Vertical axis wind turbine (VAWT) merupakan turbin angin dengan sumbu vertical atau tegak lurus dan rotor sejajar dengan arah angin, sehingga rotor dapat berputar pada semua arah mata angin. (VAWT) juga mempunyai beberapa kelebihan dan kekurangan. Kelebihannya, yaitu memiliki torsi tinggi sehingga dapat berputar pada kecepatan angin rendah, generator dapat ditempatkan di bagian bawah turbin sehingga mempermudah perawatan dan kerja turbin tidak dipengaruhi arah mata angin. Kekurangannya, yaitu kecepatan angin dibagian bawah sangat rendah sehingga apabila tidak memakai tower akan menghasilkan putaran rendah, dan efisiensi lebih rendah dibandingkan *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) (Tharo, 2019) . Dengan memanfaatkan kedua sumber ini, diharapkan dapat mewujudkan rencana pemerintah untuk menciptakan energi murah, optimal, efisien dan ramah lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas maka dapat dirumuskan suatu permasalahan yaitu :

1. Berapa daya yang dihasilkan vertikal axis wind turbine dan dan modul surya disaat melakukan pengisian baterai.
2. Berapa lama waktu yang dibutuhkan vertical axis wind turbine dan modul surya dalam melakukan pengisian baterai

3. Bagaimana pengujian kinerja pembangkit hybrid dengan variasi beban dan berapa lama optmisi pembangkit hybrid dapat beroperasi disaat baterai sudah terisi penuh.

1.3 Batasan Masalah

Pembatasan masalah dimaksudkan untuk membuat ruang lingkup permasalahan tidak terlalu luas dan lebih jelas penerangannya. Sehingga penelitian ini lebih terarah dan tidak menyimpang dari pokok permasalahan serta agar tujuan yang dikehendaki dapat tercapai. Pada penelitian ini terdapat beberapa batasan penelitian yaitu :

1. Hanya membahas berapa daya yang dihasilkan pembangkit listrik tenaga hybrid antara kombinasi solar panel dan vertical axis wind turbine dalam melakukan pengisian baterai
2. Hanya membahas bagaimana proses dan waktu yang dibutuhkan dalam pengisian energi ke baterai dari kombinasi solar panel dan vertical axis wind turbine
3. Hanya membahas pengujian optimasi kinerja pembangkit hybrid dengan menggunakan variasi beban dan berapa lama optmisi pembangkit hybrid dapat beroperasi disaat baterai sudah terisi penuh.
4. Tidak membahas RPM pada vertical axis wind turbine
5. Spesifikasi solar panel yang digunakan sebagai sumber energi berkapasitas 100 WP

6. Spesifikasi turbine yang digunakan sebagai sumber energi adalah vertical axis wind turbine

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disampaikan, tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memperoleh data berapa daya yang dihasilkan dari kombinasi antara solar panel dan adalah vertical axis wind turbine dalam melakukan pengisian baterai
2. Memperoleh data proses dan waktu yang dibutuhkan dalam pengisian energi ke baterai dari kombinasi solar panel dan vertical axis wind turbine.
3. Memperoleh data pengujian kinerja pembangkit hybrid dengan variasi beban dan berapa lama optimasi kinerja pembangkit listrik tenaga hybrid dapat beroperasi disaat baterai sudah terisi penuh

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menambah ilmu dan pengetahuan bagi penulis tentang pembangkit energi terbarukan (EBT) khususnya pembangkit listrik kombinasi tenaga surya dan tenaga angin
2. Mengoptimalkan kinerja pembangkit listrik hybrid dalam menghasilkan energi listrik dari kedua sumber energi

3. Mendukung pemerintah melaksanakan percepatan pengembangan energi terbarukan untuk mencapai target bauran terbarukan sebesar 23 % pada tahun 2025 dalam mengoptimalkan kombinasi antara solar panel dan vertical axis wind turbine
4. konsep kombinasi antara solar panel dan vertical axis wind turbine akan lebih mempercepat pengisian dan penyimpanan energi ke dalam baterai.
5. Aspek lingkungan yaitu dengan menggunakan pembangkit sistem hybrid yang energi listriknya berasal dari energi surya dan energi angin sehingga tidak menghasilkan gas emisi.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk memperoleh gambaran singkat dalam memudahkan pembaca memahami tulisan penelitian ini, maka perlu dijelaskan sistematika penulisan. Adapun penelitian ini disusun menurut sistematika sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Pada bab ini diuraikan tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan penjelasan tentang sistematika penulisan tugas akhir ini.

BAB II : DASAR TEORI

Pada bab pembahasan tentang teori teori yang mendasari dari judul yang diangkat oleh penulis berupa definisi-definisi atau model langsung berkaitan dengan ilmu atau masalah yang diteliti.

BAB III : METODE PENELITIAN

Pada bab metode penelitian berisi tentang metode atau cara yang dilakukan untuk memperoleh data yang kemudian dilakukan analisa dalam pembahasan.

BAB IV : HASIL PENELITIAN

Pada bab hasil penelitian ini merupakan proses analisa dari hasil data perhitungan dan pengukuran yang dilakukan dengan metode-metode yang telah ditetapkan.

BAB V : PENUTUP

Pada bab ini berisi kesimpulan memuat jawaban dari rumusan rumusan masalah dan bukti bukti pada hasil penelitian, apakah kegiatan yang dilakukan sudah memberikan manfaat nyata bagi objek peneliti serta saran perbaikan metode atau sistem yang dianjurkan dalam penelitian selanjutnya.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Energi Terbarukan

Energi terbarukan adalah energi yang berasal dari alam disekitar kita, beberapa contoh energi terbarukan adalah angin, air, geothermal, biomasa, dan matahari. Disebut energi terbarukan karena energi tersebut dapat memperbaharui energi itu sendiri dalam kurun waktu yang singkat tidak seperti energi fosil yang memerlukan waktu bertahun-tahun agar terbentuk energi lagi. Di Indonesia potensi energi terbarukan sangat besar karena posisi Indonesia sebagai negara beriklim tropis yang mendapatkan sinar matahari sepanjang tahun merupakan anugrah yang harus dioptimalkan. Untuk air Indonesia sebagian besar wilayahnya adalah perairan jadi sangat bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan energi. Energi terbarukan juga sangat ramah lingkungan karena tidak menghasilkan limbah yang dapat mencemarkan lingkungan.

2.2 Energi Surya

Energi surya merupakan energi yang sedang giat dikembangkan saat ini oleh pemerintah Indonesia karena sebagai negara tropis, Indonesia mempunyai potensi energi surya yang cukup besar. Energi surya sangat luar biasa karena tidak menimbulkan polusi, tidak dapat habis, dan gratis.

Indonesia terletak dikawasan khatulistiwa. Sinar surya rata-rata adalah 4000-5000 Wj/m², sedangkan rata-rata jumlah sinaran 4 hingga 8 jam. Indonesia mengalami jumlah hari hujan sekitar 170 hari pertahun dengan rata-rata suhu antara 26 sampai 32°C dan kelembapan relatif rata-rata 80 hingga 90% dan tidak pernah turun dibawah 60%. (Manab, 2016).

Pemanfaatan energi surya sangat potensial untuk dikelola dan dikembangkan lebih lanjut sebagai sumber cadangan energi terutama bagi negara-negara yang terletak di khatulistiwa termasuk Indonesia. Ada beberapa cara pemanfaatan energi panas matahari yaitu :

1. Pemanasan ruangan
2. Penerangan ruangan
3. Kompor matahari
4. Penengrangan hasil pertanian
5. Destilasi air kotor
6. Pemanasan air
7. Pembangkit listrik

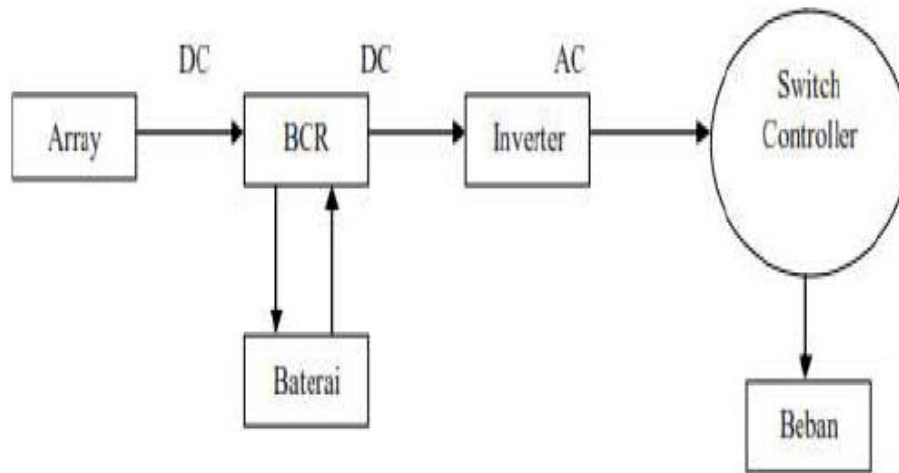
Sebagai negara tropis Indonesia mempunyai potensi energi surya yang tinggi. Berdasarkan data penyinaran matahari di indonesia dapat diklasifikasikan berturut-turut sebagai berikut: di Kawasan Barat Indonesia (KBI) sekitar 4,5 kWh/m²/hari dan di Kawasan Timur Indonesia (KTI) sekitar 5,1 kWh/m²/hari. Dengan demikian potensi penyinaran matahari di Indonesia yaitu rata-rata sebesar 4,8 kWh/m²/hari.

Dengan berlimpahnya energi surya tersebut maka pengembangan pembangkit listrik tenaga surya sebagai salah satu sumber tenaga listrik yang bebas polusi dan alami menjadi suatu pilihan yang tepat untuk diterapkan di Indonesia (Manab, 2016).

2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit listrik tenaga surya atau sering disebut solar cell adalah suatu teknologi pembangkit listrik yang mengkonversikan energi foton dari surya menjadi energi listrik. Konversi ini dilakukan pada panel surya yang terdiri dari sel-sel surya photovoltaic. Sel-sel ini merupakan lapisan-lapisan dari silikon (Si) murni atau bahan semikonduktor lainnya yang diproses sedemikian rupa, sehingga apabila bahan tersebut mendapat energi foton akan mengeksitasi elektron dari ikatan atomnya menjadi elektron yang bergerak bebas, dan akan menghasilkan tegangan listrik arus searah (DC). (Herki Desrizal, 2018) .

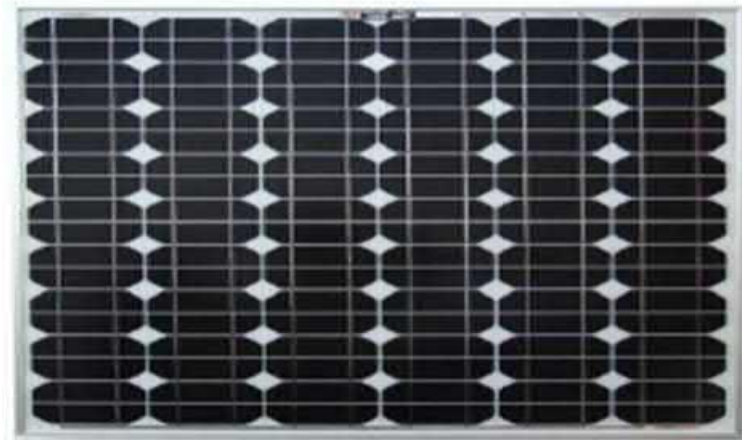
Konsep pembangkit listrik tenaga surya itu sederhana yaitu mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Sumber daya alam matahari ini sudah banyak digunakan untuk memasok daya listrik di satelit komunikasi melalui sel surya. Sel surya ini dapat menghasilkan energi listrik dengan jumlah yang tidak terbatas langsung diambil dari matahari dan dapat dirancang untuk mencatu kebutuhan listrik yang kecil dan yang besar, baik secara mandiri maupun hybrid (dikombinasikan dengan sumber energi lain) baik dengan metode Desentralisasi (satu rumah satu pembangkit) maupun dengan metode Sentralisasi (listrik didistribusikan dengan jaringan kabel) (Hafid, Abidin, Husain, & Umar, 2017).



Gambar 2. 1 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya
 (Sumber : (Hafid, Abidin, Husain, & Umar, 2017, hal. 7))

2.3.1 Panel Surya

Panel surya atau modul surya adalah kumpulan sel-sel surya yang dirangkai sedemikian rupa (seri atau paralel) sesuai dengan keperluan yang berfungsi merubah cahaya matahari menjadi energi listrik arus searah (DC). Bentuk moduler dari modul surya memberikan kemudahan pemenuhan kebutuhan listrik untuk berbagai skala kebutuhan. Kebutuhan kecil dapat dicukupi dengan satu atau dua modul, dan kebutuhan besar dapat dicatu oleh ribuan modul surya yang dirangkai menjadi satu buah modul surya yang umumnya terdiri dari 36 buah solar cell.

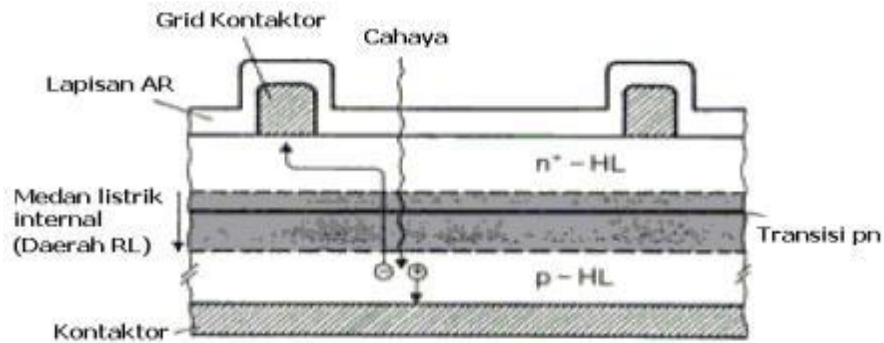


Gambar 2. 2 Panel Surya
(Sumber : (Hilmansyah & Ramli, 2017, hal. 91))

Ada 5 hal yang akan dibahas berkaitan dengan panel surya, antara lain struktur panel surya, cara kerja sel surya, jenis-jenis sel surya, karakteristik sel surya, dan faktor-faktor yang mempengaruhi sel surya. Berikut ini penjelasan mengenai kelima hal tersebut.

a) Struktur Sel Surya

Sel surya terdiri dari bahan semikonduktor yang dapat mengubah sinar matahari secara langsung menjadi energi listrik atau umumnya disebut dengan photovoltaic. Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, jenis teknologi sel surya juga berkembang dengan berbagai inovasi. Ada yang disebut sel surya generasi satu, dua, tiga, dan empat dengan struktur atau komponen sel yang berbeda-beda. Sel surya yang umumnya digunakan di pasaran saat ini adalah sel surya berbasis material silikon yang juga secara umum mencakup struktur dan cara kerja sel surya generasi pertama (sel surya silikon).



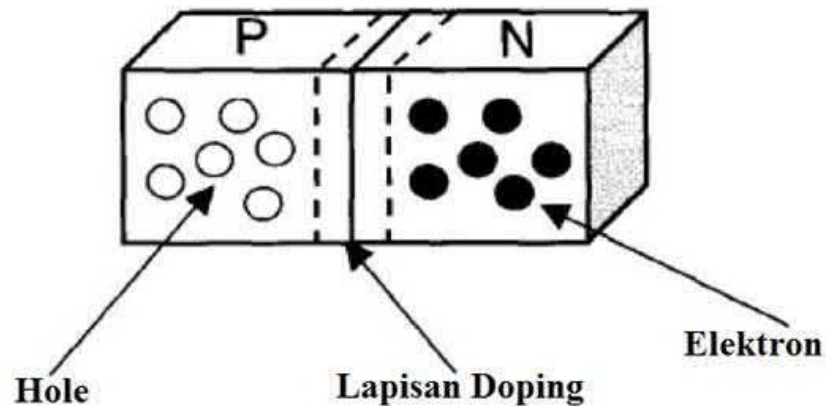
Gambar 2. 3 Penampang Panel Surya
 (Sumber : (Alifyanti & Tambunan, 2016, hal. 82))

Gambar diatas menunjukkan ilustrasi sel surya dan bagian-bagiannya. Umumnya terdiri dari bahan semikonduktor. Bahan semikonduktor adalah inti sel surya, yang biasanya mempunyai ketebalan mencapai beberapa ratus mikrometer. Bahan semikonduktor ini digunakan untuk menyerap cahaya dari sinar matahari. Bagian semikonduktor terdiri dari. Bagain semikonduktor terdiri dari junction atau gabungan dua bahan semikomduktor yaitu semikonduktor tipe-n dan tipe-p yang membentuk p-n junction. P-n junction ini menjadi kunci dari prinsip sel surya.

b) Cara Kerja Sel Surya

dasar dari prisnsip kerja sel surya adalah p-n junction, yaitu junction antara semikonduktor tipe-p dan tipe-n. Semikonduktor ini terdiri dari ikatan-ikatan

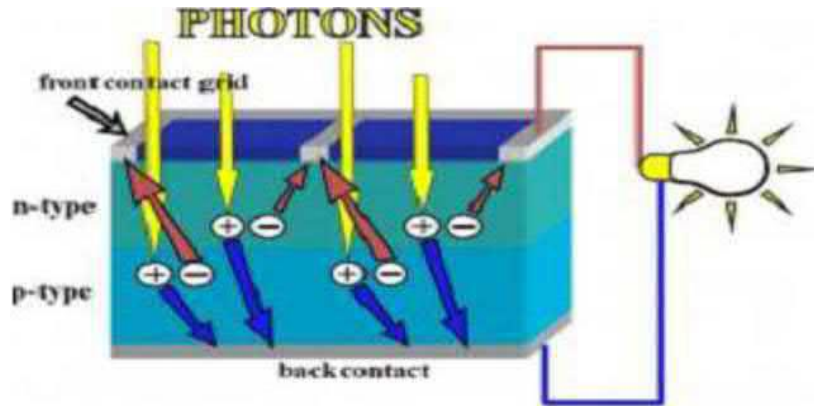
atom dimana terdapat elektron sebagai penyusun dasar. Semikonduktor tipe-n mempunyai kelebihan elektron (muatan negatif) sedangkan semikonduktor tipe-p mempunyai kelebihan hole (muatan positif) dalam struktur atomnya. Kondisi kelebihan elektron dan hole tersebut bisa terjadi dengan mendoping material dengan atom dopant.



Gambar 2. 4 Junction Semikonduktor Tipe-P Dan Tipe-N
(Sumber : (Fitriyah, 2019, hal. 17))

Fungsi dari p-n junction ini adalah untuk membentuk medan listrik sehingga elektron dan hole dapat diekstraksi oleh material kontak untuk menghasilkan listrik. Ketika semikonduktor tipe-p dan tipe n terhubung, maka kelebihan elektron akan bergerak dari semikonduktor tipe-n ke tipe-p sehingga membentuk kutub pada semikonduktor tipe-p. Akibat dari aliran elektron dan hole ini terbentuk medan listrik dan ketika cahaya matahari mengenai susunan p-n junction ini maka akan mendorong elektron bergerak dari semikonduktor menuju

kontak negatif, yang kemudian akan dimanfaatkan sebagai listrik . dan sebaliknya hole bergerak menuju kontak positif menunggu elektron datang, seperti gambar di bawah ini



Gambar 2. 5 Ilustrasi Cara Kerja Sel Surya
(Sumber : (Alifyanti & Tambunan, 2016, hal. 85))

c) Jenis-Jenis Sel Surya

Jenis-Jenis sel surya diklasifikasikan berdasarkan teknologi pembuatannya. Secara garis besar sel surya dibagi menjadi tiga jenis, yaitu *monocrystalline*, *polycrystalline*, dan *thin film solar cell (TFSC)*. Berikut ini penjelasan dari ketiga sel surya tersebut.

1) Monokristal (*Mono-crystalline*)

Merupakan panel surya yang paling efisien yang dihasilkan dengan teknologi terkini dan menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi.

Monokristal dirancang untuk penggunaan yang memerlukan konsumsi listrik besar pada tempat-tempat yang beriklim ekstrim dan dengan kondisi alam yang ganas. Panel ini memiliki efisiensi mencapai hingga 15%. Kelemahan dari panel ini adalah tidak akan berfungsi dengan baik di tempat yang cahaya matahari kurang (teduh), dan efisiensinya akan berkurang drastis jika dalam cuaca yang mendung. (Purwoto B. H., Jamiko, F., & Huda, 2018)

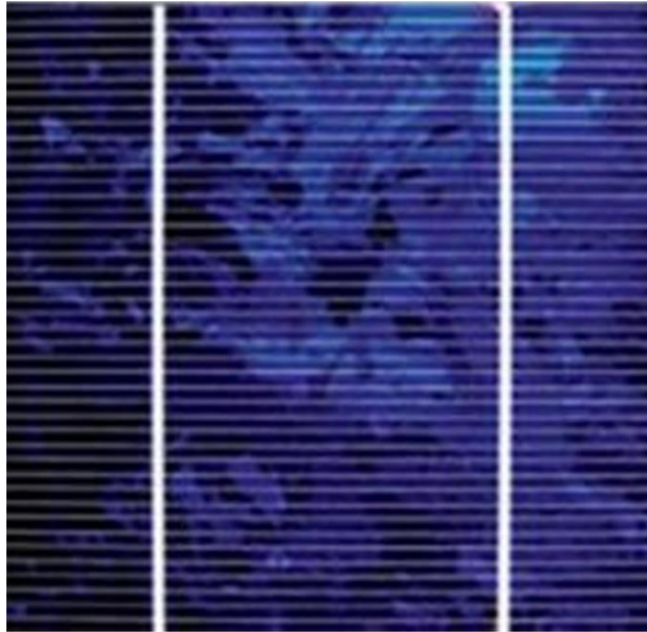


Gambar 2. 6 Monokristal
(Sumber : (Pasaribu & Reza, 2021, hal. 48))

2) Polikristal (*Poly-crystalline*)

Merupakan panel surya yang memiliki susunan kristal acak karena diproduksi melalui proses pengecoran. Tipe ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang

sama. Panel surya jenis ini memiliki efisiensi lebih rendah, sekitar 13% - 16% dibandingkan tipe monokristal, sehingga memiliki harga yang cenderung lebih rendah dan panel jenis ini paling banyak dipakai saat ini. (Purwoto B. H., Jamiko, F, & Huda, 2018)

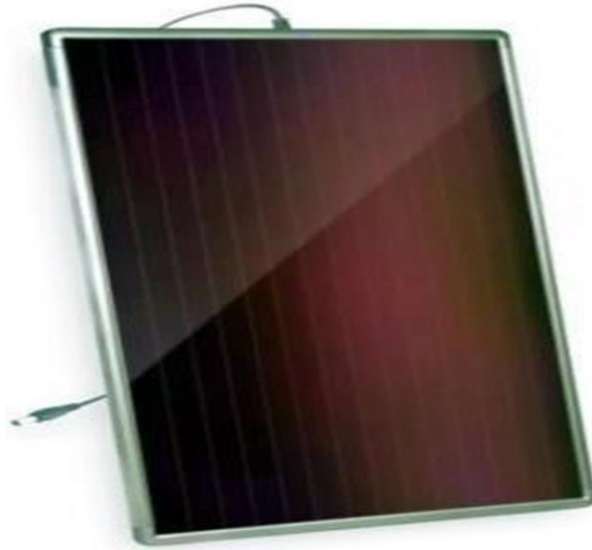


Gambar 2. 7 Polikristal
(Sumber : (Pasaribu & Reza, 2021, hal. 48))

3) *Thin Film Solar Cell (TFSC)*

Merupakan panel surya (dua lapisan) dengan struktur lapisan mikrokristal-silicon dan amorphous dengan efisiensi modul hingga 8,5 % sehingga untuk luas permukaan yang diperlukan per watt daya yang dihasilkan lebih besar dari pada monokristal dan polikristal. Inovasi terbaru dari jenis panel ini adalah (tiga

lapisan) dapat berfungsi dengan sangat efisien di udara yang sangat berawan dan dapat menghasilkan daya listrik sampai 45% lebih tinggi dari jenis lain dengan peringkay daya yang setara. Jenis ini juga dikenal dengan nama *Thin Film Photovoltaic* (TFPV) (Purwoto B. H., Jamiko, F, & Huda, 2018).

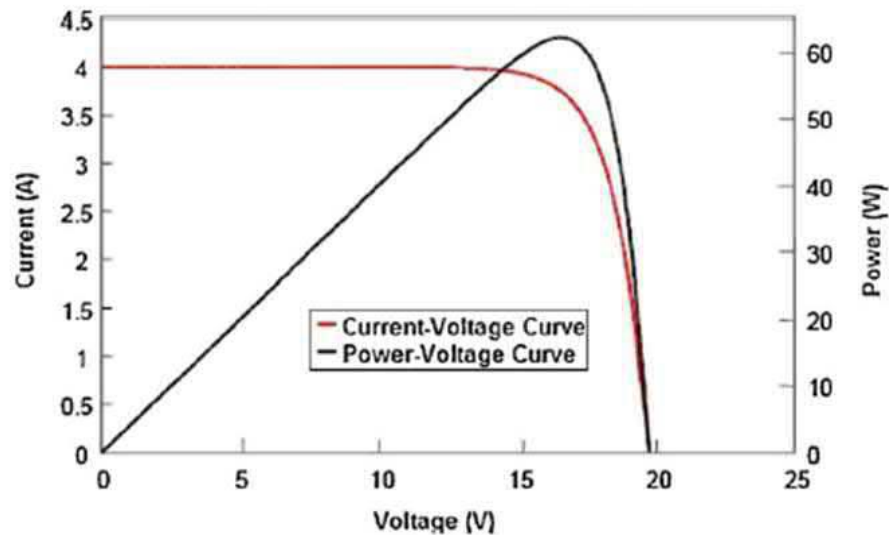


Gambar 2. 8 Thin Film Photovoltaic (TFPV)
(Sumber : (Pasaribu & Reza, 2021, hal. 48))

d) Karakteristik Sel Surya

Total pengeluaran listrik (wattage) dari solar cell panel adalah sebanding dengan voltase/tegangan operasi dikalikan dengan arus operasi saat ini. Solar panel dapat menghasilkan arus voltase yang berbeda-beda. Hal ini berbeda dengan baterai, yang menghasilkan arus voltage yang relatif konstan.

Karakteristik output dari solar cell dapat dilihat dari kurva performansi disebut I-V curve I-V curve menunjukkan antar arus voltase.



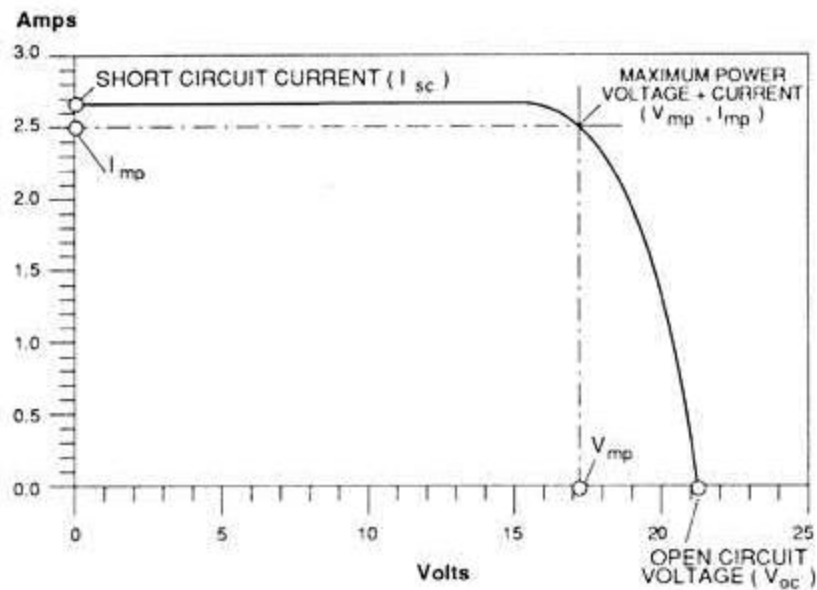
Gambar 2. 9 Kurva I-V
(Sumber (Fitriyah, 2019, hal. 21))

Gambar diatas menunjukkan tipikal kurva I-V. Voltase (V) merupakan sumbu horizontal, Arus (I) merupakan sumbu vertikal. Kebanyakan kurva I-V diberikan dalam Standard Test Conditions (STC) 1000 watt per meter persegi radiasi (atau biasa disebut satu matahari puncak/ one peak sun hour) dan 25 derajat Celcius/ 77 derajat Fahrenheit suhu solar panel. Sebagai keterangan STC mewakili kondisi optimal pada lingkungan laboratorium. (Fitriyah, 2019).

Kurva I-V terdiri dari 3 hal penting yaitu *Maxium Powe Point (Vmp & Imp)*, *Open Circuit Voltage (Voc)*, dan *Short Circuit Current (Isc)*. Berikut ini penjelasan mengenai ketiganya:

1) *Maxium Power Point (Vmp & Imp)*

Pada kurva I-V Maksimum Power Point V_{mp} dan I_{mp} merupakan titik operasi, dimana maksimum output yang dihasilkan oleh solar cell saat kondisi operasional, dengan kata lain, V_{mp} dan I_{mp} dapat diukur pada saat solar panel diberi beban pada 25 derajat Celcius dan radiasi 1000 watt per meter persegi. Pada kurva diatas voltase 17 volts adalah V_{mp} , dan I_{mp} adalah 2,5 ampere. Jumlah watt pada batas maksimum ditentukan dengan mengalikan V_{mp} dan I_{mp} maksimum jumlah watt pada STC adalah 43 watt. Output berkurang sebagaimana voltase menurun. Arus dan daya output dari kebanyakan modul solar panel menurun sebagaimana tegangan/voltase meningkat melebihi maxium power point.



Gambar 2. 10 Modul I-V curve (12V DC nominal)
(Sumber : (Fitriyah, 2019, hal. 22))

2) *Open Circuit Voltage*

Open Circuit Voltage (Voc), adalah kapasitas tegangan maksimum yang dapat dicapai pada saat tidak adanya arus (current). Pada kurva I-V, Voc adalah 21 volts. Daya pada saat Voc adalah 0 watt.

Voc solar cell panel dapat diukur di lapangan dalam berbagai macam keadaan. Saat membeli modul, sangat direkomendasikan untuk menguji voltase agar mengetahui apakah cocok dengan spesifikasi pabrik. Saat menguji voltase dengan multimeter digital dari terminal positif ke terminal negatif. Open Circuit Voltage (Voc) dapat diukur pada pagi hari dan sore hari.

3) *Short Circuit Current (Isc)*

Short Circuit Current (Isc) adalah maksimum output arus dari solar cell panel yang dapat dikeluarkan (output) di bawah kondisi dengan tidak ada resistansi atau short circuit. Pada kurva I-V di atas menunjukkan perkiraan arus 2,65 ampere. Daya pada Isc adalah 0 watt. Short circuit current dapat diukur hanya pada saat membuat koneksi langsung terminal positif dan negatif dari modul solar cell panel. (Fitriyah, 2019)

e) Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Sel Surya

tiga hal yang mempengaruhi kinerja dari modul surya yaitu resistansi beban, intensitas cahaya matahari, dan sudut tangkap. Berikut ini penjelasan mengenai tiga hal tersebut.

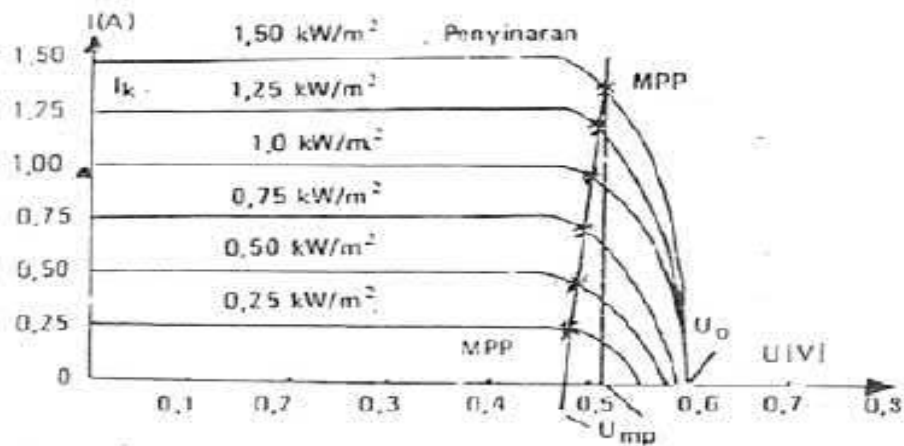
1) Resistansi Beban

Tegangan baterai merupakan tegangan operasi dari solar cell, jika baterai dihubungkan langsung dengan dengan solar cell. Sebagai contoh, umumnya baterai 12 volt, tegangan baterai biasanya antara 11,5 sampai 15 volts. Untuk dapat mencharge baterai, solar cell harus beroperasi pada voltase yang lebih tinggi dari pada voltase baterai bank.

Efisiensi paling tinggi adalah saat solar panel beroperasi dekat pada maxium power point. Pada contoh diatas tegangan baterai harus mendekati tegangan V_{mp} . Jika tegangan menurun di bawah V_{mp} , ataupun meningkat diatas V_{mp} , maka efisiensinya berkurang.

2) Intensitas Cahaya Matahari

Semakin besar intensitas cahaya surya secara proporsional akan menghasilkan arus yang besar. Seperti dalam gambar berikut, tingkat cahaya matahari menurun, bentuk dari kurva I-V menunjukkan hal yang sama, tetapi bergerak ke bawah yang menandakan menurunnya arus dan daya. Sedangkan tegangan tidak berubah dengan berbagai macam intensitas matahari.



Gambar 2. 11 Pengaruh Intensitas Matahari Terhadap Daya Solar Cell
 (Sumber : (Fitriyah, 2019, hal. 25))

3) Sudut Tangkap

Besarnya sudut tangkap pada panel surya mempengaruhi kinerja pada sel surya. Mempertahankan sinar matahari jatuh ke sebuah permukaan panel surya, secara tegak lurus akan mendapatkan energi maksimum $\pm 1000 \text{ W/m}^2$. Apabila tidak mempertahankan posisi tegak lurus solar panel dengan sinar matahari maka bidang panel surya diletakkan pada equator (latitude 0°), yang diletakkan mendatar (tilt = 0°) akan menghasilkan energi yang maksimal. Sedangkan untuk lokasi dengan latitude berbeda harus dicarikan “tilt angle” yang optimum.

2.3.2 Solar Charge Controller

Solar Charge Controller merupakan salah satu komponen didalam sistem pembangkit listrik tenaga surya, berfungsi sebagai pengatur arus listrik terhadap arus yang masuk dari panel surya maupun arus beban keluar yang digunakan. Bekerja

untuk menjaga baterai dari pengisian yang berlebihan. *Solar Charge Controller* juga mengatur tegangan dan arus dari panel surya ke baterai. Sebagian besar panel surya 12 Volt menghasilkan tegangan keluaran mencapai sekitar 16 sampai 20 volt DC, jadi jika tidak ada pengaturan, maka baterai akan rusak dari pengisian tegangan yang berlebihan. Pada umumnya baterai 12 volt membutuhkan tegangan pengisian sekitar 13 – 14,8 volt (tergantung tipe baterai) untuk dapat terisi penuh. (Purwoto B. H., Jamiko, F, & Huda, 2018)

Berikut ini fungsi dan *mode charging solar charge controller* adalah sebagai berikut

a) Fungsi *Solar Charge Controller* :

- 1) Saat tegangan pengisian di baterai telah mencapai keadaan penuh, maka *controller* akan menghentikan arus listrik yang masuk ke dalam baterai untuk mencegah pengisian yang berlebihan. Dengan demikian ketahanan baterai akan jauh lebih tahan lama. Di dalam kondisi ini, listrik yang tersuplai dari Panel Surya akan langsung terdistribusi ke beban /peralatan listrik dalam jumlah tertentu sesuai dengan konsumsi daya peralatan listrik.
- 2) Saat tegangan di baterai dalam keadaan hampir kosong, maka *controller* berfungsi menghentikan pengambilan arus listrik dari baterai oleh beban atau peralatan listrik. Dalam kondisi tegangan tertentu (umumnya sekitar 10% sisa tegangan di baterai), maka pemutusan arus beban dilakukan oleh *controller*. Hal ini menjaga baterai dan mencegah kerusakan pada sel-sel baterai, pada kebanyakan model *controller*, indikator lampu akan menyala dengan warna tertentu (umumnya

berwarna merah atau kuning yang menunjukkan bahwa baterai dalam proses pengisian. Dalam kondisi ini, bila sisa arus di baterai kosong (dibawah 10%), maka pengambilan arus listrik dari baterai akan diputus *controller*, maka peralatan listrik atau beban yang digunakan tidak dapat beroperasi. Pada *controller* tipe- tipe tertentu dilengkapi dengan digital meter dengan indikator yang lebih lengkap, untuk memonitor berbagai macam kondisi yang terjadi pada sistem pembangkit listrik tenaga surya.

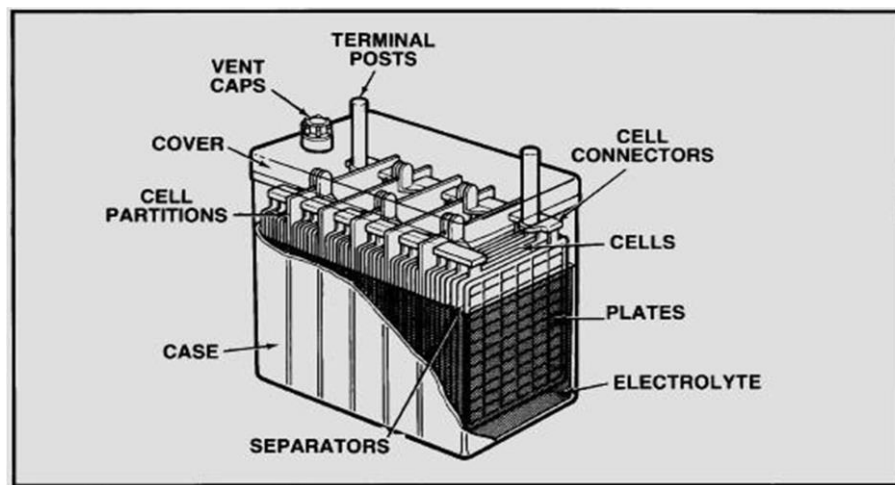
b) Mode *Charging Solar Charge Controller* :

- 1) *Fase bulk* : fase pengisian tegangan baterai, pada fase ini baterai diisi dengan setup tegangan antara 14.4-14.6 Volt agar tidak terjadi drop tegangan dan arus diambil secara maksimum dari panel surya.
- 2) *Fase absorption* : fase penyerapan tegangan dari fase bulk, pada fase ini tegangan dan arus baterai akan menurun secara bertahap ketika baterai sudah mencapai kapasitasnya.
- 3) *Fase float* : fase pelepasan arus ke beban. Pada fase ini baterai akan dijaga pada tegangan float setting (umumnya 13.4-13.7 Volt). Beban yang terhubung ke baterai dapat menggunakan arus maksimum dari panel surya/*solar cell*. (Fitriyah, 2019)

2.3.3 Baterai

Baterai atau akkumulator merupakan perangkat yang mengandung sel listrik yang dapat menyimpan energi dan dapat dikonversikan menjadi daya. Baterai

menghasilkan listrik melalui proses kimia. Pada bagian dalam baterai berlangsung proses elektrokimia yang reversible (dapat berkebalikan) dengan efisiensi yang tinggi. Yang dimaksud dengan reaksi elektrokimia reversible adalah di dalam baterai dapat berlangsung proses perubahan kimia menjadi tenaga listrik (proses pengosongan) dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi tenaga kimia (proses pengisian) dengan cara proses regenerasi dari elektroda-elektroda yang dipakai yaitu dengan melewati arus listrik dalam arah polaritas, yang berlawanan di dalam sel. Output listrik dari baterai adalah listrik DC. (Pasaribu & Reza, 2021)



Gambar 2. 12 Konstruksi Baterai
Sumber (Pasaribu & Reza, 2021, hal. 48)

Baterai berfungsi menyimpan arus listrik yang dihasilkan oleh modul surya sebelum dimanfaatkan untuk menggerakkan beban. Ukuran baterai yang dipakai sangat tergantung pada ukuran panel dan *vertikal axis wind turbine*. Ukuran baterai yang terlalu besar baik untuk efisiensi operasi tetapi mengakibatkan kebutuhan investasi yang terlalu besar. Sebaliknya ukuran baterai terlalu kecil dapat

mengakibatkan tidak tertampungnya daya yang lebih. Baterai tersebut mengalami proses siklus menyimpan dan mengeluarkan, tergantung pada ada atau tidak adanya sinar matahari dan angin. Selama adanya matahari dan angin, panel surya dan *vertikal axis wind turbine* menghasilkan daya listrik.

Daya yang tidak digunakan dengan segera dipergunakan untuk mengisi baterai. Selama waktu tidak adanya matahari atau angin, maka suplai daya listrik disediakan oleh baterai. Kapasitas suatu baterai adalah menyatakan besarnya arus listrik (Ampere) baterai yang dapat disuplai/dialirkan ke suatu rangkaian luar atau beban dalam jangka waktu (jam) tertentu, untuk memberikan tegangan tertentu. Kapasitas batere (Ah) dinyatakan sebagai berikut :

$$C = I \times T$$

Dimana :

C = Kapasitas Baterai (Ah)

I = Besar arus yang mengalir (A)

T = Waktu (Jam)

2.3.4 Inverter

Inverter adalah perangkat elektronika yang digunakan untuk mengubah tegangan DC (*Direct Current*) menjadi tegangan AC (*Alternating Current*). Atau lebih tepatnya inverter memindahkan tegangan dari sumber DC ke beban AC. Sumber tegangan input inverter dapat menggunakan battery, tenaga surya, atau sumber tegangan DC yang lain. Berdasarkan gelombang keluaran yang dihasilkan, inverter dapat dibagi menjadi 3 macam yaitu *square wave*, *modified sine wave*, dan *pure sine wave* (Purwoto B. H., Jamiko, F, & Huda, 2018).

1. *Square Wave*

Inverter ini adalah yang paling sederhana. Walaupun inverter jenis ini dapat menghasilkan tegangan 220V AC, 50 Hz namun kualitasnya sangat buruk. Sehingga hanya dapat digunakan pada beberapa alat listrik saja. Hal ini disebabkan karena karakteristik output inverter ini adalah memiliki level *total harmonic distortion* yang tinggi.

2. *Modified Sine Wave*

Modified Sine Wave disebut juga *Modified Square Wave* atau *Quasy Sine Wave* karena gelombang *modified sine wave* hampir sama dengan *square wave*, namun pada *modified sine wave* outputnya menyentuh titik 0 untuk beberapa saat sebelum pindah ke positif atau negatif. Selain itu karena *modified sine wave* mempunyai *harmonic distortion* yang lebih sedikit dibanding *square wave* maka, dapat dipakai untuk beberapa peralatan listrik

seperti komputer, tv dan lampu. Namun tidak bisa untuk beban-beban yang lebih sensitif.

3. *Pure Sine Wave*

Pure Sine Wave atau *true sine wave* merupakan gelombang inverter yang hampir menyerupai gelombang sinusoida sempurna, Dengan *total harmonic distortion* (THD) < 3%. Sehingga cocok untuk semua alat elektronika. Oleh sebab itu inverter ini juga disebut *clean power supply*. Teknologi yang digunakan inverter jenis ini umumnya disebut *pulse width modulation* (PWM) yang dapat mengubah tegangan DC menjadi AC dengan bentuk gelombang yang hampir sama dengan gelombang sinusoida.



Gambar 2. 13 Inverter

Sumber : (Ariantol, Wijaya, Dudik, Sirojuddin, & Arista, 2017, hal. 3)

2.4 Tenaga Bayu

Angin adalah udara yang bergerak dari suatu tempat dengan tekanan udara yang lebih tinggi ke suatu tempat dengan tekanan udara yang lebih rendah. Pada wilayah yang panas tekanan uaranya lebih rendah karena di wilayah tersebut menjadi mengembang dan menjadi ringan. Udara yang ringan itu bergerak naik ke atas menuju ke wilayah yang lebih dingin sehingga udara menjadi dingin dan kembali menjadi berat, maka udara yang telah dingin akan bergerak ke bawah, dengan demikian terjadi siklus perputaran udara dan pergerakan udara atau angin kemampuan udara tersebut disebut dengan energi angin.

Indonesia memiliki potensi besar dalam mengembangkan energi terbarukan, seperti energi angin 950 megawatt, energi surya 11 gigawatt, energi air 75 gigawatt, energi biomassa 32 megawatt, energi biofuel 32 megawatt, potensi energi laut 60 megawatt dan sekitar 29 gigawatt energi gas potensial (Ditjen EBTKE, 2016). Energi angin adalah sumber utama sumber daya energi yang ramah lingkungan dan telah menjadi salah satu sumber energi terbarukan yang paling umum digunakan baru-baru ini dan gratis untuk semua. Oleh karena itu, pemerintah Indonesia dengan kebijakan dan peraturan terkait dengan energi terbarukan adalah tanda yang sangat baik untuk pengembangan dan pemanfaatan energi angin di Indonesia. (Muthar, 2019)

Pada saat angin bertiup, angin disertai dengan energi kinetik (gerakan) yang bisa melakukan suatu pekerjaan. Energi kinetik adalah energi akibat sebuah massa mempunyai kecepatan relatif, contohnya sebuah mobil yang bergerak atau roda daya yang berputar. Energi angin akibat dari pergerakan angin dapat dikonversikan

menjadi energi mekanik dengan menggunakan kincir angin atau menjadi energi elektrik dengan menggunakan turbin angin yang disebut juga Sistem Konversi Energi Angin (SKEA).

Besarnya energi yang dapat ditransferkan ke rotor tergantung pada massa jenis udara, luas area dan kecepatan angin . Energi kinetic untuk suatu massa angin m yang bergerak dengan kecepatan v yang nantinya akan diubah menjadi energi poros dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$E = \frac{1}{2}mv^2$$

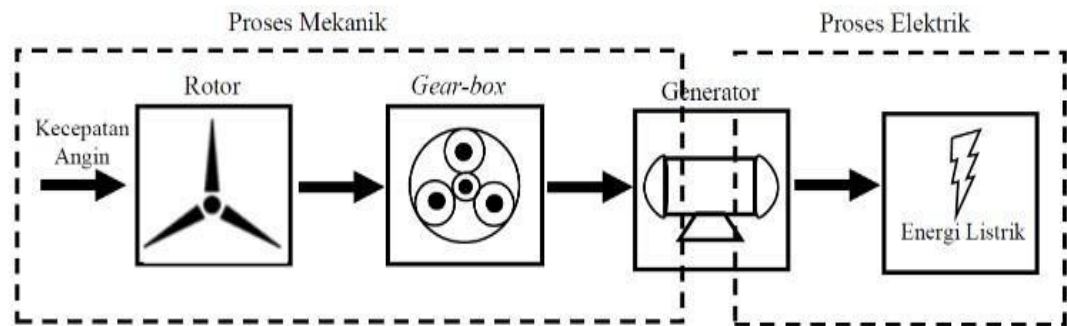
Dimana :

m = massa udara yang bergerak (Kg)

v = kecepatan angin (m/s)

2.5 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTB) adalah suatu teknologi pembangkit listrik yang mengubah energi angin menjadi energi listrik. Angin adalah udara yang bergerak, sehingga memiliki kecepatan, tenaga dan arah. Penyebab dari pergerakan ini adalah pemanasan bumi oleh radiasi matahari Pembangkit listrik tenaga bayu mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik oleh turbin dan diubah lagi menjadi energi listrik oleh generator dengan memanfaatkan kecepatan angin yang menggerakkan turbin.



Gambar 2. 14 PLTB Secara Umum
 Sumber : (Basri & Djaman, 2019, hal. 209)

PLTB mempunyai dua komponen utama yaitu turbin angin dan generator. Turbin angin digunakan untuk mengubah tenaga angin menjadi tenaga mekanik berupa putaran pada rotor untuk memutar generator. Pada saat yang sama, generator akan bertindak sebagai mesin untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Performa sistem PLTB ini adalah salah satu sistem yang dipengaruhi oleh faktor faktor seperti efisiensi generator. (Putra, Kananda, S.T.M.T., & Muhtar, S.Pd., 2019)

2.5.1 Turbin Angin

Turbin angin merupakan bagian dari sistem PLTB yang mengubah energi angin menjadi energi mekanik. Perubahan energi ini terjadi karena bentuk turbin seperti baling-baling. Turbin angin dapat berputar ketiga angin bergerak ke area turbin sebagai pendorong turbin. Putaran dari baling baling tersebut dimanfaatkan untuk memutar rotor pada generator. (Basri & Djaman, 2019)

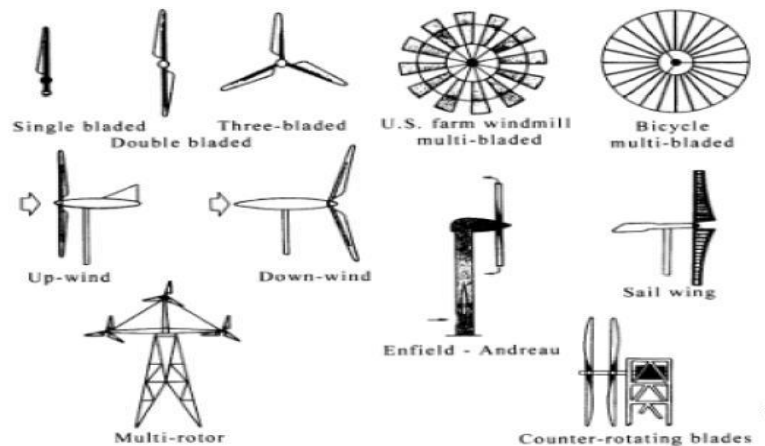
Berdasarkan putaran pada rotor, turbin angin mempunyai dua jenis, yaitu turbin angin horizontal dan turbin angin vertikal. Turbin angin horizontal mempunyai

rotor arah dari putarannya sejajar arah angin yang datang, sedangkan turbin angin vertikal mempunyai rotor yang berlawanan dengan arah angin. Prinsip gaya pada sumbu horizontal adalah gaya angkat (lift) dan gaya dorong (drag), sedangkan pada sumbu vertikal hanya gaya dorong (drag) saja. (Putra, Kananda, S.T.M.T., & Muhtar, S.Pd., 2019)

berikut adalah beberapa jenis turbin sumbu angin:

a) *Horizontal Axis Wind Turbin* (HAWT)

Turbin angin sumbu horizontal adalah turbin sumbu angin yang paling umum dipakai pada saat ini, pada turbin sumbu tipe ini memiliki sumbu horizontal yang terhubung pada rotor dan generator pada puncak menara. Turbin sumbu horizontal akan berputar saat angin menabrak turbin sumbu dari arah depan, dan turbin sumbu ini dilengkapi dengan ekor turbin sumbu yang berfungsi untuk membantu generator bergerak menyesuaikan arah angin yang berhembus dengan kecepatan yang paling tinggi. Jenis turbin sumbu horizontal ini memerlukan menara yang tinggi untuk mendapatkan kecepatan angin yang maksimal. (Haikal, 2021)



Gambar 2. 15 Bentuk-Bentuk Kincir Angin Poros Horizontal

Sumber : (Tuapetel, Triprayoga, & Santika, 2019, hal. 48)

Turbin angin sumbu horisontal memiliki kelebihan, yaitu :

- a. Dasar menara yang tinggi memungkinkan akses ke angin yang memiliki kecepatan lebih tinggi.
- b. Efisiensi lebih tinggi, karena blades selalu bergerak tegak lurus terhadap arah angin, menerima daya sepanjang putaran.

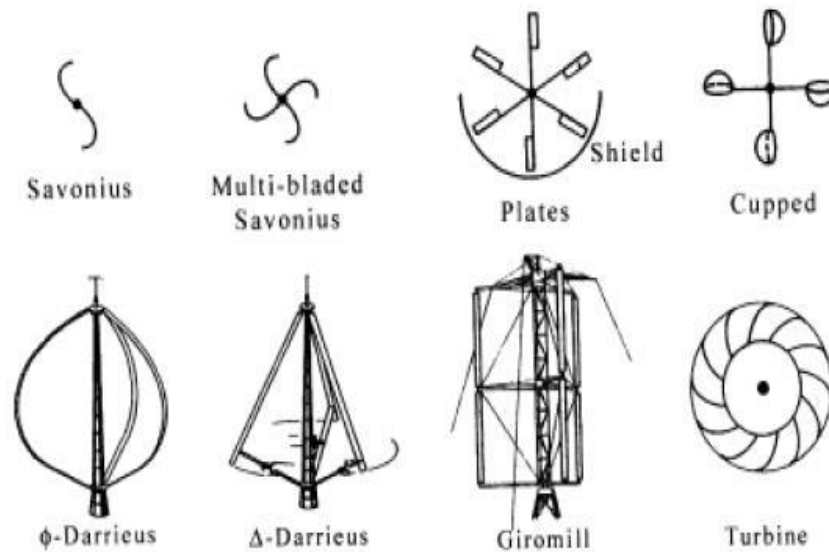
Sedangkan kekurangan dari turbin angin sumbu horisontal ini adalah :

- a. Konstruksi menara harus kuat untuk menyangga beban *blade*, generator dan gearbox yang berat.
- b. Saat pemasangan turbin angin sumbu horisontal, komponen seperti *blade*, gearbox, dan generator harus di angkat ke posisinya di atas sehingga pemasangannya sulit.

- c. Ukuran turbin angin sumbu horisontal cenderung tinggi sehingga mengganggu pandangan dan estetika secara umum.
- d. Membutuhkan mekanisme kontrol tambahan untuk mengarahkan *blade* turbin ke arah angin.

b) *Vertical Axis Wind Turbin* (VAWT)

Turbin sumbu angin sumbu vertikal merupakan turbin sumbu angin dengan sumbu rotor yang dipasang dengan tegak lurus, sumbu vertikal pada rotor utama akan lebih memungkinkan turbin sumbu dapat menerima dan menangkap angin dari segala penjuru arah angin. Kelebihan turbin sumbu sumbu vertikal akan berguna pada wilayah yang memiliki keadaan angin yang sering berganti-ganti atau bervariasi sehingga lebih efisien dalam memanfaatkan energi angin dan sangat cocok untuk konstruksi pembangkit listrik pada daerah pesisir pantai. Pada turbin sumbu sumbu vertikal konstruksi menara tidak diperlukan karena generator dapat ditempatkan lebih dekat dari permukaan tanah dan lebih memudahkan dalam segi perawatan. (Haikal, 2021)



Gambar 2. 16 Bentuk-Bentuk Kincir Angin Poros Vertikal
 Sumber : (Tuapetel, Triprayoga, & Santika, 2019, hal. 48)

Turbin angin sumbu vertikal memiliki kelebihan, yaitu :

- a. Tidak memerlukan mekanisme sistem *yaw*, karena turbin angin sumbu vertikal dapat berputar tanpa harus diarahkan ke arah angin berhembus.
- b. Turbin angin sumbu vertikal bisa diletakkan di dekat permukaan tanah, sehingga lebih mudah dalam proses perawatan dan perbaikannya.
- c. Turbin angin sumbu vertikal memiliki *tip speed ratio* (perbandingan antara kecepatan putaran dari ujung *blade* dengan laju aliran angin) yang lebih rendah jika dibandingkan dengan turbin angin sumbu horisontal, sehingga kemungkinan rusak lebih kecil jika dibandingkan dengan turbin angin sumbu horisontal.

- d. Turbin angin sumbu vertikal bias ditempatkan di lokasi di mana struktur tinggi dilarang karena tidak memerlukan tower penyangga yang tinggi.

Dari kelebihan yang telah disebutkan di atas, turbin angin sumbu vertikal juga memiliki kekurangan yaitu :

- a. Turbin angin sumbu vertikal memiliki penurunan efisiensi jika dibanding dengan turbin angin sumbu horisontal, terutama karena hambatan tambahan yang mereka miliki seperti angin yang menabrak bagian belakang dari *blade* turbin.
- b. Memiliki posisi dekat dengan permukaan tanah sehingga, tidak memanfaatkan kecepatan angin yang tinggi di atas. (10 meter di atas permukaan tanah kenaikan kecepatan angin sekitar 20 %).
- c. Turbin angin sumbu vertikal memiliki torsi awal yang rendah, sehingga membutuhkan dorongan eksternal untuk mulai beroperasi. (Setyawan, 2018)

Adapun beberapa jenis turbin angin adalah sebagai berikut :

1) Turbin Darrieus

Turbin darrieus adalah turbin angin aerodinamik dengan memanfaatkan gaya lift pada penampang sudu rotornya untuk mengubah energi angin. Turbin ini membutuhkan energi awal untuk mulai berputar. Turbin angin sumbu vertikal aerodinamis pertama dikembangkan oleh Georges Darrieus di Perancis dan dipatenkan pertama kali pada tahun 1927. Dari perspektif sudu, gerakan rotasi sudu

menghasilkan mata angin yang dikombinasikan dengan angin aktual membentuk angin nyata. Jika sudut serangan angin nyata pada sudu lebih besar dari nol, gaya angkat komponen depan yang mendorong turbin (Effendi & Siswanto, 2019).

2) Turbin Savonius

Turbin angin tipe savonius adalah turbin dengan konstruksi sederhana pertama kali ditemukan oleh sarjana Finlandia bernama Sigurd J. Savonius. Turbin yang termasuk dalam kategori VAWT ini memiliki rotor dengan bentuk dasar setengah silinder. Konsep turbin angin savonius cukup sederhana, prinsip kerjanya berdasarkan differential drag windmill (Basri & Djaman, 2019). Turbin savonius ini bergantung pada prinsip stagnasi untuk mengubah arus angin menjadi energi rotasi. Savonius rotor menggunakan tekanan stagnasi di satu sisi untuk meningkatkan rotasi disekitar sumbu vertikal. Bilah yang memutar mengarahkan angin disekelilingnya dengan bentuknya yang bulat. Desain savonius bergantung pada tekanan arus terhadap bilah rotor untuk menghasilkan torsi (Putra, Kananda, S.T.M.T., & Muhtar, S.Pd., 2019).

2.5.2 Torsi

Torsi merupakan momen atau gaya yang menyatakan benda berputar pada suatu sumbu. Torsi juga bisa didefinisikan ukuran keefektifan gaya tersebut dalam menghasilkan putaran atau rotasi mengelilingi sumbu tersebut. Besar torsi dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$T = \frac{P_{generator}}{2\pi \cdot \eta_{generator}/60}$$

Dimana :

$T = \text{Torsi (Nm)}$

$P \text{ generator} = \text{Daya Generator (Watt)}$

$\eta = \text{Putaran generator (rpm)}$

Untuk sebuah generator jumlah lilitan sangat berpengaruh terhadap tegangan yang dihasilkan. Sesuai dengan Hukum Faraday sebagai berikut Tegangan induksi dalam satu rangkaian adalah berbanding lurus pada laju perubahan fluks magnetik yang melalui rangkaian. Jika rangkaian adalah kumparan terdiri dari N lilitan dan jika adalah fluks magnetic melalui satu lilitan, tegangan diinduksi dalam setiap lilitan.

2.5.3 Generator

Jika suatu bahan magnetik mengalami gaya permagnetan yang kuat, maka domain-domain gaya medan magnetiknya akan tersusun pada arah yang sama dimana kutub Utara menjadi tempat masuknya gaya magnetik sementara kutub Selatan menjadi tempat keluarnya. Jika gaya permagnetannya dihilangkan, maka sebagian besar domainnya tetap berada dalam arah yang teratur. Inilah yang menjadi prinsip medan magnet permanen. Pada generator magnet permanen, magnet ditempatkan di bagian rotor yang berfungsi untuk menghasilkan medan magnet yang berputar. Medan magnet putar yang dihasilkan akan menginduksi kumparan-kumparan pada bagian stator, sehingga diujung-ujung belitan stator akan timbul ggl induksi. Hal ini sesuai dengan Hukum Faraday yang dirumuskan sebagai berikut :

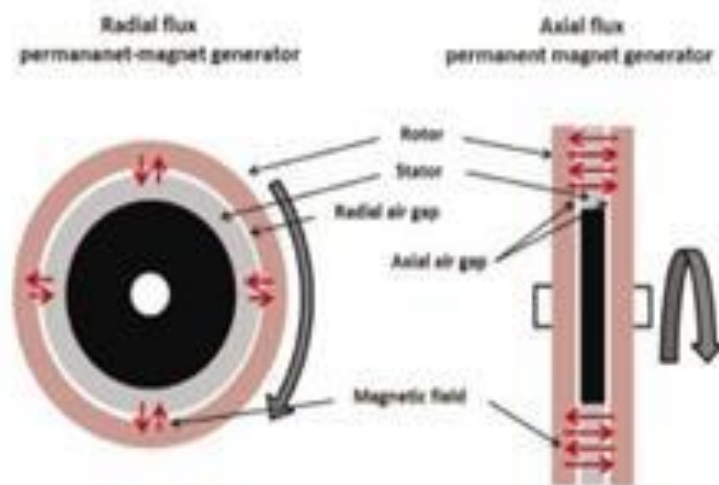
$$e = -N (d\phi)/dt$$

Dimana :

N = jumlah kumparan

$d\phi/dt$ = perubahan fluks terhadap waktu

Ggl induksi ini berlawanan arah dengan arah fluks sehingga menimbulkan arus induksi sesuai dengan Hukum Lenz.

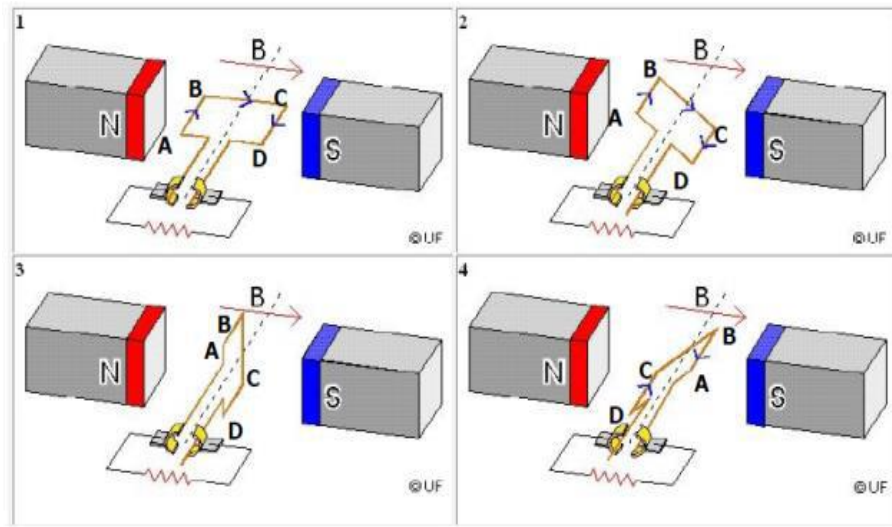


Gambar 2. 17 Generator Magnet Permanen

Sumber : (Oktaviani, Barlian, & Apriani, 2020, hal. 59)

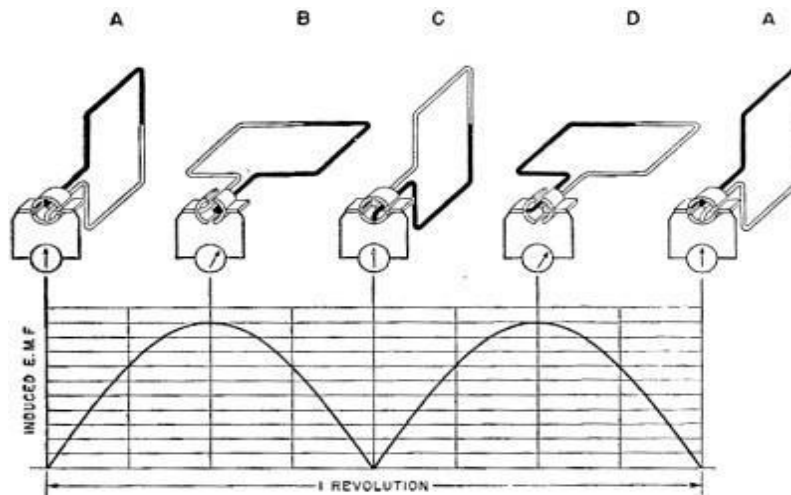
Generator DC juga menggunakan prinsip yang sama. Seperti ditunjukkan pada Gambar dibawah ini, dimana kumparan rotor ABCD terletak dalam medan magnet sedemikian rupa sehingga sisi A-B dan C-D terletak tegak lurus pada arah fluks magnet. Kumparan rotor (penghantar) ABCD diputar dengan kecepatan sudut yang

tetap terhadap sumbu putarnya yang sejajar dengan sisi A-B dan C-D menimbulkan ggl induksi yang terbentuk pada sisi A-B dan sisi C-D. Besarnya ggl induksi sesuai dengan perubahan fluks magnet yang dipotong kumparan ABCD tiap detik, sebagaimana persamaan dengan di atas.



Gambar 2. 18 Generator Magnet Permanen
 Sumber : (Oktaviani, Barlian, & Apriani, 2020, hal. 59)

Pada generator DC arah arus induksinya tidak berubah, disebabkan cincin yang digunakan pada generator DC berupa cincin belah (komutator). Gambar dibawah menunjukkan bahwa gelombang tegangan berbentuk setengah lingkaran yang berulang secara periodik sebagai hasil dari berbagai posisi rotor generator DC. Terlihat bahwa tegangan selalu bernilai positif dikarenakan arus searah yang dihasilkan generator DC (Oktaviani, Barlian, & Apriani, 2020).



Gambar 2. 19 Generator Magnet Permanen

Sumber : (Oktaviani, Barlian, & Apriani, 2020, hal. 59)

2.5.4 Daya Angin

Daya angin (P_{in}) adalah daya yang dihasilkan oleh sudu kincir angin yang diakibatkan oleh hembusan angin (Tuapetel, Triprayoga, & Santika, 2019). Daya angin dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P_{in} = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3$$

Dimana :

ρ = massa jenis udara (kg/m^3)

A = luas penampang sudu (m^2)

v = kecepatan angin

2.5.5 Daya Kincir Angin

Daya yang dihasilkan kincir (P_{out}) adalah daya dihasilkan kincir akibat adanya angin yang melintasi sudu/bilah kincir (Tuapetel, Triprayoga, & Santika,

2019). Sehingga daya kincir yang dihasilkan oleh gerakan melingkar kincir dapat dirumuskan :

$$P_{out} = T \cdot \omega$$

Dimana :

T = Torsi (N.m)

ω = kecepatan sudut (rad/s)

2.5.6 Tip Speed Ratio (tsr)

Tip speed ratio adalah perbandingan antara kecepatan linear lingkaran terluar kincir dengan kecepatan angin (Tuapetel, Triprayoga, & Santika, 2019). Perhitungan nilai *tip speed ratio* dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$tsr = \frac{\omega \cdot r}{v}$$

Dimana :

r = jari jari kincir (m)

2.5.7 Koefisien Daya (C_p)

Koefisien daya adalah perbandingan antara daya yang dihasilkan oleh kincir angin dengan daya yang disediakan oleh angin (Tuapetel, Triprayoga, & Santika, 2019). Perhitungan nilai koefisien daya dapat dirumuskan sebagai berikut:

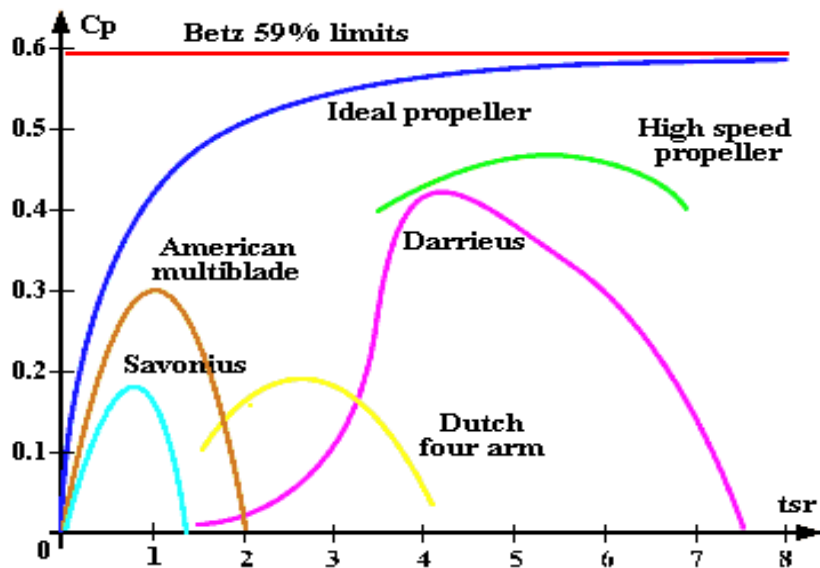
$$c_p = \frac{P_{out}}{P_{in}} \cdot 100 \%$$

Dimana :

P_{out} = daya yang dihasilkan oleh kincir angin (Watt)

P_{in} = daya yang disediakan oleh angin (Watt)

Menurut ilmuwan asal Jerman, Albert Betz. Efisiensi atau koefisien daya maksimal sebuah kincir angin adalah sebesar 59%. Teori tersebut kemudian dinamakan dengan Betz limit yang grafiknya dapat dilihat pada Gambar dibawah.



Gambar 2. 20 Grafik Hubungan Antara Koefisien Daya Dengan Tip Speed Ratio Dari Berbagai Jenis Kincir Angin.

(Sumber : (Tuapetel, Triprayoga, & Santika, 2019, hal. 49))

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan pada Nobember 02 Novembe – 23 Desember 2021 di Laboratorium Teknik Elektro Universitas Pembangunan Panca Budi Kota Medan.

3.2 Metode Pengumpulan Data

Dalam penulisan skripsi ini, penulis mengumpulkan data dengan cara sebagai berikut :

1. Identifikasi masalah yaitu dengan merumuskan latar belakang hingga tujuan dalam penelitian ini.
2. Studi literatur, yaitu mengumpulkan data dari jurnal dan *website* yang sesuai dengan topik penelitian yang dilakukan yaitu tentang pembangkit listrik kombinasi atau tenaga *hybrid*
3. Observasi, yaitu pengumpulan data-data sebagai masukan simulasi dilakukan dengan survei langsung di laboratorium dengan mendata, mereview dan mengidentifikasi spesifikasi pembangkit hybrid.
4. Mengadakan konsultasi dan bimbingan dengan dosen pembimbing.

5. Saling bertukar ide dan pendapat dengan teman- teman yang berkompetensi serta alumni.

3.3 Alat Dan Bahan Penelitian

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah Data spesifikasi pembangkit hybrid di Laboratorium Universitas Pembangunan Panca Budi

3.3.1 Modul Surya



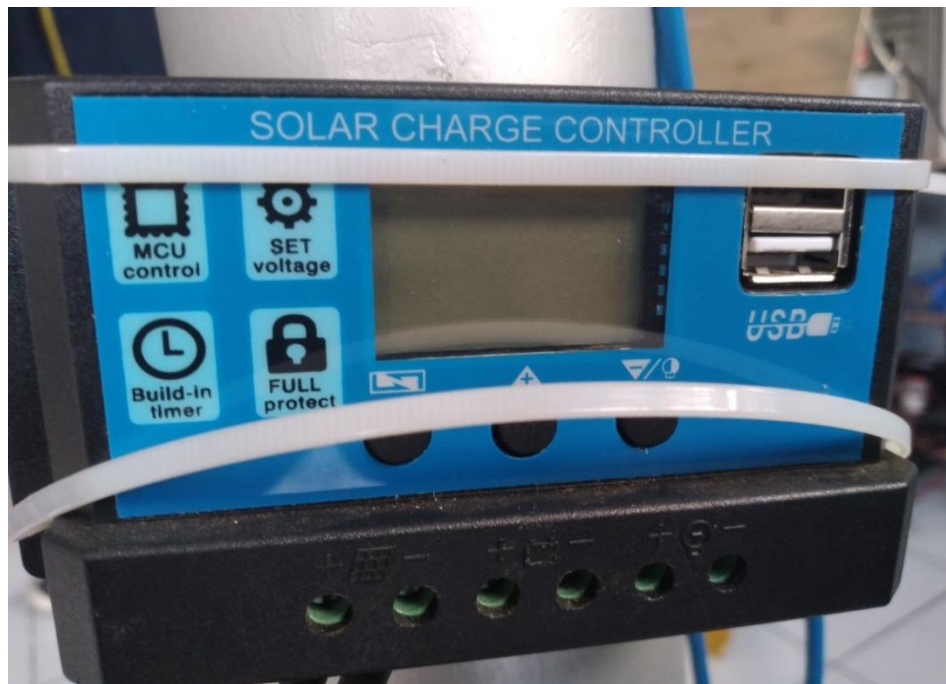
Gambar 3. 1 Modul Surya
Sumber : Penulis, 2022

Tabel 3. 1 Spesifikasi Modul Surya

Spesifikasi Modul Surya		
Jenis	Modul Surya Kanan	Modul Surya Kiri
Power Toleransi	$\pm 3\%$	$\pm 3\%$
Open Circuit Voltage	21.6 V	21.6 V
Short Circuit Current	3.06 A	3.06 A
Dimensi	630mm x 540mm x 18mm	630mm x 540mm x 18mm

Sumber : Penulis, 2022

3.3.2 Solar Charge Controller



Gambar 3. 2 Solar Charge Controller

Sumber : Penulis, 2022

Tabel 3. 2 Spesifikasi Solar Charge Controller (PWM)

Spesifikasi Solar Charge Controller (PWM)	
Rated Voltage	12 / 24 V
Rated Current	20 A
Max PV Voltage	50 V
Max PV Input Power	260

Sumber : Penulis, 2022

3.3.3 Vertikal Exis Wind Turbine



Gambar 3. 3 Vertical Exis Wind Turbine

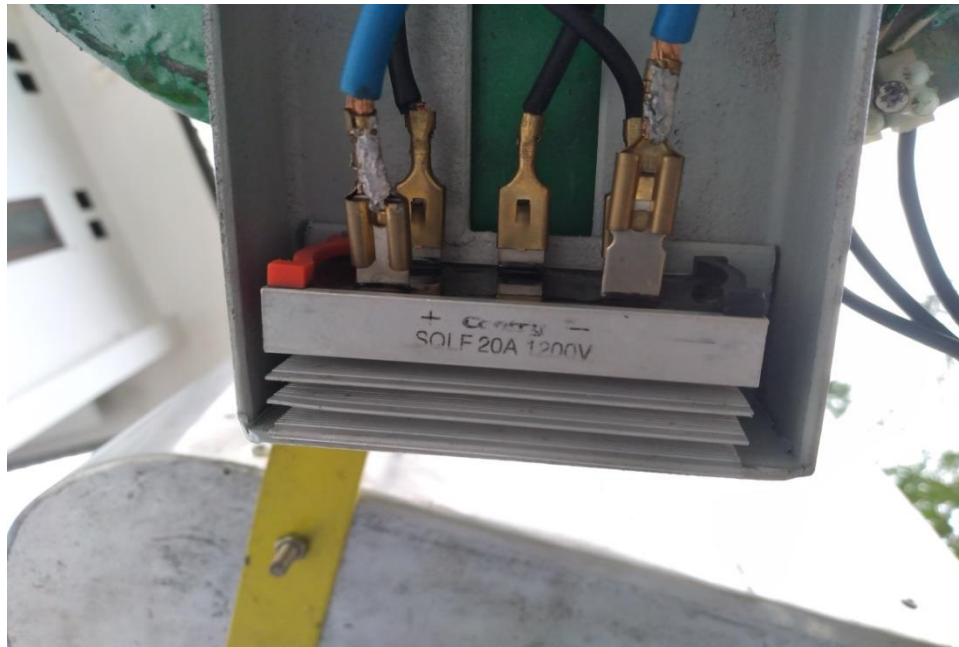
Sumber : Penulis, 2022

Tabel 3. 3 Spesifikasi Turbine Angin

Spesifikasi	
Jenis	Vertical Axis Wind Turbine
Diameter Blade	90 Cm
Tinggi Blade	1.20 M
Jumlah Blade	3
Kecepatan	± 3 Ms
Bahan Wing	Aluminium
Bahan Rangka	Hollow

Sumber : (Ramadhan, 2019, hal. 52)

3.3.4 Alternator Rectifier



Gambar 3. 4 Jembatan Rectifier

Sumber : Penulis, 2022

Tabel 3. 4 Spesifikasi Rectifier

Spesifikasi	
Arus	20 A
Tegangan	1200 V

Sumber : penulis, 2021

3.3.5 Baterai



Gambar 3. 5 Baterai
Sumber : Penulis, 2022

3.3.6 Inverter



Gambar 3. 6 Inverter
Sumber : Penulis, 2022

Tabel 3. 5 Spesifikasi Inverter

Spesifikasi Inverter	
Jenis	Pure sine wave
Daya	1000 W
Input Voltage	12 V DC, 24 V DC, 48 V DC, 60 V DC
Ouput Voltage	220 V AC, 110 V AC
Frekuensi	50 Hz

Sumber : penulis, 2022

3.3.7 Anemometer



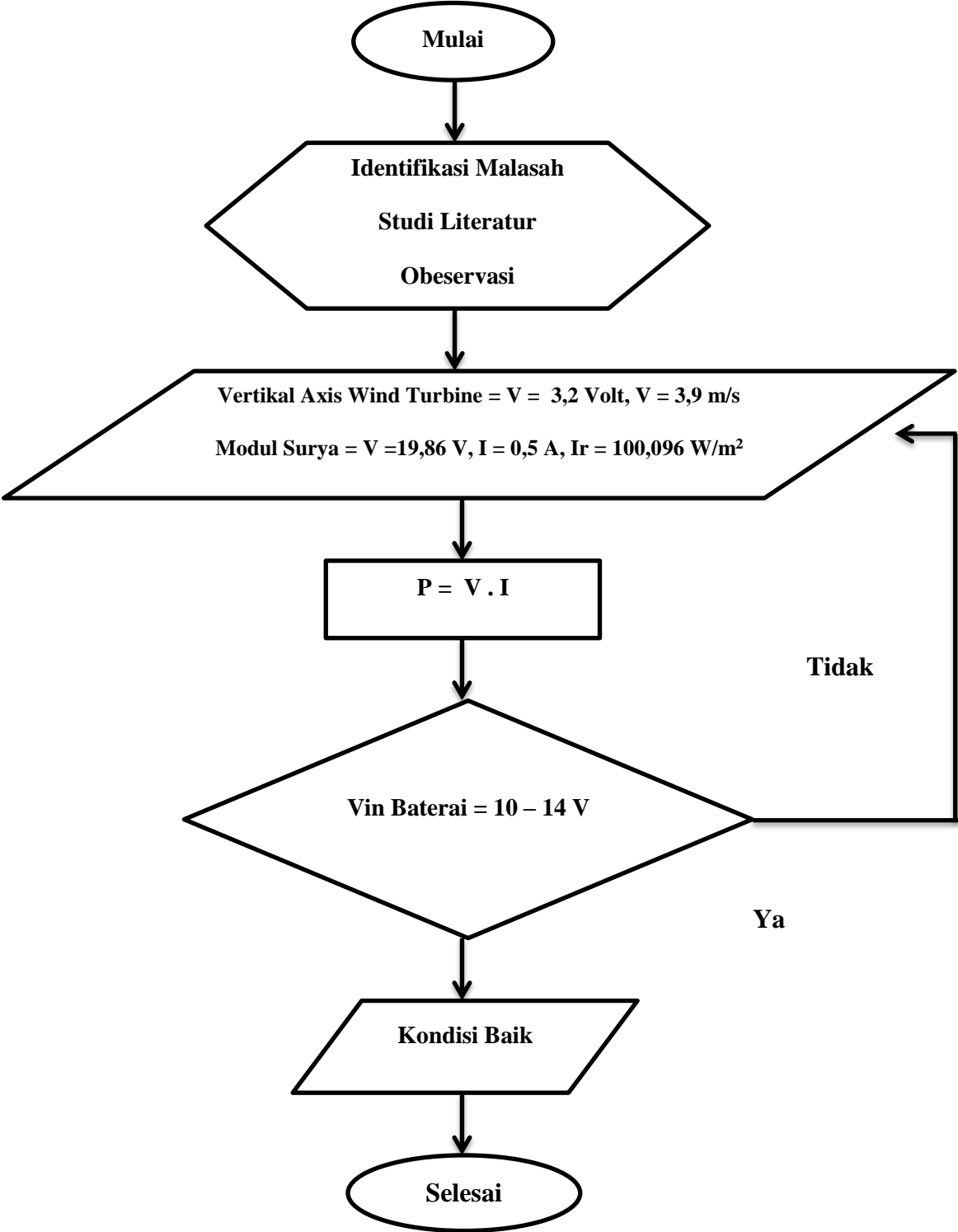
Gambar 3. 7 Anemometer
Sumber : Penulis,2022

3.3.8 Multitester



Gambar 3. 8 Multitester
Sumber : Penulis,2022

3.4 Flowchart



BAB IV

HASIL PENELITIAN

4.1 Deskripsi Umum

Tujuan dilakukannya penelitian dan analisa data untuk mengetahui kinerja sistem pembangkit *hybrid*, dengan memperoleh beberapa data yaitu daya total yang dihasilkan vertikal axis wind turbine dan modul surya dalam melakukan pengisian ke baterai, memperoleh data proses pengisian dan waktu yang dibutuhkan oleh kombinasi pembangkit antara *vertikal axis wind turbine* dan modul surya, dan memperoleh data berapa lama optimasi kinerja pembangkit *hybrid* dapat beroperasi disaat baterai sudah terisi penuh. Alat ukur yang digunakan untuk melakukan pengujian adalah multimeter untuk mengukur besarnya tegangan dan arus masukan dan keluaran, serta anemometer untuk mengukur kecepatan angin.

4.2 Pengujian Vertikal Axis Wind Turbine

Pengujian ini menggunakan anemometer sebagai alat ukur kecepatan angin dan multimeter untuk mengetahui kinerja *Vertikal Axis Wind Turbine* dalam menghasilkan tegangan keluaran. Waktu pengujian dilakukan pada saat pukul 15.00 WIB sampai 16.30 WIB memanfaatkan angin sore yang berhembus disekitar area Universitas Pembangunan Panca Budi Medan.



Gambar 4. 1 Pengujian Kecepatan Angin Menggunakan Anemometer
Sumber : penulis, 2022

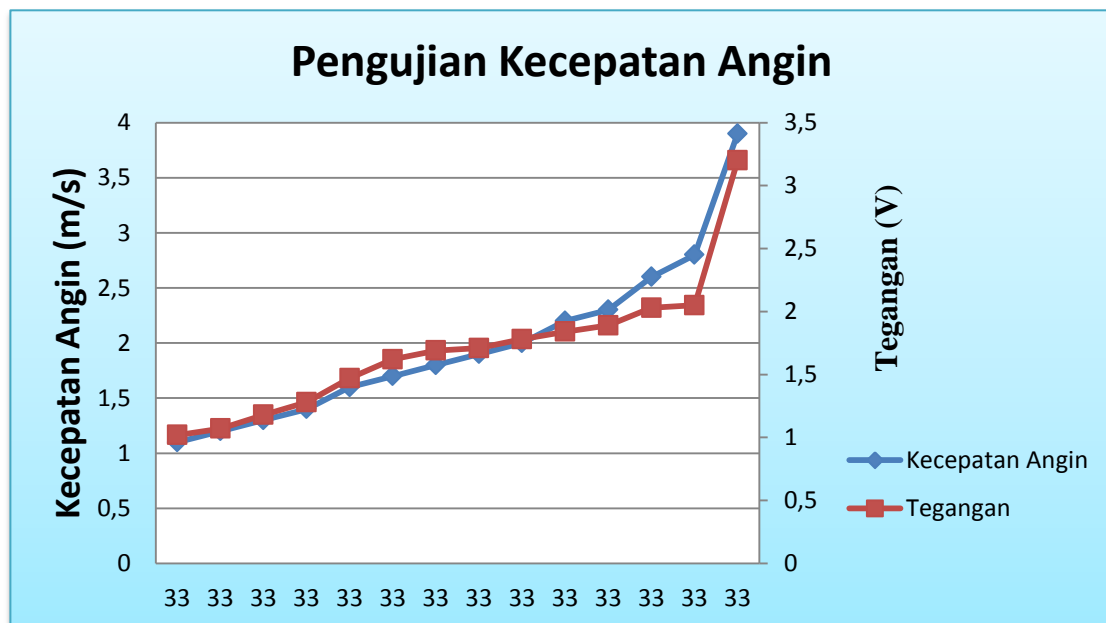
Tabel 4. 1 Pengujian Kecepatan Angin Menggunakan Anemometer

Suhu (°C)	Kecepatan angin (m/s)	Tegangan (V)
33,4 °C	1,1 m/s	1,02 V
33,4 °C	1,2 m/s	1,07 V
33,3 °C	1,3 m/s	1,18 V
33,3 °C	1,4 m/s	1,28 V
33,3 °C	1,6 m/s	1,47 V
33,2 °C	1,7 m/s	1,62 V
33,2 °C	1,8 m/s	1,69 V

33,2 °C	1,9 m/s	1,71 V
33,2 °C	2,0 m/s	1,78 V
33,1 °C	2,2 m/s	1,84 V
33,1 °C	2,3 m/s	1,89 V
33,1 °C	2,6 m/s	2,03 V
33 °C	2,8 m/s	2,05 V
33 °C	3,9 m/s	3,20 V

Sumber : penulis, 2022

Berdasarkan tabel 4. Suhu yang terukur pada anemometer kisaran 33 derajat dengan rentang waktu dari pukul 15.00 WIB sampai 16.30 WIB. Hubungan kecepatan angin dan tegangan keluaran yang di hasilkan disajikan pada gambar 4.2



Gambar 4. 2 Grafik Pengujian Kecepatan Angin Pada VAWT

Sumber : Penulis, 2022

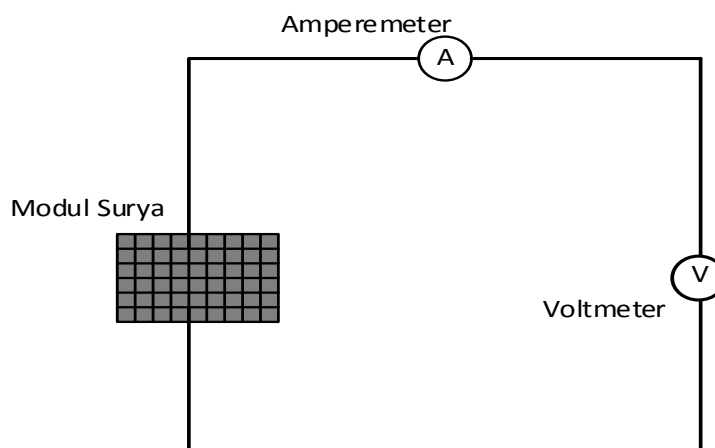
Tegangan keluaran terendah terukur sebesar 1,02 Volt pada kecepatan angin 1,1 m/s seiring dengan bertambah nya kecepatan angin maka tegangan keluaran yang dihasilkan *Vertikal Axis Wind Turbine* terus meningkat dimana tegangan tertinggi pada saat pengujian terukur sebesar 3,20 Volt pada kecepatan angin 3,9 m/s.

4.3 Pengujian Modul Surya

Pengujian menggunakan modul surya type monocrystalline 100 WP untuk memahami prinsip kerja modul surya.

4.3.1 Pengujian Modul Surya Tidak Berbeban

Pengujian ini menggunakan metode pengukuran dengan modul surya terhubung langsung dengan alat ukur multimeter. Pengujian ini bertujuan mengetahui karakteristik modul surya dengan mengukur tegangan terbuka (V_{oc}) dan arus hubung singkat (I_{sc}), skema rangkaian pengujian ditampilkan pada gambar 4.



Gambar 4. 3 Skema Rangkaian Pengujian Modul Surya Tidak Berbeban
Sumber : Penulis, 2022

Data hasil pengujian modul surya tidak berbeban ditampilkan pada tabel 4.3

Tabel 4. 2 Data Hasil Pengujian Modul Surya Tidak Berbeban

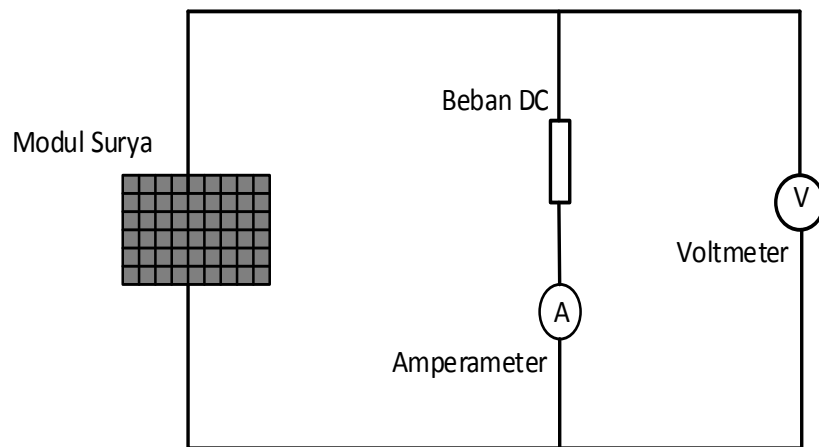
Jam (t)	Intensitas cahaya matahari (W/m^2)	Tegangan terbuka (V)	Arus hubung singkat (A)
10.40	97,128	18,90	0,59
10.50	110,033	19,72	0,59
11.00	110,055	19,78	0,58
11.10	109,916	19,26	0,56
11.20	109,938	11,27	0,56
11.30	109,888	19,13	0,55
11.40	109,994	19,52	0,57
11.50	109,944	19,40	0,51
12.00	110,094	19,80	0,58
12.10	100,096	19,86	0,58

Sumber : penulis, 2022

Tegangan output modul sangat dipengaruhi oleh temperatur dan intensitas cahaya matahari yang diterima oleh modul surya. Semakin tinggi intensitas cahaya matahari maka tegangan terbuka juga akan semakin meningkat. Intensitas cahaya matahari tertinggi terukur sebesar $100,096 W/m^2$ dimana tegangan terbuka (V_{oc}) terukur sebesar 19,86 Volt dan arus hubung singkat (I_{sc}) sebesar 0,58 Ampere.

4.3.2 Pengujian Modul Surya Dengan Bebanan

Pengujian modul surya berbeban ini menggunakan beban lampu led DC 12V/ 5 Watt dengan skema instalasi ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. 4 Skema Instalasi Pengujian Modul Surya Berbeban

Sumber : Penulis, 2022

Pengukuran intensitas cahaya matahari menggunakan aplikasi *Lux light meter* pada *mobile phone* dengan pengukuran dalam satuan lux sehingga dikonversi $1 \text{ W/m}^2 = 179 \text{ Lux}$.



Gambar 4. 5 Lux Light Meter Pada Mobile Phone
Sumber : Penulis, 2022



Gambar 4. 6 Pengukuran Tegangan Pada Pengujian Modul Surya Berbeban
Sumber : Penulis, 2022

Data hasil pengujian modul surya berbeban ditampilkan pada tabel 4.2

Tabel 4. 3 Pengujian Modul Surya Berbeban

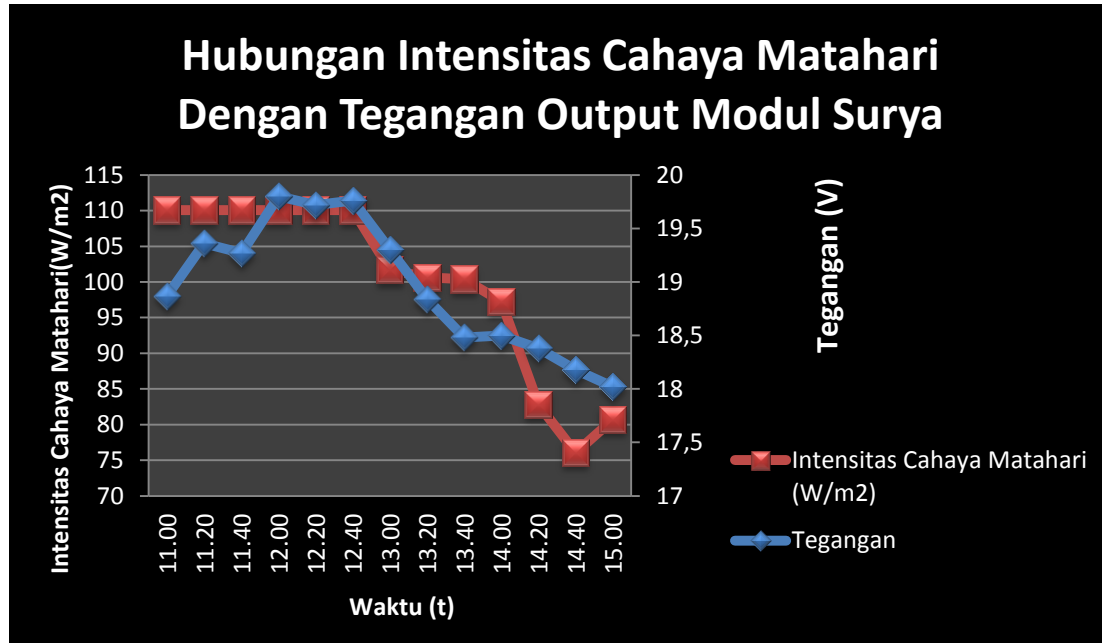
Waktu (t)	Intesitas cahaya matahari (W/m ²)	Modul Surya				μ (%)
		Tegangan (V)	Arus (V)	Pin (W)	Pout (W)	
11.00	110,055	18,87	0,58	74,881	10,94	14 %
11.20	110,091	19,36	0,57	74,905	11,03	14 %
11.40	110,061	19,27	0,56	74,885	10,79	14 %
12.00	110,094	19,80	0,58	74,907	11,484	15 %
12.20	110,055	19,72	0,56	74,881	11,04	14 %
12.40	110,067	19,76	0,58	74,889	11,46	15 %
13.00	101,698	19,30	0,56	69,195	10,808	15 %
13.20	100,642	18,84	0,55	68,476	10,36	15 %
13.40	100,363	18,46	0,56	68,286	10,33	15 %
14.00	97,234	18,50	0,57	66,158	10,54	15 %
14.20	82,804	18,38	0,55	56,339	10,10	17 %
14.40	76,044	18,18	0,53	51,740	9,63	18 %
15.00	80,703	18,02	0,52	54,910	9,37	17 %

Sumber : penulis, 2022

Efisiensi panel surya didapatkan dari daya listrik yang keluar dalam satuan watt dibandingkan dengan luas permukaannya. Saat ini dipasaran efisiensi sel surya yang beredar adalah kisaran 14 - 17%. Ini berarti sebuah panel surya hanya dapat

mengkonversi sekitar 14 – 17% dari seluruh energi matahari yang diterima oleh sel surya tersebut, dan sisanya akan dipantulkan ke udara.

Berdasarkan tabel 4. Besarnya intensitas yang diterima oleh modul surya berupa energi foton tidak seluruhnya diserap, sebagian ada yang dipantulkan tergantung besar energi dan frekuensi foton yang dibutuhkan untuk pelepasan elektron dari ikatannya. Hubungan intensitas cahaya matahari terhadap tegangan modul surya terdapat pada gambar grafik berikut.



Gambar 4. 7 Hubungan Intensitas Cahaya Matahari Dengan Tegangan Output Modul Surya

Sumber : Penulis, 2022

Tegangan pada sel *photovoltaic* dipengaruhi beberapa faktor diantaranya oleh intensitas penyinaran pada modul surya. Variasi waktu penyinaran sangat mempengaruhi kuat arus dan tegangan, semakin bagusnya kondisi cuaca cerah maka

kuat arus dan tegangan akan semakin besar. Penyinaran yang paling optimal pada pukul 12.00 WIB, terukur sebesar 110,094 W/m² dimana tegangan yang terukur sebesar 19,80 Volt dan arus terukur sebesar 0,58 Ampere. Penyinaran yang paling terendah pada pukul 14.40 WIB, terukur sebesar 76,044 W/m² dimana tegangan yang terukur sebesar 18,18 Volt dan arus terukur sebesar 0,53 Ampere. Berdasarkan grafik waktu penyinaran sangat berpengaruh terhadap keluaran tegangan semakin sore maka tegangan output akan semakin rendah.

Perhitungan nilai efisiensi bertujuan untuk mengetahui persentase nilai energi cahaya matahari yang mampu diserap modul surya, berikut beberapa persamaan untuk menentukan daya input dan output.

$$\begin{aligned} P_{in} &= \text{Intensitas matahari} \times \text{Luas daerah modul} \\ &= 110,094 \text{ W/m}^2 \times (63 \text{ cm} \times 54 \text{ cm}) + (63 \text{ cm} \times 54 \text{ cm}) \\ &= 110,094 \text{ W/m}^2 \times 0,6804 \text{ m}^2 \\ &= 74,907 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk daya output maksimum modul surya dihitung dengan persamaan berikut

$$\begin{aligned}
P_{out} &= V_{oc} \times I_{sc} \times FF \\
&= V_{oc} \times I_{sc} \times \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} \\
&= V_{mp} \times I_{mp} \\
&= 19,80 \times 0,58 \\
&= 11,484 \text{ Watt}
\end{aligned}$$

Sehingga efisiensi diperoleh menggunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
\mu &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\
&= \frac{11,484}{74,907} \times 100\% \\
&= 15,33 \%
\end{aligned}$$

4.4 Hasil Pengujian Pengisian Baterai

Pengujian pengisian baterai untuk memahami karakteristik dan prinsip kerja baterai pada sistem pembangkit Hybrid, mengetahui tegangan kerja baterai dan pengaruh pengisian baterai terhadap pancaran sinar matahari yang mengenai modul surya. serta hembusan angin yang memutar turbin. Pegujian dengan sfesifikasi baterai yang digunakan ialah 12 V/ 100 Ah. Dimana tegangan baterai sebeblum di cas sebesar 12,9 V dan skema rangkaian pengujian ditampilkan pada gambar 4.8.



Gambar 4. 8 Kondisi Awal Baterai Sebelum Dilakukan Pengisian

Sumber : Penulis, 2022

Data hasil pengujian baterai pada hari pertama sampai hari kelima disajikan pada tabel- tabel dibawah ini.

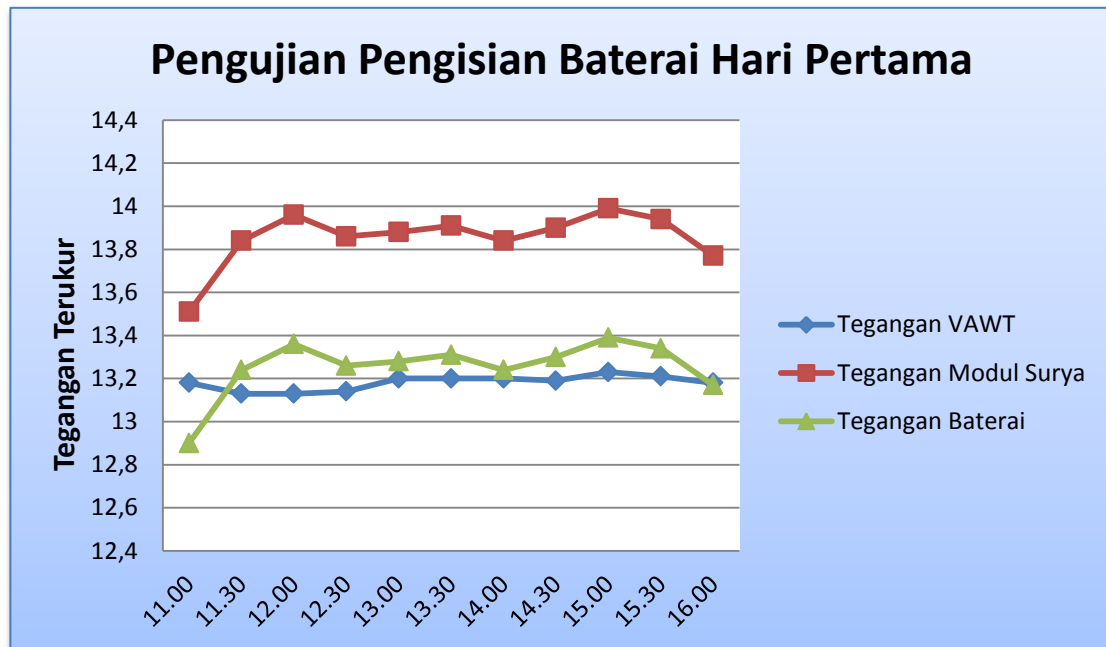
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Pengisian Baterai Hari Pertama

Waktu	Vertical Axis Wind Turbine			Modul Surya			Baterai (V)	Suhu (C°)	Radiasi (W/m ²)	Kecepatan angin (m/s)
	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)				
	11.00	13,18	0,92	12,12	13,51	1,00				

11.30	13,13	0,95	12,47	13,84	1,04	14,39	13,24	29	110,083	1,7
12.00	13,13	0,93	12,21	13,96	1,03	14,37	13,36	30	105,860	0,9
12.30	13,14	0,96	12,61	13,86	1,03	14,27	13,26	30	110,055	1,6
13.00	13,20	0,91	12,01	13,88	0,97	13,46	13,28	30	110,072	1,2
13.30	13,20	0,94	12,40	13,91	1,01	14,04	13,31	31,9	110,094	1,0
14.00	13,20	0,96	12,67	13,84	0,96	13,28	13,24	32,8	91,743	1,3
14.30	13,19	0,96	12,66	13,90	0,98	13,62	13,30	32,3	102,57	1,0
15.00	13,23	0,95	12,56	13,99	1,02	14,26	13,39	32,6	98,720	1,3
15.30	13,21	0,96	12,68	13,94	1,03	14,35	13,34	32,4	100,11	1,6
16.00	13,18	0,95	12,52	13,77	1,03	14,18	13,17	32	56,871	1,1

Sumber : penulis, 2022

Berdasarkan tabel 4.4 Intensitas cahaya matahari teroptimal terukur sebesar 110,094 W/m² pada pukul 13.30 WIB, dan kecepatan angin teroptimal terukur sebesar 1,6 m/s pada pukul 15.30 WIB. Suhu rata rata pengujian pengisian baterai hari pertama yaitu 31,09 °C.



Gambar 4.9 Grafik Pengujian Pengisian Baterai Hari Pertama
Sumber : Penulis, 2022

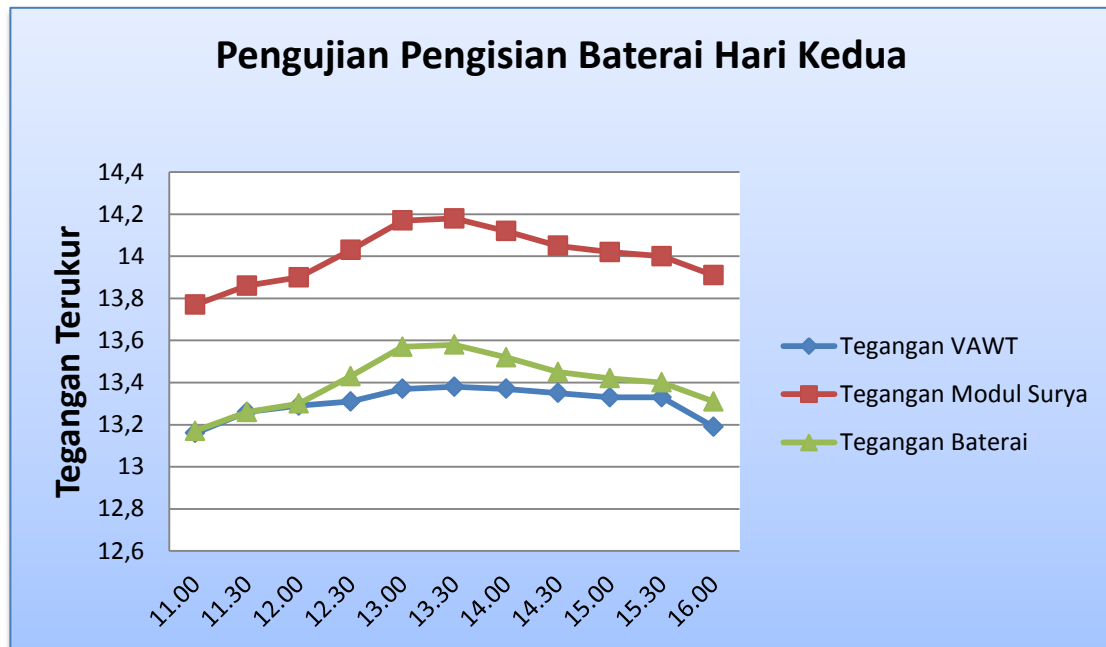
Berdasarkan gambar 4.9 Tegangan keluaran modul surya selalu lebih besar dari pada vertikal axis wind turbine. Tegangan modul surya tertinggi terukur sebesar 13,99 Volt sedangkan tegangan vertical axis wind turbine tertinggi terukur sebesar 13,23 Volt. Kondisi tegangan baterai dihari pertama pada pukul 11.00 WIB terukur sebesar 12,90 Volt naik setelah dilakukan pengisian terukur sebesar 13,17 Volt pada pukul 16.00 WIB.

Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Pengisian Baterai Hari kedua

Waktu	Vertical Axis Wind Turbine			Modul Surya			Baterai (V)	Suhu (C°)	Radiasi (W/m ²)	Kecepatan angin (m/s)
	Tegangan	Arus	Daya	Tegangan	Arus	Daya				
	(V)	(A)	(W)	(V)	(A)	(W)				
11.00	13,16	0,93	12,23	13,77	1,04	14,32	13,17	29	110,00	0,9
11.30	13,26	0,95	12,59	13,86	1,05	14,55	13,26	30,5	110,020	1,1
12.00	13,29	0,96	12,75	13,90	1,02	14,17	13,30	30,6	110,026	0,9
12.30	13,31	0,98	13,04	14,03	1,03	14,45	13,43	30,8	110,044	0,8
13.00	13,37	0,98	13,10	14,17	1,21	17,14	13,57	31,0	110,094	1,1
13.30	13,38	0,98	13,11	14,18	1,19	16,87	13,58	31,3	110,089	1,3
14.00	13,37	0,97	12,96	14,12	1,09	15,39	13,52	31,5	110,050	1,1
14.30	13,35	0,96	12,81	14,05	1,08	15,17	13,45	31,4	110,045	0,9
15.00	13,33	0,95	12,66	14,02	1,06	14,86	13,42	31,4	110,04	1,3
15.30	13,33	0,93	12,39	14,00	1,04	14,56	13,40	31,2	110,033	1,1
16.00	13,19	0,91	12,00	13,91	1,01	14,04	13,31	31,1	110,011	0,9

Sumber : penulis, 2022

Berdasarkan tabel 4.5 Intensitas cahaya matahari teroptimal terukur sebesar 110,094 W/m² pada pukul 13.00 WIB, dan kecepatan angin teroptimal terukur sebesar 1,3 m/s pada pukul 13.30 WIB. Suhu rata rata pengujian pengisian baterai hari kedua yaitu 30,89 °C.



Gambar 4. 10 Grafik Pengujian Pengisian Baterai Hari Kedua

Sumber : Penulis, 2022

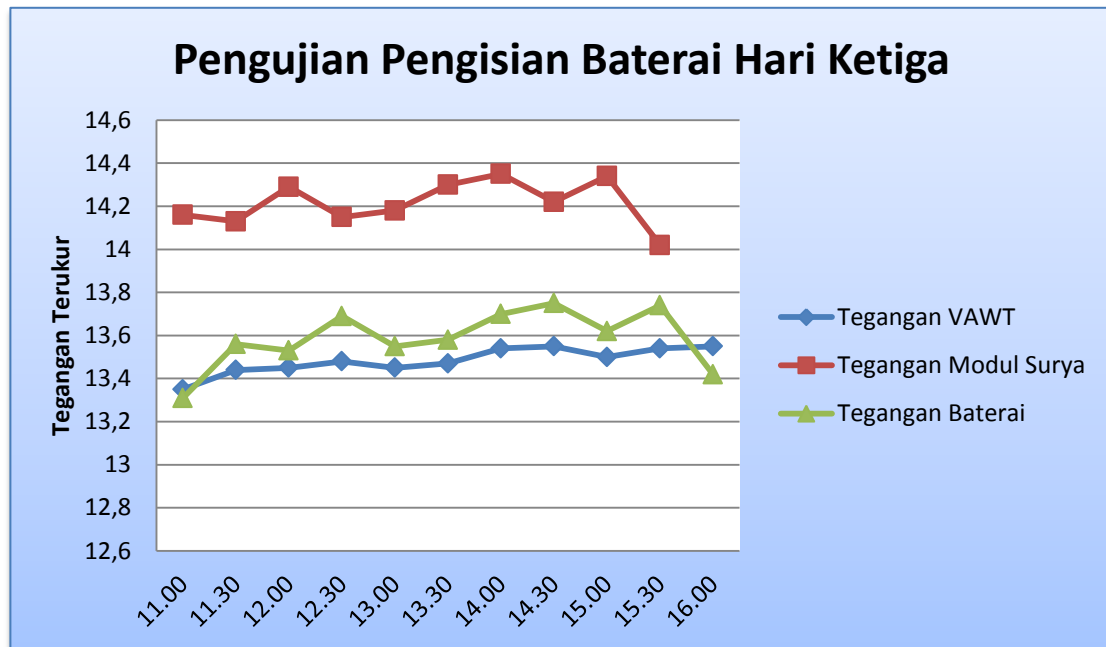
Berdasarkan gambar 4.10 Tegangan keluaran modul surya selalu lebih besar dari pada *vertikal axis wind turbine*. Tegangan modul surya tertinggi terukur sebesar 14,18 Volt sedangkan tegangan *vertical axis wind turbine* tertinggi terukur sebesar 13,38 Volt. Kondisi tegangan baterai hari kedua pada pukul 11.00 WIB terukur sebesar 13,17 Volt naik setelah dilakukan pengisian terukur sebesar 13,31 Volt pada pukul 16.00 WIB.

Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Pengisian Baterai Hari Ketiga

Waktu	Vertical Axis Wind Turbine			Modul Surya			Baterai (V)	Suhu (C°)	Radiasi (W/m ²)	Kecepatan angin (m/s)
	Tegangan	Arus	Daya	Tegangan	Arus	Daya				
	(V)	(A)	(W)	(V)	(A)	(W)				
11.00	13,35	1,01	13,48	13,91	1,09	15,16	13,31	30	109,921	1,7
11.30	13,44	1,00	13,44	14,16	1,07	15,15	13,56	31,4	110,044	1,2
12.00	13,45	0,98	13,18	14,13	1,05	14,83	13,53	31,7	110,033	2,3
12.30	13,48	0,99	13,61	14,29	1,07	15,29	13,69	32,0	110,072	0,9
13.00	13,45	0,98	13,18	14,15	1,05	14,85	13,55	32,3	110,044	1,3
13.30	13,47	0,97	13,06	14,18	1,03	14,60	13,58	32,5	110,045	1,4
14.00	13,54	0,98	13,26	14,30	1,05	15,01	13,70	32,6	110,094	1,2
14.30	13,55	1,00	13,55	14,35	1,06	15,21	13,75	32,4	110,083	1,4
15.00	13,50	0,98	13,23	14,22	1,05	14,93	13,62	31,8	110,072	1,7
15.30	13,54	0,97	13,13	14,34	1,06	15,20	13,74	31,6	110,083	1,4
16.00	13,55	0,92	12,46	14,02	0,99	13,87	13,42	31,2	100,681	1,8

Sumber : penulis, 2022

Berdasarkan tabel 4.6 Intensitas cahaya matahari teroptimal terukur sebesar 110,094 W/m² pada pukul 14.00 WIB, dan kecepatan angin teroptimal terukur sebesar 2,3 m/s pada pukul 12.00 WIB. Suhu rata rata pengujian pengisian baterai hari ketiga yaitu 31,77 °C.



Gambar 4. 11 Grafik Pengujian Pengisian Baterai Hari Ketiga

Sumber : Penulis, 2022

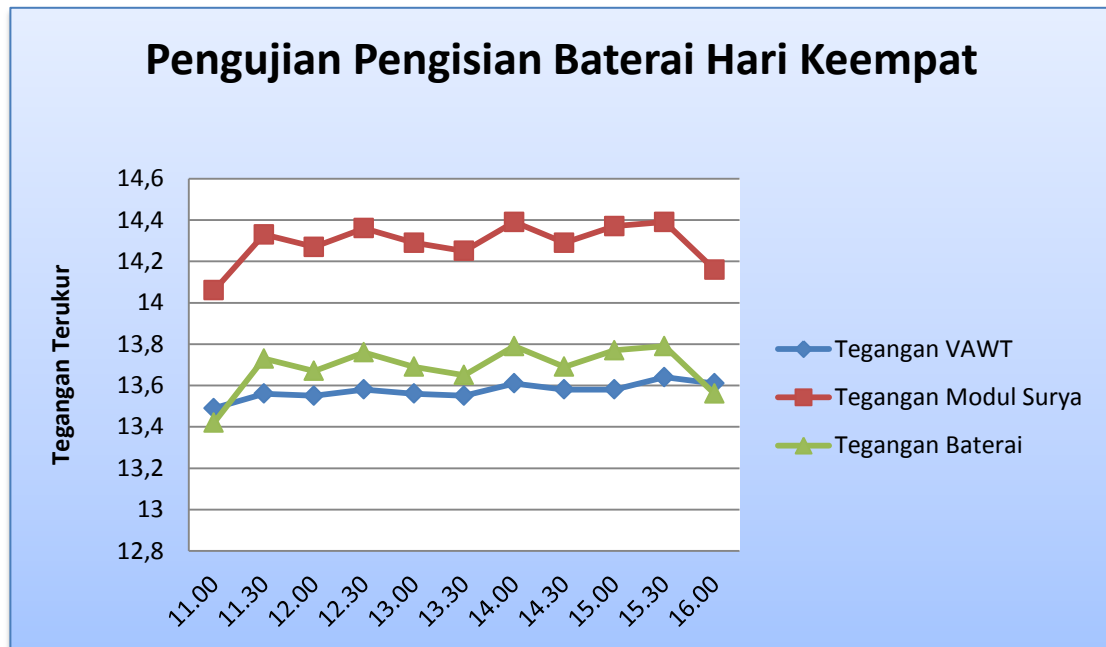
Berdasarkan gambar 4.11 Tegangan keluaran modul surya selalu lebih besar dari pada vertikal axis wind turbine. Tegangan modul surya tertinggi terukur sebesar 14,35 Volt sedangkan tegangan *vertical axis wind turbine* tertinggi terukur sebesar 13,55 Volt. Kondisi tegangan baterai hari ketiga pada pukul 11.00 WIB terukur sebesar 13,31 Volt naik setelah dilakukan pengisian terukur sebesar 13,42 Volt pada pukul 16.00 WIB.

Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Pengisian Baterai Hari Keempat

Waktu	Vertical Axis Wind Turbine			Modul Surya			Baterai (V)	Suhu (C°)	Radiasi (W/m ²)	Kecepatan angin (m/s)
	Tegangan	Arus	Daya	Tegangan	Arus	Daya				
	(V)	(A)	(W)	(V)	(A)	(W)				
11.00	13,49	1,01	13,62	14,06	1,08	15,18	13,42	30,5	111,056	0,9
11.30	13,56	1,00	13,56	14,33	1,07	15,33	13,73	31	110,078	1,4
12.00	13,55	0,97	13,14	14,27	1,05	14,98	13,67	31,6	110,059	2,1
12.30	13,58	1,00	13,58	14,36	1,06	15,22	13,76	31,8	110,086	1,3
13.00	13,56	0,99	13,42	14,29	1,00	14,29	13,69	31,8	110,069	1,5
13.30	13,55	0,98	13,27	14,25	1,04	14,82	13,65	32,1	110,055	1,3
14.00	13,61	0,95	12,92	14,39	1,02	14,67	13,79	32,6	110,094	1,0
14.30	13,58	0,95	12,90	14,29	1,03	14,71	13,69	32,4	110,698	1,0
15.00	13,58	0,95	12,90	14,37	1,01	14,51	13,77	32,3	110,089	1,3
15.30	13,64	0,94	12,82	14,39	1,02	14,67	13,79	32,1	110,094	1,1
16.00	13,61	0,97	13,20	14,16	1,04	14,72	13,56	31,9	95,296	1,2

Sumber : penulis, 2022

Berdasarkan tabel 4.7 Intensitas cahaya matahari teroptimal terukur sebesar 110,094 W/m² pada pukul 14.00 WIB, dan kecepatan angin teroptimal terukur sebesar 2,1 m/s pada pukul 12.00 WIB. Suhu rata rata pengujian pengisian baterai hari keempat yaitu 31,73 °C.



Gambar 4. 12 rafik Pengujian Pengisian Baterai Hari Keempat
Sumber : Penulis, 2022

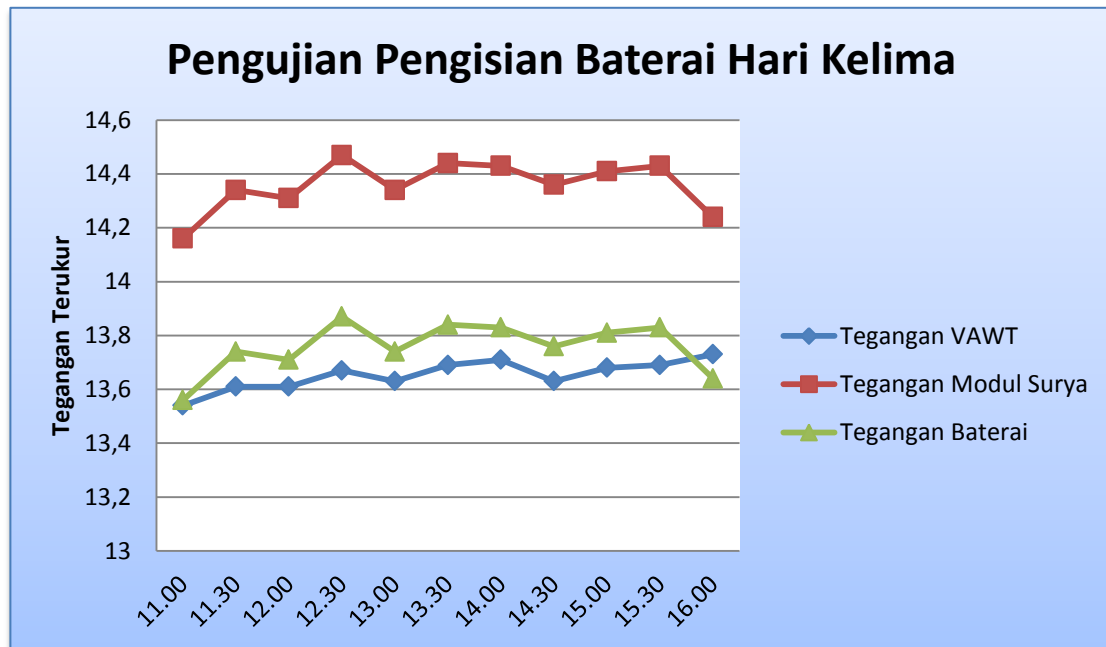
Berdasarkan gambar 4.12 Tegangan keluaran modul surya selalu lebih besar dari pada vertikal axis wind turbine. Tegangan modul surya tertinggi terukur sebesar 14,39 Volt sedangkan tegangan *vertical axis wind turbine* tertinggi terukur sebesar 13,64 Volt. Kondisi tegangan baterai hari keempat pada pukul 11.00 WIB terukur sebesar 13,42 Volt naik setelah dilakukan pengisian terukur sebesar 13,56 Volt pada pukul 16.00 WIB.

Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Pengisian Baterai Hari Kelima

Waktu	Vertical Axis Wind Turbine			Modul Surya			Baterai (V)	Suhu (C°)	Radiasi (W/m ²)	Kecepatan angin (m/s)
	Tegangan	Arus	Daya	Tegangan	Arus	Daya				
	(V)	(A)	(W)	(V)	(A)	(W)				
11.00	13,54	1,03	13,94	14,16	1,11	15,71	13,56	31	110,081	0,8
11.30	13,61	0,99	13,47	14,34	1,07	15,34	13,74	31,2	110,040	0,7
12.00	13,61	0,99	13,47	14,31	1,06	15,16	13,71	31,2	110,033	0,9
12.30	13,67	0,99	13,53	14,47	1,07	15,48	13,87	31,4	110,094	1,3
13.00	13,63	0,99	13,49	14,34	1,05	14,00	13,74	31,8	110,039	1,0
13.30	13,69	0,98	13,41	14,44	1,02	14,72	13,84	32	110,090	0,9
14.00	13,71	0,98	13,43	14,43	1,02	14,71	13,83	32,2	110,089	1,2
14.30	13,63	0,98	13,35	14,36	1,03	14,79	13,76	31,9	110,055	0,9
15.00	13,68	0,97	13,40	14,41	1,04	14,98	13,81	31,8	110,067	1,0
15.30	13,69	0,96	13,14	14,43	1,03	14,86	13,83	31,6	110,084	0,9
16.00	13,73	0,96	13,18	14,24	1,02	14,52	13,64	31,4	99,972	1,1

Sumber : Penulis, 2022

Berdasarkan tabel 4.8 Intensitas cahaya matahari teroptimal terukur sebesar 110,094 W/m² pada pukul 12.30 WIB, dan kecepatan angin teroptimal terukur sebesar 1,3 m/s pada pukul 12.30 WIB. Suhu rata rata pengujian pengisian baterai hari kelima yaitu 31,68 °C.



Gambar 4. 13 Grafik Pengujian Pengisian Baterai Hari Kelima

Sumber : Penulis, 2022

Berdasarkan gambar 4.13 Tegangan keluaran modul surya selalu lebih besar dari pada vertikal axis wind turbine. Tegangan modul surya tertinggi terukur sebesar 14,47 Volt sedangkan tegangan *vertical axis wind turbine* tertinggi terukur sebesar 13,73 Volt. Kondisi tegangan baterai hari kelima pada pukul 11.00 WIB terukur sebesar 13,56 Volt naik setelah dilakukan pengisian terukur sebesar 13,64 Volt pada pukul 16.00 WIB.

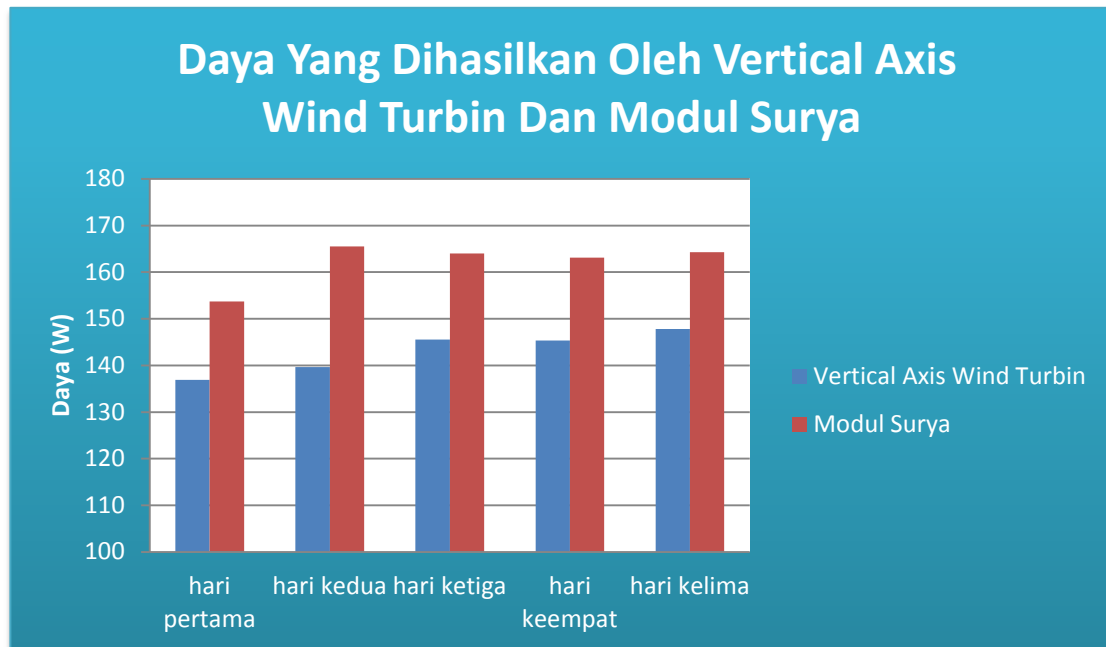


Gambar 4. 14 Baterai Saat Sudah Terisi Penuh
Sumber : Penulis, 2022

Tabel 4. 9 Daya Yang Dihasilkan Oleh Vertical Axis Wind Turbin Dan Modul Surya

Hari	Daya Yang Dihasilkan	
	Vetikal Axis Wind Turbine	Modul surya
Hari Pertama	136,91 Watt	153,69 Watt.
Hari Kedua	139,64 Watt	165,52 Watt
Hari Ketiga	145,58 Watt	164,01 Watt
Hari Keempat	145,33 Watt	163,1 watt
Hari Kelima	147,81 Watt	164,27 Watt

Sumber : Penulis, 2022



Gambar 4. 15 Grafik Daya Yang Dihasilkan Perhari Pada Pengujian Pengisian Baterai

Sumber : Penulis, 2022

Total energi yang diserap oleh baterai dari vertical axis wind turbine dan modul surya dapat dilihat pada tabel 4.9 dimana perhitungan daya keluaran maksimum vertikal axis wind turbin dinyatakan dalam satuan Watt dan daya keluaran maksimum dinyatakan dalam satuan WP. Perhitungan dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Total Energi VAWT} &= \sum(P \cdot t) && (4) \\
 &= 136,91 + 139,64 + 145,58 + 145,33 + 147,81 \\
 &= 715,25 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Energi rata rata yang dihasilkan VAWT perjamnya ialah :

$$= \frac{715,25}{25}$$

$$= 28,61 \text{ Watt}$$

$$\text{Total Energi Modul Surya} = \sum(P \cdot t) \quad (5)$$

$$= 159,69 + 165,52 + 164,01 + 163,1 + 164,27$$

$$= 816,59 \text{ Watt}$$

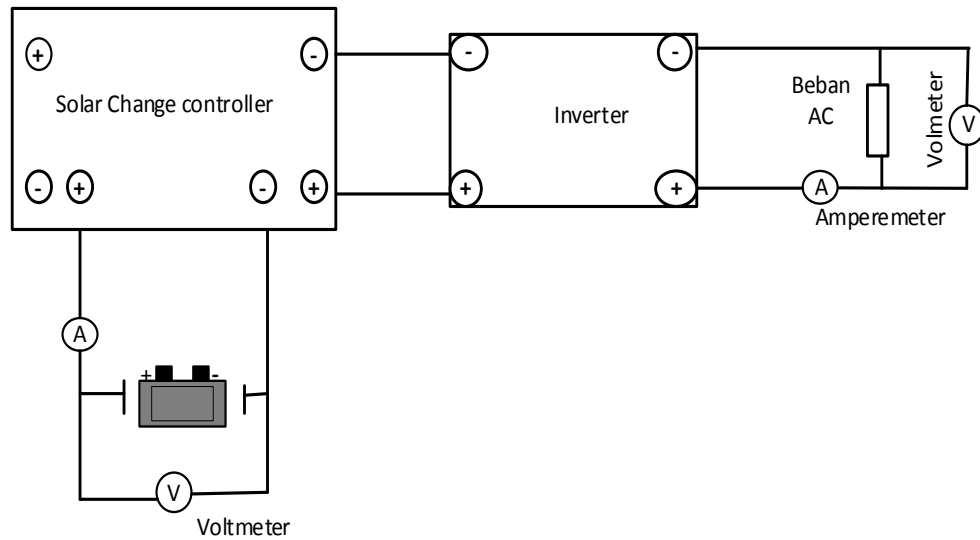
Energi rata rata modul surya perjamnya ialah :

$$= \frac{816,59}{25}$$

$$= 32,66 \text{ Wp}$$

4.5 Hasil Modul Inverter Pada Variasi Beban

Pengujian inverter bertujuan untuk memahami prinsip kerja dan menentukan kapasitas efisiensi, dan output frekuensi yang di hasilkan ketika inverter dibebani apakah modul inverter sudah dikatakan layak dengan sesuai dengan standar frekuensi di Indonesia 50/60 Hz. Skema rangkaian pengujian inverter ditampilkan pada gambar 4.16



Gambar 4. 16 Skema Rangkaian Pengujian Inverter
 Sumber : penulis, 2021

Berdasarkan gambar 4.16 Adapun beberapa beban AC yang digunakan meliputi lampu berdaya 5 Watt, 9 Watt, 15 Watt, 26 Watt dan kipas angin yang memiliki daya 50 Watt diukur menggunakan multimeter untuk mengukur tegangan dan arus yang mengalir pada setiap beban. Pengujian modul ini tidak menggunakan modul surya sebagai catu daya utama melainkan baterai 12 V DC 100 Ah yang sudah terisi penuh akan menjadi penyuplai untuk inverter pada sistem Pembangkit Hybrid.



Gambar 4. 17 Pengukuran Tegangan AC pada Output Inverter
Sumber : penulis, 2022



Gambar 4. 18 Pengukuran Frekuensi pada Output Inverter
Sumber : penulis, 2022

Adapun data hasil pengujian modul inverter pada variasi beban disajikan pada tabel

4.10

Tabel 4. 10 Data Pengujian Modul Inverter Pada Variasi Beban

Beban	Input		Output		
	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Frekuensi
Lp 5 W	13,6	100	224,6	4,93	49,9 Hz
Lp 12 W	13,52	100	223,4	4,97	49,9 Hz
Lp 17 W	13,50	100	224,1	5,043	49,9 Hz
Lp 20 W	13,49	100	224,0	5,023	49,9 Hz
Ka 50 W	13,42	0,334	226,0	5,063	49,9 Hz

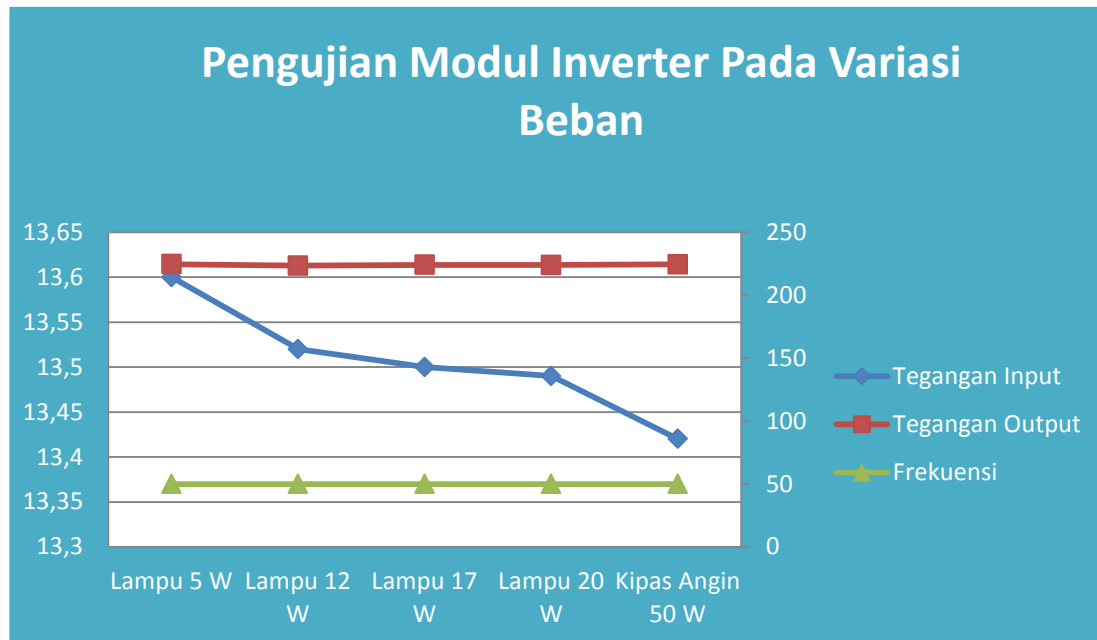
Sumber : Penulis, 2022

Keterangan :

Lp = Beban Lampu

Ka = Kipas Angin

Dari tabel menampilkan bahwa pengaruh perbandingan dari tegangan baterai yang merupakan input dari inverter dan tegangan keluaran inverter berupa arus AC terhadap variasi beban yang ditampilkan pada gambar 4.19



Gambar 4. 19 Grafik Pengujian Modul Inverter Pada Variasi Beban

Sumber : penulis, 2022

Berdasarkan gambar 4.19 Tegangan input baterai mengalami penurunan seiring dengan pertambahan beban yang diuji. Keluaran tegangan inverter pada tiap tiap beban memiliki keluaran beban AC yang hampir sama, rata rata 224 Volt AC dan keluaran Frekuensi sebesar 49,9 Hz. Kondisi pada inverter berfungsi dengan baik setelah diuji karena kestabilan tegangan yang diberikan sesuai dengan standar PLN 230 VAC dan standar frekuensi Indonesia 50 Hz.

4.6 Hasil Pengujian Optimasi Kinerja Sistem Pembangkit Hybrid

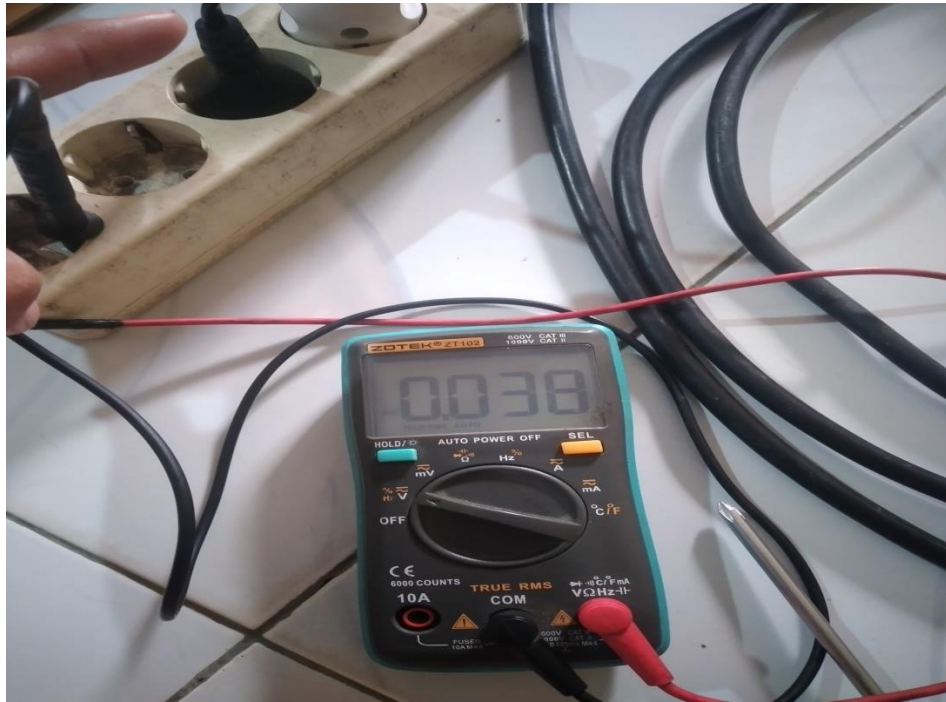
Pengujian optimasi kinerja pembangkit *hybrid* bertujuan untuk mengetahui ketahanan baterai pada sistem pembangkit hybrid yang sudah terisi penuh oleh kombinasi antara *vertical axis wind turbine* dan modul surya dimana baterai

digunakan sebagai penyuplai inveter. Beban pada pengujian ini adalah total beban variasi yang diuji pada pengujian modul inverter sebesar 104 Watt. Penggunaan kapasitas baterai pada pengujian ini disetting pada pengaturan display solar charge controller (*discharge stop*) pada tegangan 10,00 V. Untuk menghindari penggunaan baterai berlebih (*under discharge voltage*) dikarenakan baterai tidak boleh digunakan 100 % untuk menjaga keawetan baterai terjaga dengan baik.



Gambar 4. 20 Pengujian Optimasi Kinerja Sistem Pembangkit Hybrid Dengan Beban

Sumber : Penulis, 2022



Gambar 4. 21 Pengukuran Tegangan Output Inverter Disaat Tegangan Baterai Pada Dispay SCC Sebesar 10,00 V

Sumber : Penulis, 2022

Adapun data hasil pengujian optimasi kinerja sistem pembangkit hybrid disajikan pada tabel 4.11

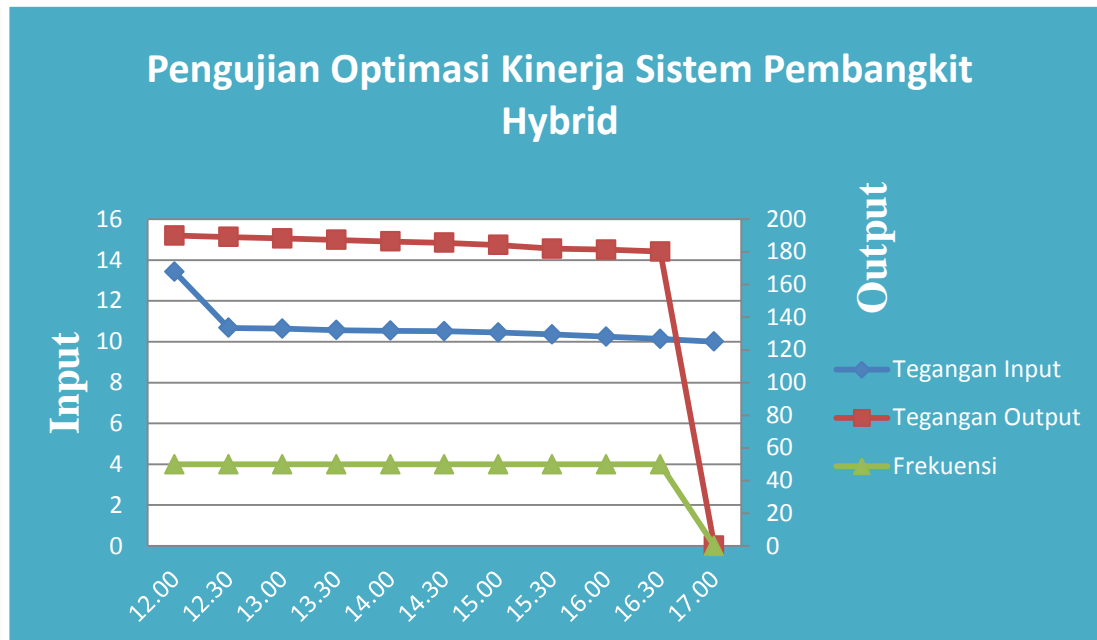
Tabel 4. 11 Data Pengujian Modul Inverter Pada Variasi Beban

Waktu (t)	Beban (W)	Input		Output		
		Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)	Frekuensi (Hz)
12.00	104	13,42	100	190,0	3,805	49,9
12.30	104	10,68	100	189,1	3,887	49,9
13.00	104	10,64	100	188,2	3,880	49,9

13.30	104	10,57	100	187,3	3,867	49,9
14.00	104	10,54	100	186,4	3,904	49,9
14.30	104	10,51	100	185,6	3,908	49,9
15.00	104	10,45	100	184,2	3,886	49,9
15.30	104	10,36	100	182,0	3,835	49,9
16.00	104	10,25	100	181,4	3,841	49,9
16.30	104	10,14	100	180,2	3,815	49,9
17.00	104	10,00	0,003	0,038	0	0

Sumber : Penulis, 2021

Berdasarkan tabel 4.11 baterai 12 V DC 100 Ah yang sudah terisi penuh mampu beroperasi dari pukul 12.00 WIB sampai 17.00 WIB dengan menggunakan beban 104 Watt. Tegangan output pada inverter pada pukul 12.00 terukur sebesar 190,0 Volt AC dengan arus yang mengalir terukur sebesar 3,805 Ampere dengan frekuensi 49,9 Hz. Pada tabel diatas juga terlihat keluran frekuensi pada output inverter konstan 49,9 Hz sampai pukul 16.30 WIB.



Gambar 4. 22 Grafik Pengujian Optimasi Kinerja Pembangkit Hybrid

Sumber : Penulis, 2022

Berdasarkan gambar 4.22 tegangan mula mula terukur sebesar 13,42 Volt DC pada pukul 12.00 WIB beroperasi dengan menggunakan beban 104 Watt dimana tegangan keluaran inverter terukur sebesar 190 Volt AC . Setelah setengah jam tegangan terkuras terukur sebesar 10,64 Volt pada pukul 12.30 WIB sementara tegangan keluaran inverter juga mengalami hal serupa menurun terukur sebesar 189,1 Volt AC. Pada pukul 17.00 Display *solar charge controller* menunjukkan tegangan baterai 10,00 Volt DC dan menstop suplay ke inverter yang menyebabkan tegangan ouput inverter terukur sebesar.0,038 Volt AC sementara frekuensi juga megalami hal serupa terukur 0 Hz, sehinga semua beban yang diuji padam.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil uji pada penelitian yang berjudul “Analisis Optimasi Sistem Pembangkit Listrik Hybrid Di Laboratorium Teknik Elektro Universitas Pembangunan Panca Budi ” dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Tegangan pada pengujian Vertikal Axis Wind Turbine belum optimal menghasilkan keluaran 12 Volt, tegangan tertinggi terukur sebesar 3,20 Volt pada kecepatan angin 3,9 m/s.
2. Intensitas cahaya matahari sangat berpengaruh pada pengujian modul surya berbeban 5 V/DC yang menghasilkan daya input (Pin) sebesar 74,907 Watt, daya output (Pout) sebesar 11,484 Watt dengan efisiensi sebesar 15%.
3. Intensitas cahaya matahari tertinggi pada pengujian modul surya tidak berbeban terukur sebesar 100,096 W/m² pada pukul 12.10 WIB yang menghasilkan tegangan terbuka (Voc) sebesar 19,86 Volt.
4. Hasil pengujian pengisian baterai dari kondisi awal baterai 12,9 V/ 100 Ah sampai terisi penuh 13,64 V/100 Ah membutuhkan waktu selama 25 jam dimana Verikal Axis wind turbine menghasilkan daya total sebesar 715,25 Watt dengan energi rata rata perjamnya sebesar 28,61 Watt, dan Modul Surya

menghasilkan daya total sebesar 816,59 Watt dengan energi rata rata perjamnya sebesar 32,66 Wp.

5. Hasil pengujian hasil pengujian modul inverter keluaran tegangan inverter pada tiap tiap beban memiliki keluaran beban AC yang hampir sama, rata rata 224 Volt AC dan keluaran Frekuensi sebesar 49,9 Hz. Kondisi pada inverter berfungsi dengan baik setelah diuji karena kestabilan tegangan yang diberikan sesuai dengan standar PLN 230 VAC dan standar frekuensi Indonesia 50 Hz.
6. Hasil pengujian optimasi kinerja pembangkit hybrid disaat baterai 100 Ah sudah terisi penuh terukur sebesar 13,42 Volt DC disetting pada pengaturan *solar charge controller (discharge stop)* pada tegangan 10,00 V. Mampu menyuplai inverter dengan beban 104 Watt selama 5 Jam.

5.2 Saran

1. Vertikal axis wind turbine harus ditempatkan pada area yang lebih tinggi agar memaksimalkan hembusan angin supaya keluaran vertikal axis wind turbine lebih optimal.
2. Tegangan yang dihasilkan vertikal axis wind turbine tidak stabil, maka di butuhkan konverter DC ke DC dengan menggunakan modul MT-3608 agar menstabilkan output vertikal axis wind turbine pada kecepatan angin yang rendah bisa menghasilkan keluaran tegangan sebesar 12 Volt sampai 28 Volt dengan Input 2 Volt.
3. Dapat menghitung efisiensi vertikal axis wind turbine menggunakan modul MT-3608 disaat output nya sudah stabil 12 V.

4. Dapat menggunakan lebih banyak modul surya dengan efisiensi yang lebih tinggi dari pada penelitian ini, agar pengisian baterai bisa lebih cepat penuh.
5. Menggunakan lebih banyak baterai untuk menyimpan lebih banyak sumber energi listrik yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Qowi Aziz. 2018. *Desain Dan Implementasi Battery Management System Pada Kendaraan Listrik*.
- Agny Muhammad Nureza. 2017. *Analisis Pengaruh Komposisi Glycine Pada Proses Sintesa Anoda*.
- Aryza, S., Irwanto, M., Lubis, Z., Siahaan, A. P. U., Rahim, R., & Furqan, M. (2018). A Novelty Design Of Minimization Of Electrical Losses In A Vector Controlled Induction Machine Drive. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 300, No. 1, p. 012067). IOP Publishing.
- Evan Permana. Dkk. 2016. *Jurnal Teknik Industri*. Vol. 03, No. 04. ISSN: 2338 – 5081.
- Hamdani, H., Tharo, Z., & Anisah, S. (2019, May). Perbandingan Performansi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Antara Daerah Pegunungan Dengan Daerah Pesisir. In *Seminar Nasional Teknik (Semnastek) Uisu* (Vol. 2, No. 1, pp. 190-195).
- Heryanto Rusmaryadi. Dkk. 2018. *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 1, No. 2. p-ISSN: 2621 – 3354.
- Ir. Ida Bagus Ketut Sugrianta, MT. 2019. *Draft Buku Ajar Pembangkit Listrik Tenaga Surya*.
- Muhammad Baharuddin Arif Aswar. 2018. *Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Hybrid Panel Surya (Photovoltaic) Dan Generator Pada Floating Platform*.
- Putri, M., Wibowo, P., Aryza, S., & Utama Siahaan, A. P. Rusiadi.(2018). An implementation of a filter design passive lc in reduce a current harmonisa. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 9(7), 867-873.
- Rafika Andari. 2017. *Jurnal Ilmu Dan Inovasi Fisika*, Vol. 01, No. 02. ISSN: 2549 – 0516.
- Rahmaniar, R. (2019). *Model flash-nr Pada Analisis Sistem Tenaga Listrik (Doctoral Dissertation, Universitas Negeri Padang)*.
- Suwarti. Dkk. 2018. *Analisis Pengaruh Intensitas Matahari, Suhu Permukaan & Sudut Pengarah Terhadap Kinerja Panel Surya*.
- Zian Iqtimal. Dkk. 2018. *Jurnal Online Teknik Elektro*, Vol. 03. No. 01. e-ISSN: 2252 – 7036.