

UJI KERJA PEMBANGKIT LISTRIK *HIBRYD* TENAGA SURYA  
DAN BAYU TIPE VAWT *CROSS-FLOW* UNTUK PENERANGAN  
JALAN



SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan  
pendidikan diploma empat (D-4) Program Studi Teknik Pembangkit Energi  
Jurusan Teknik Mesin  
Politeknik Negeri Ujung Pandang

Delfiyana  
Muh. Syahrul

442 18 031  
442 18 041

PROGRAM STUDI D-4 TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG  
MAKASSAR  
2022

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini dengan judul "Uji Kerja Pembangkit Listrik Hybrid Tenaga Surya dan Bayu Tipe VAWT *Cross-flow* untuk Penerangan Jalan" oleh Mahasiswa atas nama Delfiyana NIM 44218031 dan Muh. Syahrul NIM 44218041 telah diterima dan disahkan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik pada Program Studi D4 Teknik Pembangkit Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 23 September 2022

Pembimbing I



Dr. Ir. Firman, M.T.  
NIP. 19641231 199103 1 028

Pembimbing II



Musrady Mulyadi, S.ST., M.T.  
NIP. 19720201 200112 1 002

Mengetahui

Koordinator Program Studi,



H. Chandra Buana, M.T.  
NIP. 19650319 199103 1 003

## HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, hari Jumat tanggal 23 September 2022, Tim Penguji Ujian Sidang Skripsi telah menerima dengan baik skripsi oleh mahasiswa: Delfiyana NIM 442 18 031 dan Muh. Syahrul NIM 442 18 041 dengan Uji Kerja Pembangkit Listrik Hybrid Tenaga Surya dan Bayu tipe VAWT *Cross-flow* untuk Penerangan Jalan.

Makassar, 23 September 2022

Tim Penguji Ujian Sidang Skripsi:

- |    |                                      |            |         |
|----|--------------------------------------|------------|---------|
| 1. | Ir. LaOde Musa, M.T.                 | Ketua      | (.....) |
| 2. | Ir. Nur Hamzah, M.T., Ph. D.         | Sekretaris | (.....) |
| 3. | Prof. Ir. Makmur Saini, M.T., Ph. D. | Anggota    | (.....) |
| 4. | Ir. Herman, M.T.                     | Anggota    | (.....) |
| 5. | Dr. Ir. Firman, M.T.                 | Pengarah   | (.....) |
| 6. | Musrady Mulyadi, S.ST., M.T.         | Pengarah   | (.....) |

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhannahu Wa Ta'ala karena berkat rahmat dan karunia-Nya, penulis skripsi ini yang berjudul **“Uji Kerja Pembangkit Listrik Hybrid Tenaga Surya dan Bayu tipe VAWT *Cross-flow* untuk Penerangan Jalan”** dapat diselesaikan dengan baik.

Dalam penulisan skripsi ini tidak sedikit hambatan yang penulis alami. Namun, berkat bantuan berbagai pihak terutama pembimbing, hambatan tersebut dapat teratasi. Sehubungan dengan itu, pada kesempatan dan melalui lembaran ini penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan kepada :

1. Kedua orang tua penulis yang tak henti-hentinya mendoakan dan memberikan dukungan kepada kami;
2. Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang kepada Bapak Prof. Ir. Muhammad Anshar, M.Si., Ph.D;
3. Ketua Jurusan Teknik Mesin kepada Bapak Rusdi Nur, S.ST., M.T., Ph.D;
4. Koordinator Program Studi D4 Teknik Pembangkit Energi kepada Bapak Ir. Chandra Buana, M.T;
5. Bapak Dr. Ir. Firman, M. T. sebagai pembimbing I dan Bapak Musrady Mulyadi, S.ST., M.T. sebagai Pembimbing II yang telah mencurahkan perhatian dan kesempatannya untuk mengarahkan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini;
6. Segenap Dosen pada Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, Khususnya Dosen pada Program Studi Teknik Pembangkit Energi;
7. Seluruh tenaga kependidikan dan instruktur pada Program Studi Teknik Pembangkit Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang;
8. Teman-teman Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, khususnya teman-teman pada Program Studi Teknik Pembangkit Energi angkatan 2018 yang telah membantu dan memberikan dukungannya dan seluruh pihak-pihak yang telah membantu terselesainya skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan karena tak ada gading yang tak retak seperti itulah juga penulis sekeras-kerasnya berupaya menyempurnakan namun masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya konstruktif demi kesempurnaan skripsi ini. Semoga Skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Makassar, September 2022

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN .....	ii
HALAMAN PENERIMAAN.....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR SIMBOL, SATUAN, SINGKATAN .....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
SURAT PERNYATAAN .....	xiv
RINGKASAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	2
1.1 Latar Belakang .....	2
1.2 Rumusan Masalah .....	6
1.3 Ruang Lingkup Penelitian.....	6
1.4 Tujuan Penelitian.....	7
1.5 Manfaat Penelitian.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	8

2.1	Pembangkit Listrik Tenaga <i>Hybrid</i> .....	8
2.2	Pembangkit Listrik Tenaga Surya .....	10
2.2.1	Energi Surya.....	10
2.2.2	Potensi Energi Surya.....	11
2.2.3	Panel Surya .....	11
2.3	Pembangkit Listrik Tenaga Bayu.....	15
2.3.1	Energi Angin.....	15
2.3.2	Potensi Energi Angin .....	16
2.3.3	Turbin Angin.....	17
2.3.4	Generator.....	23
2.3.5	Sproket dan rantai .....	25
2.4	Charge Controller.....	27
2.5	Baterai .....	28
2.6	Lampu.....	30
BAB III METODE PENELITIAN .....		32
3.1	Tempat dan Waktu Kegiatan.....	32
3.2	Alat dan Bahan .....	32
3.3	Prosedur Kerja.....	33
3.4	Tahap Perancangan .....	34
3.4.1	Perancangan PLTH .....	34



3.4.2	Perancangan Sistem Kelistrikan PLTH.....	35
3.5	Tahap Perakitan.....	36
3.5.1	Kerangka PLTH.....	36
3.5.2	Turbin crossflow .....	37
3.5.3	Rangkaian Listrik.....	38
3.6	Pengujian Alat.....	38
3.7	Teknik Analisis Data.....	42
3.7.1	Tenaga Surya .....	42
3.7.2	Tenaga Bayu .....	43
3.7.3	Tenaga Hybrid .....	44
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>47</b>
4.1	Analisa Data.....	49
4.2.1	Pengujian PLTS .....	49
4.2.2	Pengujian PLTB.....	49
4.2.3	Pengujian PLTH.....	51
4.2	Grafik dan Pembahasan.....	53
4.2.1	Grafik Pembahasan Pengujian PLTS.....	53
4.2.2	Grafik Pembahasan Pengujian PLTB .....	56
4.2.3	Grafik Pembahasan Pengujian PLTH .....	60
4.3	Analisis Perhitungan Biaya Ekonomi .....	64

4.3.1	Biaya Listrik.....	64
4.3.2	Investasi Awal.....	65
4.3.3	Payback Period.....	66
BAB V PENUTUP .....		67
5.1	Kesimpulan.....	67
5.2	Saran.....	68
DAFTAR PUSTAKA.....		69
LAMPIRAN.....		71





## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Pengelompokkan potensi energi angin .....	17
Tabel 4. 1 Biaya investasi awal pembangkit listrik tenaga hibrid (surya-bayu) untuk penerangan jalan.....	65



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Konfigurasi pembangkit listrik hybrid tenaga surya dan bayu .....	10
Gambar 2. 2 Instensitas radiasi matahari di Indonesia .....	11
Gambar 2. 3 Proses konversi energi cahaya matahari menjadi listrik .....	13
Gambar 2. 4 Sel surya mono-crystalline .....	13
Gambar 2. 5 Sel surya polycrystalline .....	14
Gambar 2. 6 Sel surya Thin Film Solar cell.....	14
Gambar 2. 7 Jenis-jenis Turbin angin tipe HAWT .....	18
Gambar 2. 8 Jenis-jenis Turbin angin tipe VAWT .....	20
Gambar 2. 9 Turbin <i>Crossflow</i> .....	22
Gambar 2. 10 Generator DC .....	24
Gambar 2. 11 Konsturksi generator DC.....	25
Gambar 2. 12 Rantai dan sproket.....	26
Gambar 2. 13 Solar Charge Controler .....	28
Gambar 2. 14 Baterai .....	30
Gambar 2. 15 Lampu 20 watt.....	31
Gambar 3. 1 Flowchart prosedur kerja .....	33
Gambar 3. 2 Perancangan PLTH .....	34
Gambar 3. 3 Flowchart sistem kelistrikan .....	35
Gambar 3. 4 Kerangka PLTH .....	36

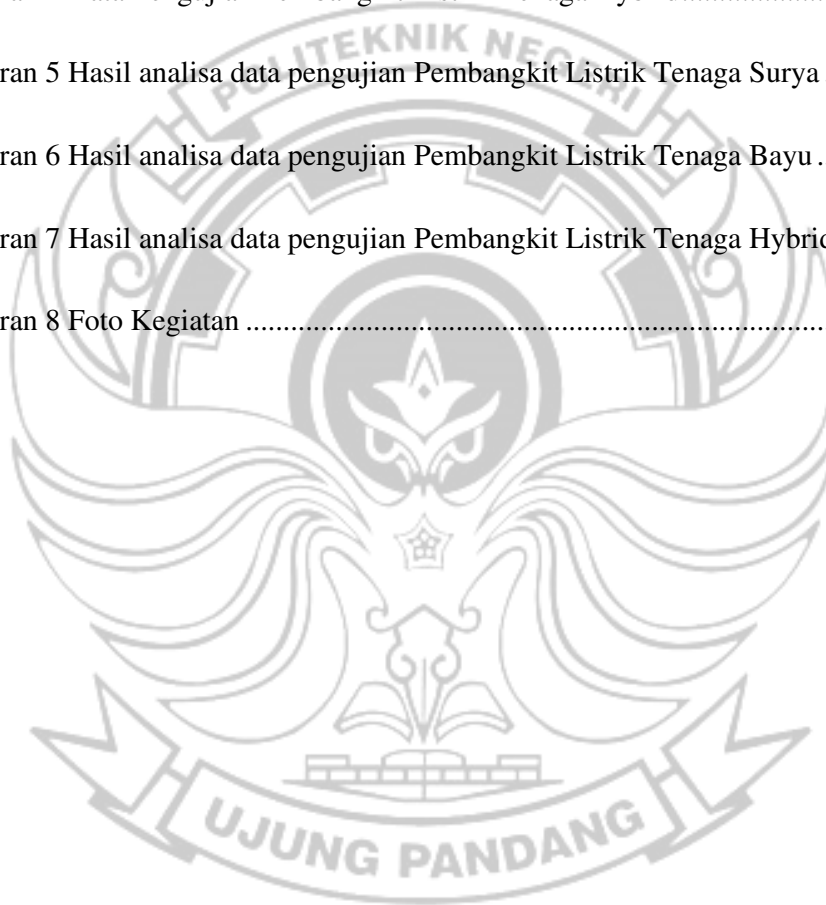
Gambar 3. 5 Turbin crossflow .....	37
Gambar 3. 6 Rangkaian listrik PLTH .....	38
Gambar 3. 7 Skema Pengujian PLTH.....	41
Gambar 4. 1 Turbin crossflow .....	47
Gambar 4. 2 Hasil pembuatan PLTH.....	48
Gambar 4. 3 Grafik hubungan waktu terhadap intensitas cahaya matahari.....	53
Gambar 4. 4 Grafik hubungan waktu terhadap tegangan dan arus .....	54
Gambar 4. 5 Grafik hubungan waktu terhadap daya input dan daya output.....	55
Gambar 4. 6 Grafik hubungan waktu terhadap kecepatan angin dan kecepatan putar generator .....	56
Gambar 4. 7 Grafik hubungan waktu terhadap tegangan dan arus .....	57
Gambar 4. 8 Grafik hubungan waktu terhadap terhadap daya angin dan daya output .....	58
Gambar 4. 9 Grafik hubungan kecepatan angin terhadap TSR.....	59
Gambar 4. 10 Grafik hubungan waktu terhadap intensitas cahaya matahari dan kecepatan angin.....	60
Gambar 4. 11 Grafik hubungan waktu terhadap daya input PLTS.....	61
Gambar 4. 12 Grafik hubungan waktu terhadap daya input PLTB (Daya angin)	62
Gambar 4. 13 Grafik hubungan waktu dengan tegangan dan arus .....	63
Gambar 4. 14 Grafik hubungan waktu terhadap daya Hibrid .....	64

## DAFTAR SIMBOL, SATUAN, SINGKATAN

SIMBOL	SATUAN	KETERANGAN
G	$W/m^2$	Intensitas cahaya matahari
A	$m^2$	Luas permukaan area panel/ Luas area sapuan rotor
$\rho$	$kg/m^3$	Massa jenis udara
v	m/s	Kecepatan angin
V	V	Tegangan
I	A	Arus
P <sub>in</sub>	Watt	Daya input
P <sub>out</sub>	Watt	Daya output
P <sub>w</sub>	Watt	Daya angin
X	-	Tip speed ratio
D	M	Diameter
N	RPM	Kecepatan putar
$\eta_s$	%	Efisiensi Sistem
z	-	Jumlah gigi pada gear

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar Teknik Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid.....	71
Lampiran 2 Data pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Surya.....	75
Lampiran 3 Data pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Bayu.....	76
Lampiran 4 Data Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid.....	79
Lampiran 5 Hasil analisa data pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Surya .....	82
Lampiran 6 Hasil analisa data pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Bayu .....	83
Lampiran 7 Hasil analisa data pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid .....	85
Lampiran 8 Foto Kegiatan .....	87



## SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Delfiyana  
NIM : 442 18 031  
Program Studi : D4 Teknik Pembangkit Energi  
Tempat / Tgl. Lahir : Raha, 28 Mei 2000  
Alamat : Jln. Politeknik Pondok Nur Iksan

Dengan ini menyatakan:

A. Tugas Akhir / Skripsi yang berjudul:

“Uji Kerja Pembangkit Listrik Hybrid Tenaga Surya dan Bayu tipe VAWT  
*Cross-flow* untuk Penerangan Jalan”

Adalah benar disusun / dibuat oleh saya sendiri dan jika dikemudian hari diketahui berdasarkan bukti-bukti yang kuat ternyata Tugas Akhir / Skripsi tersebut dibuatkan oleh orang lain atau diketahui bahwa Tugas Akhir / Skripsi tersebut merupakan plagiat/mencontek/menjiplak hasil karya ilmiah orang lain, maka dengan ini saya siap menerima segala yang ditimbulkan berupa pembatalan/pencabutan Gelar Akademik dan siap mengulang kembali dari awal.

B. Bahwa seluruh dokumen (copy ijazah, copy transkrip nilai) dan lain-lain sebagai persyaratan sidang adalah asli milik saya pribadi dan dapat saya pertanggung jawabkan keasliannya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Makassar, 19 September 2022



10000  
METERAI  
TEMPEL  
86FAKX197958231  
Delfiyana



## SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Muh. Syahrul  
NIM : 442 18 041  
Program Studi : D4 Teknik Pembangkit Energi  
Tempat / Tgl. Lahir : Takalar, 21 Desember 1999  
Alamat : Perumahan Graha Tiga Putra No. A 12

Dengan ini menyatakan:

A. Tugas Akhir / Skripsi yang berjudul:

“Uji Kerja Pembangkit Listrik Hybrid Tenaga Surya dan Bayu tipe VAWT  
*Cross-flow* untuk Penerangan Jalan”

Adalah benar disusun / dibuat oleh saya sendiri dan jika dikemudian hari diketahui berdasarkan bukti-bukti yang kuat ternyata Tugas Akhir / Skripsi tersebut dibuatkan oleh orang lain atau diketahui bahwa Tugas Akhir / Skripsi tersebut merupakan plagiat/mencontek/menjiplak hasil karya ilmiah orang lain, maka dengan ini saya siap menerima segala yang ditimbulkan berupa pembatalan/pencabutan Gelar Akademik dan siap mengulang kembali dari awal.

B. Bahwa seluruh dokumen (copy ijazah, copy transkrip nilai) dan lain-lain sebagai persyaratan sidang adalah asli milik saya pribadi dan dapat saya pertanggung jawabkan keasliannya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Makassar, 19 September 2022



Muh. Syahrul



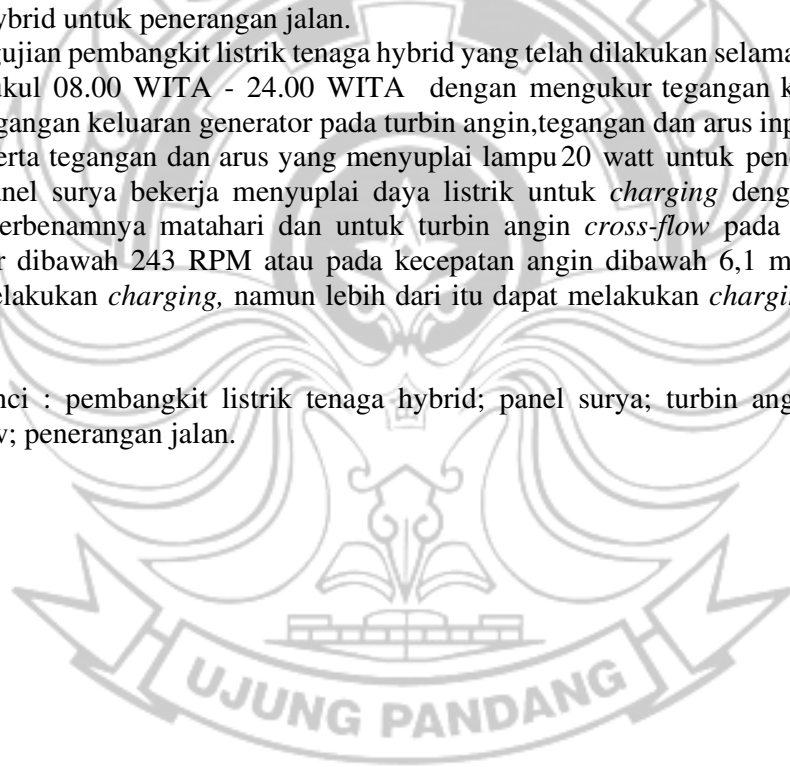
## RINGKASAN

Pemanfaatan energi surya dan bayu dapat di kolaborasikan dan dibuat menjadi pembangkit listrik tenaga *hyrid*, yaitu pembangkit listrik yang memanfaatkan lebih dari satu sumber tenaga, pembangkit listrik tenaga *hybrid* merupakan solusi untuk mengatasi krisis energi listrik di daerah terpencil, pulau - pulau maupun daerah perkotaan. Pembangkit listrik tenaga *hybrid* untuk mengoptimalkan dan saling menutupi kekurangan apabila salah satu tidak beroperasi dengan baik.

Tujuan dari tugas akhir ini diharapkan kinerja dari pembangkit listrik hybrid ini, yang merupakan gabungan antara tenaga surya dan tenaga bayu dapat dimanfaatkan untuk penerangan jalan di daerah pesisir pantai. Metode pembuatan pembangkit listrik tenaga hybrid melalui beberapa tahapan: (1) perancangan pembangkit listrik tenaga surya; (2) perancangan pembangkit listrik tenaga bayu VAWT type crossflow menggunakan 12 blade; (3) pengujian pembangkit listrik tenaga hybrid untuk penerangan jalan.

Pengujian pembangkit listrik tenaga hybrid yang telah dilakukan selama 16 jam mulai pukul 08.00 WITA - 24.00 WITA dengan mengukur tegangan keluaran panel, tegangan keluaran generator pada turbin angin, tegangan dan arus input pada baterai serta tegangan dan arus yang menyuplai lampu 20 watt untuk penerangan jalan. Panel surya bekerja menyuplai daya listrik untuk *charging* dengan baik sampai terbenamnya matahari dan untuk turbin angin *cross-flow* pada putaran generator dibawah 243 RPM atau pada kecepatan angin dibawah 6,1 m/s tidak dapat melakukan *charging*, namun lebih dari itu dapat melakukan *charging* pada baterai.

Kata kunci : pembangkit listrik tenaga hybrid; panel surya; turbin angin type crossflow; penerangan jalan.



# **BAB I PENDAHULUAN**

## **1.1 Latar Belakang**

Energi listrik merupakan hal yang sangat penting untuk mendukung aktivitas keseharian masyarakat. Adapun aktivitas berupa pengoperasian alat-alat yang membutuhkan energi listrik mulai dari pagi hari sampai pada malam hari. Salah satunya adalah lampu penerangan jalan yang merupakan alat yang membantu masyarakat melakukan aktivitas pada malam hari untuk meningkatkan keselamatan dan kenyamanan pengendara dan juga penduduk sekitar. Namun, pada kenyataannya penyebaran fasilitas penerangan jalan belum merata secara keseluruhan akibat tidak mendapatkan pasokan listrik dari PLN. Pemanfaatan sumber energi baru terbarukan di daerah sekitar bisa menjadi solusi untuk pembuatan penerangan jalan.

Energi terbarukan merupakan pemanfaatan sumber-sumber energi seperti tenaga surya, energi angin, energi ombak laut, serta tenaga hidroelektrik sebagai beberapa contohnya (Barreto, 2018). Bentuk-bentuk energi tersebut adalah sumber energi alternatif yang mumpuni dan ramah lingkungan dikarenakan rendahnya emisi karbon yang diproduksi dari konsumsi energi tersebut, serta konstruksi maupun pengoperasian infrastruktur pembangkitnya (Pehl et al., 2017).

Indonesia kaya akan dengan potensi energi terbarukan yang belum dimanfaatkan secara optimal. Menurut data ESDM, dengan teknologi yang ada saat ini, potensi listrik dari energi terbarukan mencapai 432 GW, atau 7-8 kali dari total

kapasitas pembangkit terpasang saat ini. Dari potensi tersebut, baru sekitar 7 GW yang telah dimanfaatkan secara komersial, dan hingga tahun 2028, akan ada penambahan sekitar 29 GW oleh PLN berdasarkan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2019-2028. Sementara itu, Rencana Umum Energi Daerah (RUED) yang disusun oleh 34 pemerintah provinsi mengindikasikan total kapasitas terpasang energi terbarukan pada tahun 2025 mencapai 48 GW. (IESR, 2019)

Potensi energi surya di Indonesia sangatlah baik hal ini dikarenakan Indonesia terletak di garis khatulistiwa, sehingga Indonesia mempunyai sumber energi surya yang berlimpah dengan intensitas radiasi matahari rata-rata sekitar 4.8 kWh/m<sup>2</sup> per hari di seluruh wilayah Indonesia. Dengan berlimpahnya sumber energi surya yang belum dimanfaatkan secara optimal, sedangkan di sisi lain ada sebagian wilayah Indonesia yang belum terlistriki karena tidak terjangkau oleh jaringan listrik PLN.

Kecepatan rata-rata energi bayu di Sulawesi Selatan berkisar 2-4 m/s. Pada beberapa daerah tertentu Takalar, Bulukumba, Sidrap dan Selayar kecepatan anginnya melebihi 4 m/s, sehingga cukup memadai untuk pembangkit listrik skala kecil di pasang di daerah pedesaan (Departemen Energi Sumber Daya Mineral, 2011).

Pemanfaatan energi surya dan bayu dapat di kolaborasikan dan dibuat menjadi pembangkit listrik tenaga *hyrid* untuk penerangan jalan, yaitu pembangkit listrik yang memanfaatkan lebih dari satu sumber tenaga, pembangkit listrik tenaga *hybrid* merupakan solusi untuk mengatasi krisis energi listrik di daerah terpencil,

pulau-pulau maupun daerah perkotaan. Adapun tujuan dari pemasangan Pembangkit listrik tenaga *hybrid* untuk mengoptimalkan dan saling menutupi kekurangan apabila salah satu tidak beroperasi dengan baik.

Darsan dkk. (2020) dalam penelitiannya yang berjudul “Perencanaan Pembangkit Listrik Hybrid VAWT dan Solar Cell Secara Otomatis untuk Penerangan Jalan” telah membuat pembangkit hybrid tenaga surya menggunakan Panel surya 30 Wp dan tenaga angin menggunakan turbin Angin Sumbu Vertikal (VAWT) model Savonius dirancang bangun dengan menggunakan 3 buah blade, untuk panel surya berhasil mendapatkan tegangan sebesar 19,59 V dan 19,92 V dan tegangan rata-rata 14 Volt pada radiasi matahari sekitar 26°C sampai 32°C dan untuk turbin anginnya pengujian dengan pengukuran tegangan generator pada kecepatan putaran rotor generator 122 rpm sampai dengan 214 rpm dihasilkan tegangan keluaran sebesar 0,93 V sampai dengan 1,17 V. Kekurangan dari hasil penelitian ini adalah tegangan keluaran dari generator bernilai kecil yaitu 1,17 V sehingga masih kurang untuk pengecasan baterai untuk menghasilkan daya yang besar. Kelebihan dari hasil penelitian ini adalah tegangan yang dihasilkan pada panel surya sudah cukup untuk mengisi baterai sebesar 14 Volt dan energi listrik yang disimpan mampu menyalakan dua buah lampu LED dengan daya sebesar 15 Watt dan bertahan selama 12 jam/hari.

Klemm dkk. (2007) dalam penelitiannya yang berjudul “Aplication of Cross Flow Fan As Wind Turbine” telah membuat penelitian tentang simulasi udara pada turbin *cross-flow* sebagai turbin angin menggunakan simulasi CFD dan PIV menunjukkan bahwa turbin dengan *runner cross-flow* memiliki potensi untuk

diaplikasikan sebagai turbin angin, namun hal yang harus di perhatikan adakah struktur dari blade tersebut untuk meningkatkan performasi dari turbin *cross-flow* sebagai turbin angin.

Permadi (2018) dalam penelitiannya yang berjudul “Uji Eksperimental Turbin Angin Sumbu Vertikal Jenis *Cross-flow* dengan Variasi Jumlah Blade” telah membuat uji eksperimental dengan variasi jumlah blade sebanyak 6,8 dan 12 blade memiliki hasil unjuk kerja, Daya elektrik generator ( $P_g$ ) tertinggi pada variasi jumlah *blade* 12 sebesar 3,87W pada kecepatan angin 5,52 m/s dengan pembebanan lampu 5w12v. Sedangkan *tip speed ratio* ( $\lambda$ ) tertinggi pada variasi jumlah *blade* 12 sebesar 0,59 pada kecepatan angin 5,52 m/s dan Efisiensi *overall* ( $\eta$ ) turbin angin sumbu vertical jenis *cross flow* pada kondisi angin di lapangan, hasil tertinggi diperoleh pada turbin angin dengan variasi jumlah *blade* 12 sebesar 3,76% pada kecepatan angin 5,52 m/s. Kelebihan dari hasil penelitian ini adalah bukti eksperimen penambahan jumlah *blade* berpengaruh pada putaran poros dari turbin sehingga daya yang dihasilkan lebih besar. Kemudian memberikan saran pada peneliti selanjutnya untuk menggunakan bahan *blade* yang lebih ringan dan kuat dalam perancangan turbin.

Sistiawan dan Pamor Gunoto (2019) dalam penelitiannya “Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (Tenaga Surya Dan Tenaga Angin) Dengan Kapasitas 20 W” mengatakan bahwa pembangkit listrik hybrid akan mengkombinasikan tenaga surya dari matahari dan tenaga bayu dari hembusan angin. Selain itu ketika hembusan angin sedang lemah maka suplai listrik akan di bantu dengan panel surya begitupun ketika cuaca sedang mendung atau di malam

hari maka suplai listrik akan dibantu oleh turbin angin.

Berdasarkan penelitian di atas maka topik penelitian yang kami angkat adalah "Uji Kerja Pembangkit Listrik *Hybrid* Tenaga Surya dan Bayu Tipe *VAWT Cross-flow* untuk Penerangan Jalan". dengan diharapkan penelitian ini dapat menghasilkan daya yang lebih besar untuk penerangan jalan.

### **1.2 Rumusan Masalah**

1. Bagaimana merancang suatu pembangkit listrik hybrid tenaga surya menggunakan *solar cells* dan tenaga bayu menggunakan *VAWT cross-flow* dengan penerangan jalan ?
2. Bagaimana kinerja dari panel surya dan turbin angin tipe *VAWT cross-flow* dalam menghasilkan daya ?
3. Bagaimana kinerja pembangkit listrik *hybrid* untuk penerangan jalan ?

### **1.3 Ruang Lingkup Penelitian**

Agar lebih fokus dalam mencapai tujuan penelitian, maka pada "Uji Kerja Pembangkit Listrik *Hybrid* Tenaga Surya dan Bayu Tipe *VAWT Cross-flow* untuk Penerangan Jalan", ruang lingkup penulisannya hanya dibatasi sebagai berikut.

1. Perencanaan dan pembuatan penelitian pembangkit *hybrid* ini menggunakan beban lampu 20 Watt untuk penerangan jalan.
2. Turbin angin yang digunakan adalah tipe *VAWT cross-flow* dengan jumlah Blade sebanyak 12 buah.

3. Panel surya yang digunakan adalah jenis *Mono-Crystalline* berkapasitas 50 WP.
4. Pengujian penelitian ini dilakukan di pesisir pantai Padang Savana Kabupaten Takalar dengan kecepatan angin sekitar 4 m/s sampai 9 m/s.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

1. Merancang suatu pembangkit listrik hybrid tenaga surya dan bayu untuk penerangan lampu jalan sesuai dengan kondisi alam pesisir pantai Padang Savana Kab. Takalar.
2. Mengetahui kinerja dari *solar sells* turbin angin tipe VAWT cross-flow dalam menghasilkan daya.
3. Untuk mengetahui kinerja pembangkit listrik hybrid untuk penerangan jalan.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini yaitu dapat mengetahui pemanfaatan energi sekitar untuk membuat penerangan jalan dengan sistem pembangkit listrik *hybrid* tenaga surya dan bayu dan secara umum diharapkan bermanfaat bagi penelitian mengenai energi terbarukan.



## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid***

Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* (PLTH) merupakan gabungan dari dua atau lebih jenis pembangkit Listrik berbahan bakar minyak dengan pembangkit listrik dari energi terbarukan umumnya. Sistem pembangkit yang banyak digunakan untuk pembangkit listrik *hybrid* biasanya adalah pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH), pembangkit dari generator set, pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) dan lain-lain. Pada penelitian ini pembangkit listrik *hybrid* yang digunakan menggunakan energi surya dan energi bayu.

Pada PLTH energi terbarukan yang digunakan dapat berasal dari energi matahari dan angin. Dengan adanya perpaduan dari sumber energi matahari dan angin, diharapkan dapat menyediakan daya listrik yang optimal, karena pengoperasian dari kedua pembangkit ini bisa saling melengkapi. Sebuah sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid* ini memiliki kemampuan untuk menyediakan 24 jam jaringan listrik berkualitas ke beban selama cuaca mendukung .

Sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid* memiliki beberapa kelebihan dari konfigurasinya yaitu (Juwito, 2012) :

- a. Dapat menjadi solusi untuk mengatasi krisis bahan bakar fosil.
- b. Dapat memenuhi beban listrik secara optimal terutama pada daerahdaerah
- c. yang tidak tersentuh oleh jaringan listrik PLN.Meningkatkan efisiensi ekonomi pembangkit.

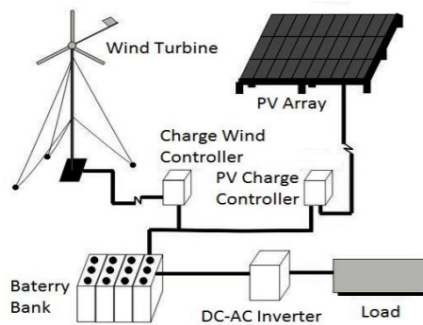
- d. Meningkatkan keandalan (*reliability*) sistem pembangkit.
- e. Meningkatkan waktu layanan listrik secara ekonomis.
- f. Meningkatkan umur operasi sistem.
- g. Tidak menimbulkan polusi dan limbah (ramah lingkungan).
- h. Biaya pengoperasian dan pemeliharannya relatif murah.
- i. Biaya produksi energi listrik atau *Cost of Energy* (Rp/KWh) per tahun relatif murah.

Selain kelebihan yang telah disebutkan, konfigurasi system Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* juga mempunyai beberapa kekurangan, diantaranya (Juwito, 2012):

- a. Hasil dari sumber energi baru terbarukan sangat tergantung pada kondisi alam.
- b. Biaya awal pembuatan sistem ini lebih mahal.
- c. Tidak bisa menangani beban tinggi dengan baik tanpa penyimpanan energi.

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah teknologi pembangkit energi dengan memanfaatkan intensitas cahaya matahari dengan mengubah energi foton menjadi energi listrik DC dari panel surya. Di dalam panel surya terdapat sel-sel fotovoltaik.

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) adalah teknologi pembangkit listrik yang mengubah energi angin menjadi energi listrik. Angin adalah udara yang bergerak atau mengalir sehingga memiliki kecepatan tenaga dan juga arah. Cara mengkonversinya energi angin menjadi energi listrik adalah dengan menggunakan turbin angin dimana turbin angin ini akan dikopel dengan poros generator sehingga dapat menghasilkan energi listrik.



Gambar 2. 1 Konfigurasi pembangkit listrik hybrid tenaga surya dan bayu

(Sumber : Hayu,Teuku,Syaufi,dkk.2018)

## 2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

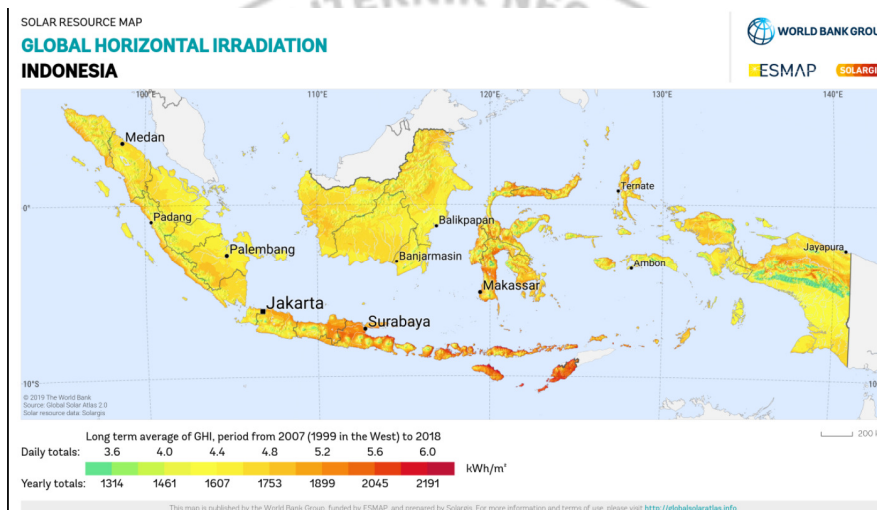
### 2.2.1 Energi Surya

Energi surya adalah energi yang didapat dengan mengubah energi panas surya (matahari) melalui peralatan tertentu menjadi sumber daya dalam bentuk lain. Energi surya menjadi salah satu sumber pembangkit daya selain air, uap, angin, biogas, batu bara, dan minyak bumi.

Teknik pemanfaatan energi surya mulai muncul pada tahun 1819, ditemukan oleh A.C. Becquerel. Dalam penggunaan kristal silikon yaitu untuk mengkonversikan radiasi matahari, namun sampai tahun 1955 metode ini belum banyak dikembangkan. Selama kurun waktu lebih dari satu abad itu, sumber energi yang banyak digunakan adalah minyak bumi dan batubara. Upaya pengembangan cara memanfaatkan energi surya muncul kembali pada tahun 1958. Sel silikon yang dipergunakan untuk mengubah energi surya menjadi sumber daya mulai diperhitungkan sebagai metode baru, karena dapat digunakan sebagai sumber daya bagi satelit luar angkasa.

## 2.2.2 Potensi Energi Surya

Energi surya merupakan energi yang potensial dikembangkan di Indonesia mengingat Indonesia adalah negara yang terletak di daerah khatulistiwa. Energi surya yang dapat dibangkitkan untuk seluruh daratan Indonesia yang mempunyai luas 2 juta km<sup>2</sup> adalah sebesar 5,10 mW atau 4,8 kWh/m<sup>2</sup>/hari atau setara dengan 112.000 gWp yang didistribusikan.



Gambar 2. 2 Instensitas radiasi matahari di Indonesia

(Sumber: <https://globalsolaratlas.info> diakses pada 7 Februari 2021)

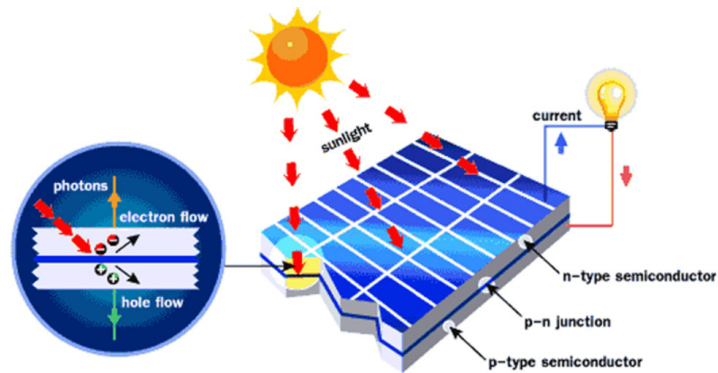
## 2.2.3 Panel Surya

Panel Surya adalah alat yang terdiri dari sel surya yang mengubah cahaya menjadi listrik. Sel surya merupakan sebuah bahan aktif yang terbuat dari irisan bahan semikonduktor yang mempunyai fungsi mengubah sinar matahari menjadi listrik yang memiliki kutub negatif dan kutub positif yang memiliki ketebalan minimum 0,3 mm. Prinsip dasar pembuatan sel surya adalah dengan memanfaatkan

efek *photovoltaic*. Maksud dari efek *photovoltaic* ialah suatu efek yang dapat mengubah sinar matahari menjadi energi listrik.

Penemu Efek *photovoltaic* pertama kali adalah Edmund Becquerel pada tahun 1839. Ia mengatakan bahwa arus listrik yang muncul dikarenakan pembebasan elektron-elektron dalam sambungan semikonduktor tipe N dan tipe P untuk mengalir disebabkan oleh energi foton cahaya yang diterimanya.

Adapun prinsip kerja sel surya adalah Ketika “foton” yang merupakan partikel sinar matahari yang sangat kecil menghantam atom pada semi konduktor yang dapat memisahkan elektron dari struktur atomnya. Ketika terpisah, elektron yang bermuatan negatif bergerak ke daerah pita konduksi semi konduktor sehingga atom yang kehilangan elektronnya mengalami kekosongan dan disebut dengan “hole” yang bermuatan positif, daerah ini juga disebut semi konduktor tipe P sebagai penerima elektron. Daerah semi konduktor dengan elektron bebas bersifat negatif sehingga disebut semi konduktor tipe N sebagai pendonor. Persimpangan daerah positif dan negatif menimbulkan energi yang membuat elektron dan hole bergerak berlawanan . sehingga Ketika diberikan beban listrik maka akan timbul arus. Adanya pergerakan ini menciptakan arus listrik sehingga dapat digunakan sebagai energi bagi alat-alat elektronik.



Gambar 2. 3 Proses konversi energi cahaya matahari menjadi listrik

(Sumber : [www.sanspower.com](http://www.sanspower.com) di akses pada 28 Januari 2022)

Sel surya memiliki bentuk dan jenis yang berbeda. Adapun jenis-jenis panel surya adalah sebagai berikut.

a. *Mono-Crystalline*

Jenis ini memiliki bahan dasar silikon kristal, dimana jenis ini memiliki tekstur yang lebih lembut jika dibandingkan dengan sel surya jenis *poly-Cristalline*. Adapun nilai efisiensi yang dimiliki pada sel surya ini sebesar 16-23 % .



Gambar 2. 4 Sel surya mono-crystalline

(Sumber : [www.sanspower.com](http://www.sanspower.com) di akses pada 28 Januari 2022)

b. Sel surya *Poly—Crystalline*

Sel surya jenis *poly-crystalline* ini terbuat dari Kristal silikon *block cast*. Elektron yang ada akan terjebak dalam batas butir kristal individu dalam panel *poly-crystalline*. Sel surya *poly-crystalline* mempunyai nilai efisiensi sebesar 14-20%



Gambar 2. 5 Sel surya polycrystalline

(Sumber : [www.sanspower.com](http://www.sanspower.com) diakses pada 28 Januari 2022)

c. Sel surya *Thin Film Solar cell*

Sel surya *Thin Film Solar cell* adalah jenis sel surya yang dibuat dengan cara menambahkan beberapa lapisan material sel surya yang tipis ke dalam lapisan dasar. Bentuknya sangat tipis sehingga kondisi fisiknya ringan dan mudah dibengkokkan serta biasa disebut TFPV (*Thin Film Photovoltaic*).



Gambar 2. 6 Sel surya Thin Film Solar cell

(Sumber: [www.sanspower.com](http://www.sanspower.com) diakses pada 7 Februari 2022 )



Perhitungan daya yang diterima oleh panel surya adalah sebagai berikut :

$$P_{in} = G \times A \dots\dots\dots (2-1)$$

Keterangan :

$P_{in}$  = Daya input akibat radiasi matahari (Watt)

$G$  = Intensitas cahaya matahari (watt /m<sup>2</sup> )

$A$  = luas area permukaan panel (m<sup>2</sup>)

### 2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

#### 2.3.1 Energi Angin

Angin merupakan udara yang bergerak dikarenakan terdapat perbedaan tekanan udara, dimana angin mengalir dari daerah yang bertekanan tinggi ke tempat yang memiliki tekanan rendah. Semakin banyak daerah tersebut terkena paparan sinar matahari maka tekanan udara semakin kecil, sebaliknya daerah yang sedikit terpapar sinar matahari maka memiliki tekanan udara yang kecil. Sesuai dengan hukum gas ideal, dimana temperatur berbanding terbalik dengan tekanan, dimana temperatur yang tinggi akan memiliki tekanan yang rendah dan sebaliknya.

Udara memiliki massa  $m$  dan kecepatan  $v$  akan menghasilkan energi kinetik sebesar :

$$E = \frac{1}{2} \times mv^2 \dots\dots\dots (2-2)$$

Volume udara per satuan waktu (debit) yang bergerak dengan kecepatan  $v$  dan melewati daerah seluas  $A$  adalah :

$$V = v \times A \dots\dots\dots (2-3)$$

Massa udara yang bergerak dalam satuan waktu dengan kerapatan  $\rho$  , yaitu :

$$m = \rho \times V = \rho \times v \times A \dots\dots\dots (2-4)$$

Sehingga energi kinetik angin yang berhembus dalam satuan waktu (daya angin) adalah :

$$P_w = \frac{1}{2} (\rho \times A \times v)(v^2) = \frac{1}{2} \rho \times A \times v^3 \dots\dots\dots(2-5)$$

Dimana :

- P<sub>w</sub> = Daya angin (Watt)
- $\rho$  = Massa jenis udara (kg/m<sup>3</sup>) (1,225 kg/m<sup>3</sup>)
- v = Kecepatan angin (m/s)
- A = Luas area sapuan rotor (m<sup>2</sup>)

### 2.3.2 Potensi Energi Angin

Indonesia adalah negara yang memiliki sumber daya energi yang sangat melimpah, salah satunya adalah sumber energi angin. Indonesia yang merupakan negara kepulauan dan salah satu Negara yang terletak di garis khatulistiwa merupakan faktor, bahwa Indonesia memiliki potensi energi angin yang melimpah. Pada dasarnya angin terjadi karena ada perbedaan suhu antara udara panas dan udara dingin. Di daerah khatulistiwa, udaranya menjadi panas mengembang dan menjadi ringan, naik ke atas dan bergerak ke daerah yang lebih dingin. Sebaliknya daerah kutub yang dingin, udara menjadi dingin dan turun ke bawah. Dengan demikian terjadi perputaran udara berupa perpindahan udara dari kutub utara ke garis khatulistiwa menyusuri permukaan bumi dan sebaliknya suatu perpindahan udara dari garis katulistiwa kembali ke kutub utara, melalui lapisan udara yang lebih

tinggi. Potensi energi angin di Indonesia cukup memadai, karena kecepatan angin rata-rata berkisar 3,5 - 7 m/s. Hasil pemetaan Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) pada 120 lokasi menunjukkan, beberapa wilayah memiliki kecepatan angin di atas 5 m/detik, masing-masing Nusa Tenggara Timur, Nusa Tenggara Barat, Sulawesi Selatan, dan Pantai Selatan Jawa.

Tabel 2. 1 Pengelompokan potensi energi angin

KELAS	Kec. Angin (m/s)	Daya Spesifik (W/m <sup>2</sup> )	Kapasitas (kW)	Lokasi
Skala Kecil	2,5 - 4,0	< 75	s/d 10	Jawa, NTB, NTT, Maluku, Sulawesi
Skala Menengah	4,0 – 5,0	75 -150	10 -100	NTB, NTT, Sulsel, Sultra
Skala Besar	>5,0	> 150	> 100	Sulsel, NTB, NTT, Pantai Selatan Jawa

(Sumber: LAPAN, 2005)

### 2.3.3 Turbin Angin

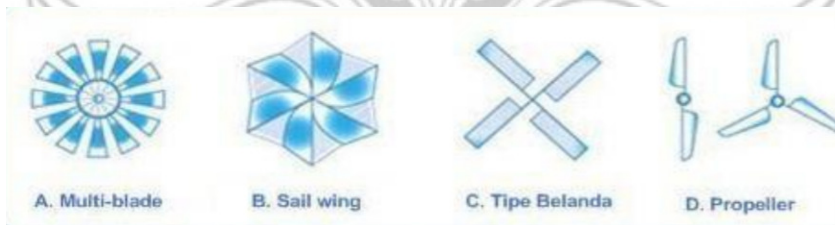
Turbin angin adalah alat penggerak pembangkit daya yang menggunakan angin sebagai tenaga penggerakannya. Turbin angin berkerja dengan mengubah energi kinetik angin menjadi energi gerak berupa putaran rotor dan poros. Lalu poros tersebut dipasangkan dengan generator sehingga dapat menghasilkan energi listrik.

Pada Awal abad ke-7 penggunaan kincir air sederhana telah digunakan diberbagai negara seperti Persia, Cina, Mesir dan lain-lain. Dan pada abad ke-19 penggunaan kincir air berkembang pesat di negara-negara eropa seperti Denmar, Belanda, dan negara-negara Eropa lainnya. Desain turbin angin secara umum

terbagi atas 2 yaitu berdasarkan bentuk rotor yaitu turbin sumbu mendatar (HAWT) dan sumbu vertikal (VAWT).

### 1. *Horizontal Axis Wind Turbine ( HAWT )*

Horizontal Axis Wind Turbine merupakan turbin yang poros utamanya berputar menyesuaikan arah angin. Agar rotor dapat berputar dengan baik, arah angin harus sejajar dengan poros turbin dan tegak lurus terhadap arah putaran rotor. Biasanya turbin jenis ini mirip seperti yang ada pada sayap pesawat. Adanya putaran Pada turbin sumbu horizontal ini disebabkan karena adanya gaya lift (gaya lift) pada blade yang di timbulkan oleh aliran angin. Turbin jenis ini cocok untuk daerah yang memiliki kecepatan angin yang tinggi dan digunakan sebagai pembangkit listrik yang berskala besar.



Gambar 2. 7 Jenis-jenis Turbin angin tipe HAWT

(Sumber :Fadila A. dkk, 2019)

Variasi jumlah *blade* pada turbine horizontal bermacam-macam, mulai dari satu *blade*, dua *blade*, tiga *blade*, sampai banyak *blade* (*multi blade*) dimana penggunaannya ini disesuaikan dengan kebutuhan dan kecepatan angin tempat turbin angin akan di letakkan.

Adapun kekurangan dan kelebihan tubin jenis ini adalah.

a. Kelebihan

- Towernya yang tinggi memungkinkan untuk mendapatkan angin dengan kekuatan yang lebih besar.
- Efisiensi lebih tinggi, karena blades selalu bergerak tegak lurus terhadap arah angin, menerima daya sepanjang putaran.

b. Kekurangan

- Dibutuhkan konstruksi tower yang besar untuk mensupport beban blade, gear box dan generator.
- Komponen-komponen dari turbin angin horizontal (blade, gear box dan generator) harus diangkat ke posisinya pada saat pemasangan.
- Karena tinggi, maka turbin ini bisa terlihat pada jarak yang jauh, banyak penduduk lokal yang menolak adanya pemandangan ini.
- Membutuhkan kontrol sebagai mekanisme untuk mengarahkan blade ke arah angin.
- Pada umumnya membutuhkan sistem pengereman atau peralatan pada angin yang kencang untuk mencegah turbin mengalami kerusakahan.

2. *Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)*

Turbin angin sumbu vertikal/tegak (atau TASV) memiliki poros/sumbu rotor utama yang disusun tegak lurus. Kelebihan utama susunan ini adalah turbin tidak harus diarahkan ke angin bertiup. Kelebihan ini sangat berguna di tempat-tempat yang arah anginnya sangat bervariasi. TASV mampu mendayagunakan angin dari berbagai arah. Dengan sumbu yang vertikal, generator serta gear box

bisa ditempatkan di dekat tanah, jadi menara tidak perlu menyokongnya dan lebih mudah diakses untuk keperluan perawatan.



Gambar 2. 8 Jenis-jenis Turbin angin tipe VAWT

(Sumber :Fadila A. dkk, 2019)

Adapun kekurangan dan kelebihan turbin jenis ini adalah.

a. Kelebihan

- Tidak membutuhkan struktur menara yang besar.
- Karena bilah-bilah rotornya vertikal, tidak dibutuhkan mekanisme yaw.
- Turbin jenis ini bisa diletakkan lebih dekat ke tanah, membuat pemeliharaan bagian-bagiannya yang bergerak jadi lebih mudah.
- Desain turbin berbilah lurus dengan potongan melintang berbentuk kotak atau empat persegi panjang memiliki wilayah tiupan yang lebih besar untuk diameter tertentu daripada wilayah tiupan berbentuk lingkarannya turbin sumbu horizontal
- Turbin sumbu vertikal memiliki kecepatan awal angin yang lebih rendah daripada turbin sumbu horizontal.
- TASV tidak harus diubah posisinya jika arah angin berubah.

b. Kekurangan

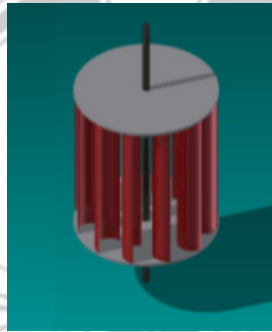
- Kebanyakan turbin vertikal memiliki penurunan efisiensi dibanding turbin horizontal, terutama karena hambatan tambahan yang mereka miliki sebagai pisau mereka memutar ke angin. Versi yang mengurangi *drag* menghasilkan lebih banyak energi, terutama yang menyalurkan angin ke daerah kolektor.
- Memiliki rotor terletak dekat dengan tanah di mana kecepatan angin lebih rendah dan tidak mengambil keuntungan dari kecepatan angin tinggi di atas.

#### 2.3.3.1 Turbin Cross-flow

Turbin *cross-flow* adalah turbin yang berjenis VAWT (Vertical Axis Wind Turbine). Pada saat dulu turbin *cross-flow* digunakan sebagai turbin air pada aplikasinya sebagai pembangkit energi listrik. Namun pada penggunaannya dalam pembangkit energi listrik dengan tenaga angin, turbin *cross-flow* dipasang dengan sumbu vertikal.

Turbin angin *crossflow* merupakan salah satu turbin angin sumbu vertikal yang memiliki banyak kelebihan yaitu memiliki kecepatan awal angin yang rendah jika di bandingkan dengan turbin jenis vertikal lainnya, sehingga turbin ini cocok dipasang pada daerah dengan kecepatan angin rendah. Dalam pemanfaatan turbin angin *crossflow* menjadi energi listrik dibutuhkan efisiensi kinerja yang baik.

Kurniawati (2019), dalam penelitiannya yang berjudul “investigasi performa turbin angin *crossflow* dengan simulasi numerik 2D” menyatakan untuk Kemiringan sudu  $90^\circ$  adalah tipe kemiringan sudu yang sering digunakan dikarenakan pembuatan sudu turbin lebih mudah dilakukan. Sudu  $90^\circ$  memiliki bukaan sudu yang tepat segaris dengan garis sumbu turbin. Dengan demikian produksi angin yang dapat dikonversi menjadi energi kinetik oleh sudu turbin lebih besar daripada variasi kemiringan sudu yang lainnya.



Gambar 2. 9 Turbin *Crossflow*

(Sumber : Permadi Moch, 2018)

Herfandi,dkk (2020) dalam penelitiannya yang berjudul “ Studi Eksperimental Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Daya Pada Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Rotor *Crossflow* Untuk Optimalisasi Angin Di Wilayah Pantai Kota Balikpapan”. menyatakan bahwa Kecepatan angin yang di PantaiManggar pada saat pengambilan data adalah sekitar 2,3 – 3,4 m/s. Dalam hal ini faktor yang mempengaruhi performa turbin angin *crossflow* adalah jumlah sudu dan kelengkungan sudu atau rasio diameter, dimana diameter turbin sebesar 500mm, tinggi turbin sebesar 500 mm menghasilkan kecepatan putar sebesar 300-600 RPM. Pada Kecepatan angin sebesar 3,242 m/s menggunakan 12 blade berhasil



menghasilkan 0,009 Watt.

Permadi dan Indra Herlamba Siregar (2018) dalam penelitiannya berjudul “Uji Eksperimental *Cross-flow* dengan Variasi Jumlah Blade” menyatakan bahwa Kecepatan angin yang di Gedung A8 Universitas Negeri Suraya pada saat pengambilan data adalah sekitar 3,37 – 5,32 m/s. Dalam perencanaan turbin angin harus menggunakan bahan yang lebih ringan dan kuat. Dengan diameter turbin sebesar 1000 mm dan tinggi turbin sebesar 1000 mm untuk pengujian menggunakan 12 blade pada kecepatan angin sebesar 4,43 m/s menghasilkan 1,718 watt.

#### 2.3.4 Generator

Generator adalah mesin yang mengubah tenaga mekanik menjadi tenaga listrik. Dimana Prinsip kerja dari generator adalah Ketika rotor diputar maka pada belitan kawatnya akan memotong gaya-gaya magnet pada kutub magnet sehingga terjadilah perbedaan tegangan dengan dasar inilah arus listrik muncul. Generator memiliki 2 jenis yaitu generator AC dan Generator DC.

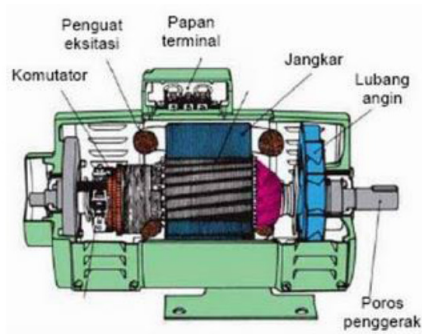


Gambar 2. 10 Generator DC

(Sumber : <https://www.Shopee.com> diakses pada 15 Maret 2022)

Generator DC merupakan alat yang dapat mengubah energi mekanis yaitu putaran menjadi energi listrik searah. Energi mekanik yang berupa putaran dimanfaatkan untuk memutar kumparan kawat penghantar yang ada di dalam medan magnet. Yang membedakan generator DC dengan generator lain yaitu pada komponen penyearah yang terdapat didalamnya yang disebut dengan Komutator dan sikat.

Generator DC mempunyai konstruksi yang terdiri atas dua bagian yaitu bagian yang berputar atau rotor dan bagian yang diam atau stator. Stator adalah rangka, komponen magnet dan komponen sikat. Sedangkan yang termasuk rotor adalah jangkar, kumparan jangkar dan komutator. Secara umum konstruksi generator arus searah adalah dapat dilihat pada Gambar



Gambar 2. 11 Konsturksi generator DC

(Sumber : <https://pengetahuan-listrik.blogspot.com> di akses pada 23 Maret 2022)

Daya Generator adalah besaran daya elektrik yang dapat dibangkitkan generator akibat berputarnya rotor generator yang dikopel dengan poros turbin angin. Besar daya keluaran generator DC dapat diketahui dengan persamaan berikut ini.

$$P = I \times V \dots\dots\dots(2-6)$$

Dimana :

P = Daya (watt)

I = Arus (A)

V = Tegangan (V)

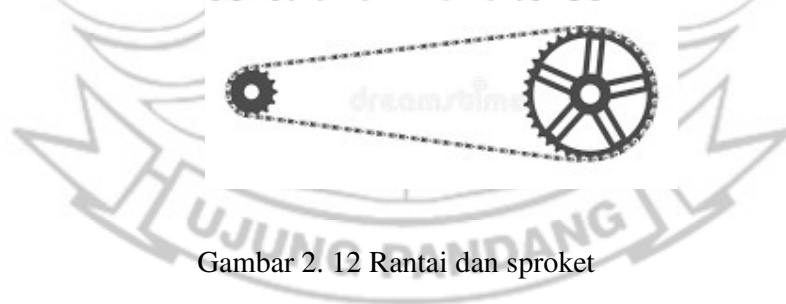
### 2.3.5 Sproket dan rantai

Sproket adalah alat yang terdapat pada kendaraan motor atau sepeda yang digunakan untuk mentransmisikan daya besar dan putaran yang tepat. Sproket memiliki gigi di sekelilingnya, sehingga penerusan daya dilakukan oleh gigi-gigi kedua roda yang saling berkait. Sprocket sering digunakan karena dapat

meneruskan putaran dan daya yang lebih bervariasi dan lebih kompak daripada menggunakan alat transmisi yang lainnya.

Sprocket dibuat dengan berbagai jenis material, untuk sprocket yang besar pada umumnya dari Baja sebagai materialnya khususnya digunakan untuk pemindahan daya dengan ratio kecepatannya yang cukup besar karena ketahanannya lebih bagus. Sedangkan untuk sprocket yang berukuran kecil biasanya terbuat dari baja dengan menggunakan proses perlakuan panas pada bagian permukaan untuk menghasilkan ketangguhan yang dapat menahan getaran selain itu permukaan gigi dapat dikeraskan untuk mendapatkan ketahanan aus.

Rantai merupakan pasangan dari sprocket yang menghubungkan dua sprocket yang sebagai pemindah daya dari putaran poros turbin angin ke poros generator. Keuntungan dalam memakai sistem transmisi adalah kekuatan lebih kuat dan tidak terjadi slip.



Gambar 2. 12 Rantai dan sproket

(Sumber : [www.google.com](http://www.google.com) di akses pada 9 maret 2022)

Untuk perbandingan kecepatan putaran antara sprocket poros penggerak dengan sprocket yang digerakkan, jika putaran sprocket yang berpasangan dinyatakan dengan  $n_1$  (rpm) pada poros penggerak dan  $n_2$  (rpm) pada poros yang

digerakkan, dan jumlah gigi z1 dan z 2. i adalah perbandingan jumlah gigi pada rodagigi di kenal juga dengan putaran transmisi

$$i = \frac{n1}{n2} = \frac{z2}{z1} = \frac{d2}{d1} \dots\dots\dots(2-6)$$

Dimana :

- n1 = Kecepatan putaran sprocket 1 (RPM)
- n2 = Kecepatan putaran sprocket 2 (RPM)
- z1 = Jumlah gigi sprocket 1
- z2 = Jumlah gigi sprocket 2
- d1 = diameter sprocket 1(mm)
- d2 = diameter sprocket 2 (mm)

#### 2.4 Charge Controller

*Charge Controller* merupakan peralatan elektronik yang berfungsi sebagai pengatur arus searah yang diisi ke baterai dan diambil dari baterai ke beban. Seperti namanya yaitu *Charge controller* yang bertugas mengatasi *overcharging* (kelebihan pengisian karena baterai sudah 'penuh') dan kelebihan voltase dari panel surya atau pun turbin angin. Dimana Kelebihan voltase dan pengisian dapat menyebabkan pengurangan umur baterai.

*Solar Charge Controller* terdiri dari 1 input dan 2 output yaitu :

- a. input (2 terminal) dihubungkan dengan output dari panel surya
- b. 1 output (2 terminal) terhubung dengan baterai
- c. 1 output (2 terminal) terhubung dengan 1 beban DC.

Prinsip kerja Charge Controller terbagi menjadi dua yaitu :

- a. Mode Charging: pengisi baterai dan menjaga pengisian jika baterai sudah mulai penuh
- b. Mode Operation: Penggunaan baterai ke beban, baterai ke beban akan diputus jika baterai sudah mulai 'kosong'



Gambar 2. 13 Solar Charge Controler  
(Sumber : [www.Google.com](http://www.Google.com) diakses pada 15 Maret 2022)

## 2.5 Baterai

Baterai adalah sebuah alat yang dapat menyimpan energi listrik untuk digunakan sesuai dengan keperluannya sewaktu-waktu serta dapat dengan mudah dipindahkan dari satu tempat ketempat lainnya. Berdasarkan jenisnya, baterai dapat dibagi menjadi baterai primer dan baterai sekunder. Baterai primer adalah baterai yang tidak dapat diisi muatan listrik Kembali (*Charge*) setelah habis digunakan. Beberapa contoh baterai primer adalah baterai seng-karbon (Baterai kering), baterai Alkalin dan baterai merkuri. Sedangkan baterai sekunder dapat diisi Kembali oleh muatan listrik (*rechargeable*). Kemampuan diisi ulang baterai sekunder bervariasi antara 100-500 kali (satu siklus adalah satu kali pengisian dan pengosongan)

beberapa contoh baterai sekunder adalah baterai asam timbal (lead acid), baterai Ni-MH dan baterai Litium-Ion (Hudaya, 2011).

Baterai merupakan sebuah peralatan yang dapat menyimpan energi listrik dalam bentuk energi kimia. Baterai adalah alat yang terdiri dari 2 atau lebih sel elektrokimia yang mengubah energi kimia yang tersimpan menjadi energi listrik. Sel yang memiliki tanda positif disebut katoda yang juga memiliki energi potensial yang tinggi dibandingkan dengan sel yang memiliki tanda negatif atau disebut juga anoda. Ketika Kutub bertanda negatif yang merupakan sumber elektron disambungkan dengan rangkaian eksternal maka sel tersebut akan mengalir kemudian memberikan energi ke peralatan eksternal. Ketika baterai dihubungkan dengan rangkaian eksternal, elektrolit dapat berpindah sebagai ion didalamnya, sehingga terjadi reaksi kimia pada kedua kutubnya. Perpindahan ion dalam baterai akan mengalirkan arus listrik keluar dari baterai sehingga menghasilkan kerja.

Baterai pada sistem pembangkit *hybrid* dipasang dengan tujuan menyimpan daya yang dihasilkan oleh sel surya dan turbin angin. Karena penggunaan lampu penerangan jalan hanya digunakan pada malam hari, maka untuk memaksimalkan pengisian daya pada baterai dilakukan pada pagi sampai sore hari.

Berikut adalah beberapa hal yang harus di perhatikan dalam baterai:

a. Tegangan Baterai

Tegangan baterai adalah karakteristik dari baterai, yang di tentukan oleh reaksi kimia dalam baterai.

b. Kapasitas Baterai

Kapasitas baterai adalah ukuran yang disimpan pada suatu baterai. Kapasitas menggambarkan sejumlah energi maksimum yang dikeluarkan dari sebuah baterai dengan kondisi tertentu. Kapasitas baterai umumnya dinyatakan dalam *Ampere Hour* (Ah). Berdasarkan hal tersebut maka secara *teoritis*, baterai 12 V, 200 Ah harus dapat memberikan baik 200 A selama satu jam, 50 A selama 4 jam, 4 A untuk 50 jam, atau 1 A untuk 200 jam.



Gambar 2. 14 Baterai

(sumber : [www.builder.id](http://www.builder.id) diakses pada 9 Februari 2022)

## 2.6 Lampu

Lampu halogen adalah bohlam yang telah dimodifikasi dari lampu pijar. Dibandingkan dengan lampu pijar lampu halogen mempunyai warna yang agak keputihan. Pada lampu halogen menggunakan sistem single reflector yaitu dalam satu lampu dapat menghasilkan cahaya kecil dan jauh (low and high beam).

Lampu tembak 20 Watt merupakan produk lampu yang dapat di gunakan untuk kebutuhan luar ruangan dengan yang tahan terhadap cuaca panas maupun



hujan. Penggunaan Lampu tembak 20 Watt ini biasa sebagai penerangan jalan, atau spot yang membutuhkan penerangan dari spot cahaya yang mudah di pindah dan dipasangkan.



Gambar 2. 15 Lampu 20 watt

(Sumber : [www.shopee.com](http://www.shopee.com) diakses pada 14 Februari 2022)



## **BAB III METODE PENELITIAN**

### **3.1 Tempat dan Waktu Kegiatan**

Lokasi pembuatan alat penelitian pembangkit listrik hybrid dilakukan di Laboratorium Teknik Pembangkit Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang.

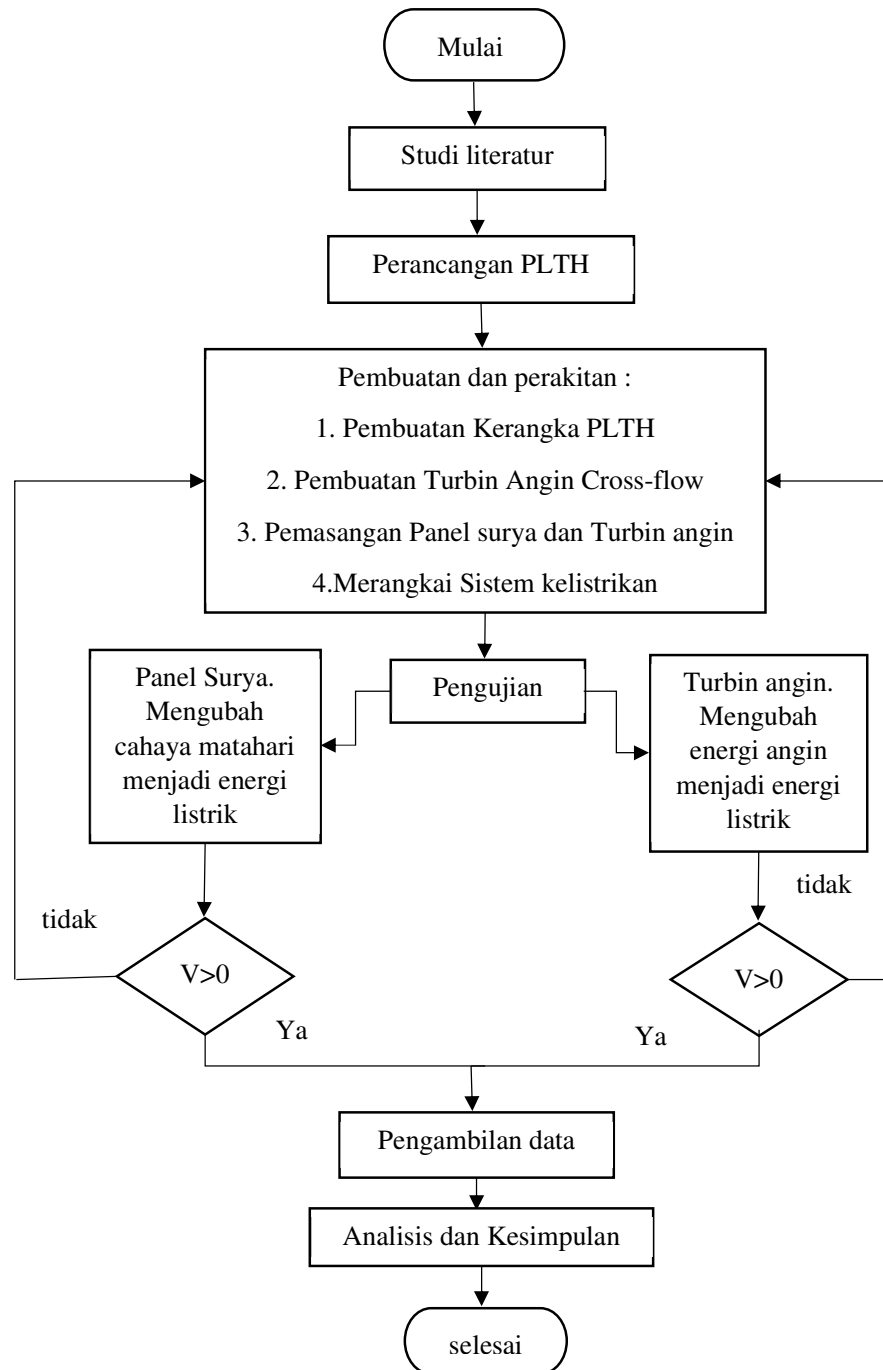
Waktu Pembuatan dan pengambilan data alat ini dimulai dari bulan Maret 2022 sampai pada bulan September 2022.

### **3.2 Alat dan Bahan**

Alat dan bahan yang digunakan dalam pembuatan alat adalah sebagai berikut :

1. Panel surya *Mono-Crystalline* kapasitas 50 WP dengan dimensi *67 mm x 528 mm*
2. Solar Charge Controller dengan kapasitas 20 A
3. Turbin *cross-flow* dengan diameter 500 mm, 12 sudu berbahan plat aluminium dengan ketebalan 0,8 mm, dengan besi poros berdiameter 19 mm
4. Generator DC dengan kapasitas 12v – 230rpm, 24v – 500rpm, 50v – 1062 rpm
5. Baterai berkapasitas 18 Ah

### 3.3 Prosedur Kerja

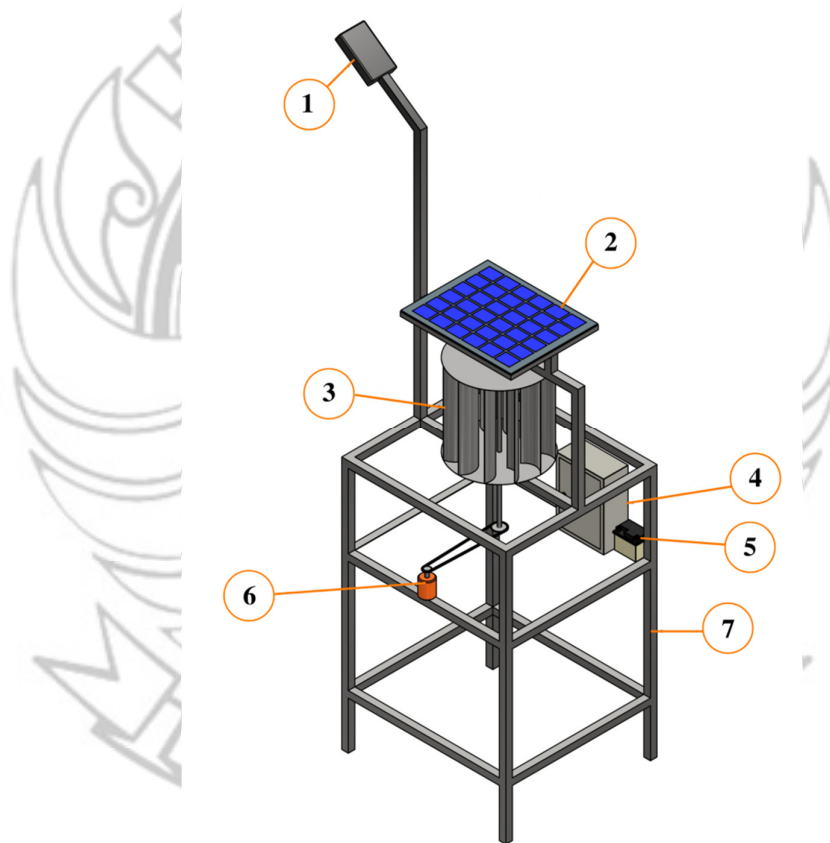


Gambar 3. 1 Flowchart prosedur kerja

### 3.4 Tahap Perancangan

Tahap perancangan adalah tahap awal pembuatan suatu alat agar dalam proses penelitian dapat tersusun dengan rapi. Perencanaan penelitian ini untuk mendesain sebuah pembangkit listrik hybrid surya dan bayu untuk penerangan jalan.

#### 3.4.1 Perancangan PLTH

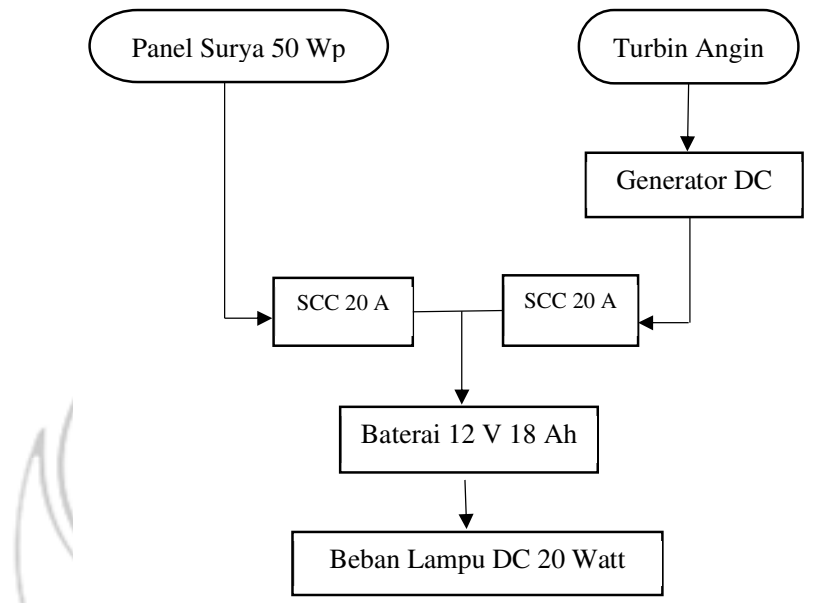


Keterangan :

- |                           |                  |
|---------------------------|------------------|
| 1. Beban lampu 20 watt    | 5. Baterai 18 AH |
| 2. Panel Surya 50 Wp      | 6. Generator DC  |
| 3. Turbin Angin crossflow | 7. Rangka        |
| 4. Panel Box              |                  |

Gambar 3. 2 Perancangan PLTH

### 3.4.2 Perancangan Sistem Kelistrikan PLTH

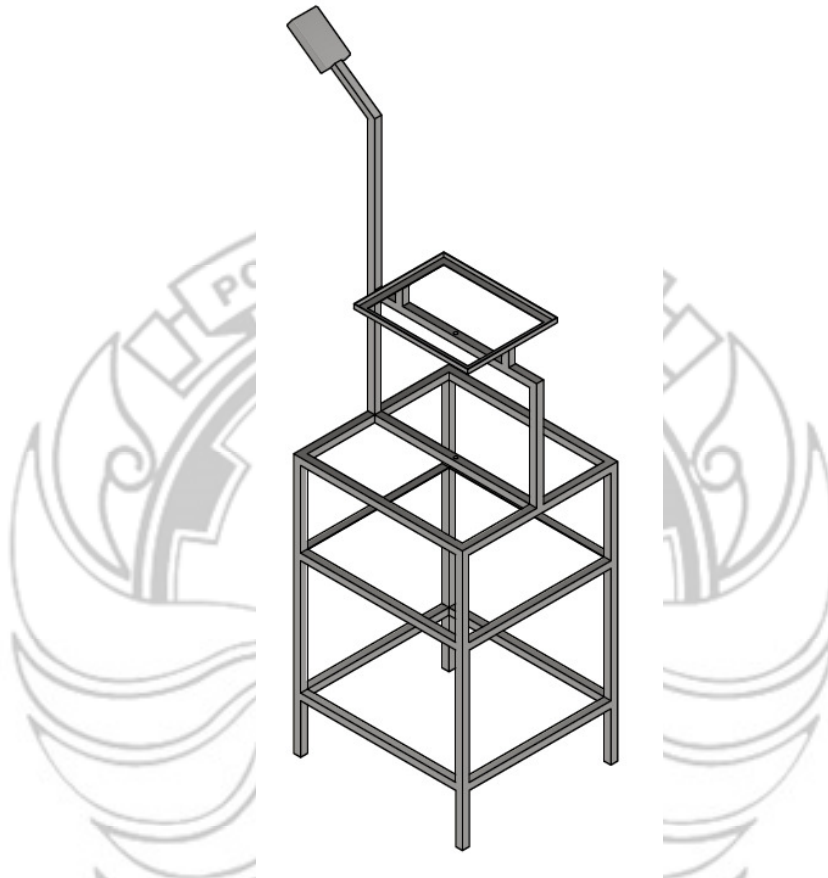


Gambar 3. 3 Flowchart sistem kelistrikan

Perancangan sistem kelistrikan dilakukan untuk mengetahui komponen yang akan digunakan, kemudian mempunyai fungsi untuk mempermudah perakitan dan perbaikan jika terjadi kerusakan ketika alat telah di rangkai.

### 3.5 Tahap Perakitan

#### 3.5.1 Kerangka PLTH

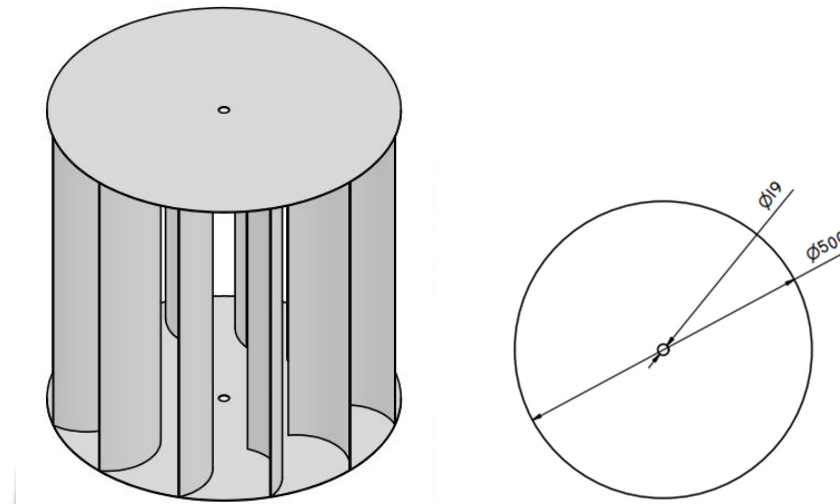


Gambar 3. 4 Kerangka PLTH

1. Mempersiapkan alat-alat dan bahan yang akan digunakan seperti besi hollow, gurinda, las listrik, elektroda, meteran, mistar, spidol, dan seperangkat *tools*.
2. Memotong besi hollow sesuai ukuran kerangka yang terdiri dari dudukan, tempat turbin, tempat panel surya, dan beban lampu.
3. Melakukan pengelasan pada potongan-potongan besi sesuai desain perancangan

4. Merapikan sisa potongan dan las menggunakan kertas gurinda amplas.
5. Melakukan pengecatan pada kerangka yang sudah di buat.

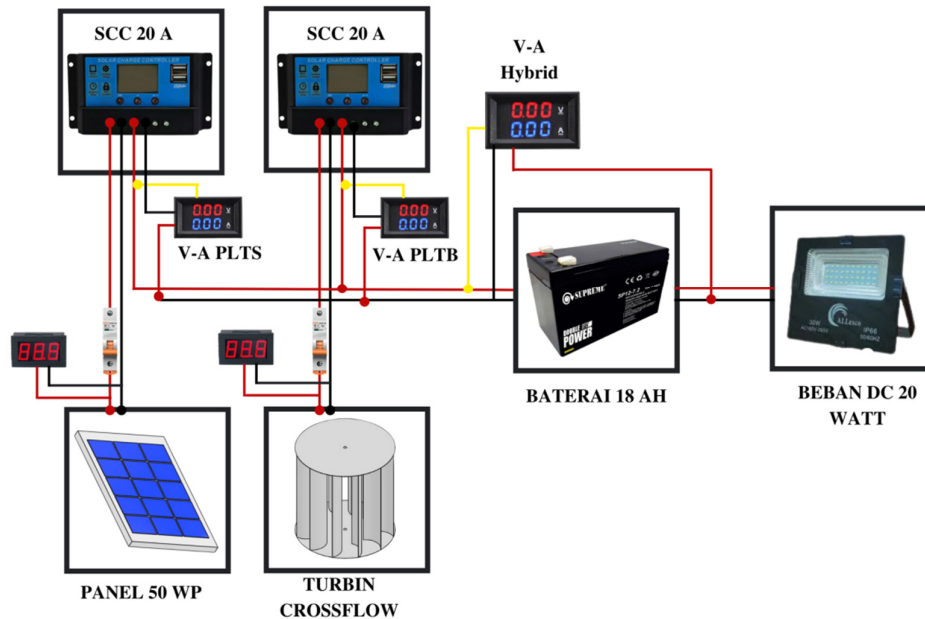
### 3.5.2 Turbin crossflow



Gambar 3. 5 Turbin crossflow

1. Mempersiapkan alat dan bahan seperti plat aluminium, besi poros, gurinda, tang rivet, meteran, mistar, spidol.
2. Memotong plat dan besi poros sesuai ukuran yang telah ditentukan.
3. Menyatukan bagian sudu, dudukan sudu, poros.

### 3.5.3 Rangkaian Listrik



Gambar 3. 6 Rangkaian listrik PLTH

1. Mempersiapkan alat dan bahan seperti baterai, charge control, lampu, kabel, dan *seperangkat tools*.
2. Merangkai rangkain listrik sesuai rancangan.

### 3.6 Pengujian Alat

Pengujian alat dilakukan di pesisir pantai padang savana, Kabupaten Takalar, Provinsi Sulawesi Selatan. Data yang akan di ambil antara lain :

1. Intensitas radiasi matahari,  $I_r$  (Watt/m<sup>2</sup>) menggunakan alat solar power meter.
2. Kecepatan angin,  $v$  (m/s) menggunakan anemometer
3. Kecepatan putaran generator,  $n$  (Rpm) tachometer



4. Tegangan keluaran panel surya, tegangan keluaran generator turbin angin, tegangan baterai, tegangan beban lampu DC 20 Watt, V (Volt) menggunakan voltmeter.
5. Arus input baterai baik dari panel surya maupun generator turbin angin, arus beban lampu DC 20 Watt, I (Ampere) menggunakan Clamp meter.

Adapun Langkah-langkah dalam pengujian alat adalah sebagai berikut :

a. Pengujian panel surya

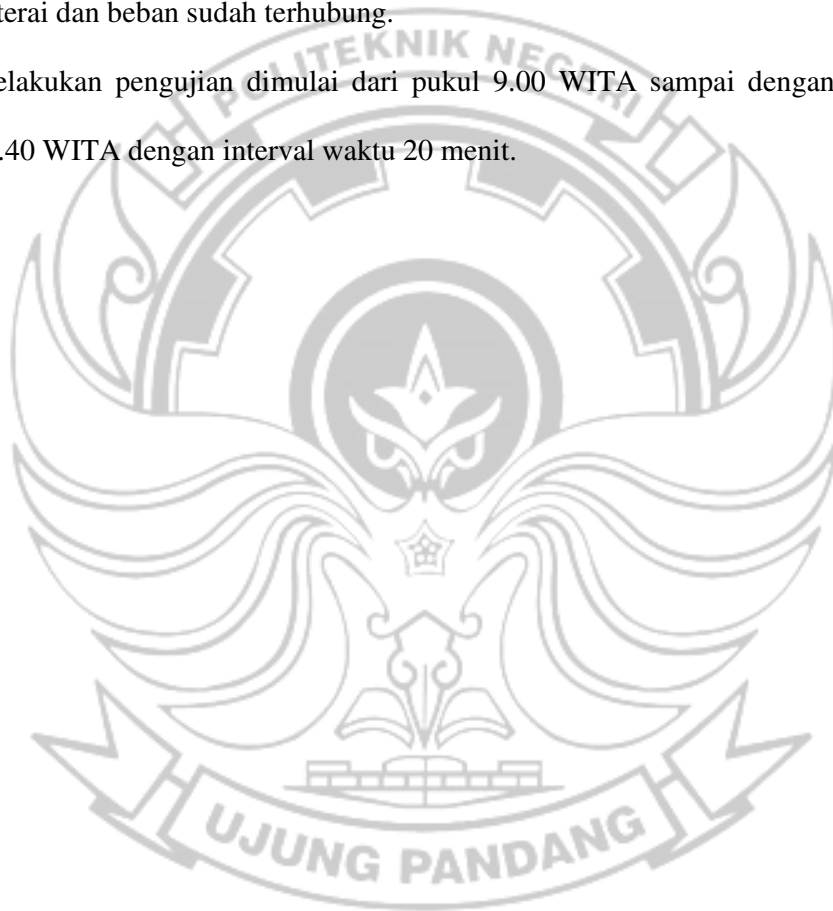
1. Menyiapkan peralatan yang akan digunakan yaitu voltmeter, Clamp meter, dan solar power meter.
2. Melakukan kalibrasi pada alat ukur.
3. Memastikan rangkaian panel surya, *charge controller*, baterai dan alat ukur digital sudah terhubung.
4. Melakukan pengujian dimulai dari pukul 8.00 WITA sampai dengan pukul 17.40 WITA dengan interval waktu 20 menit.

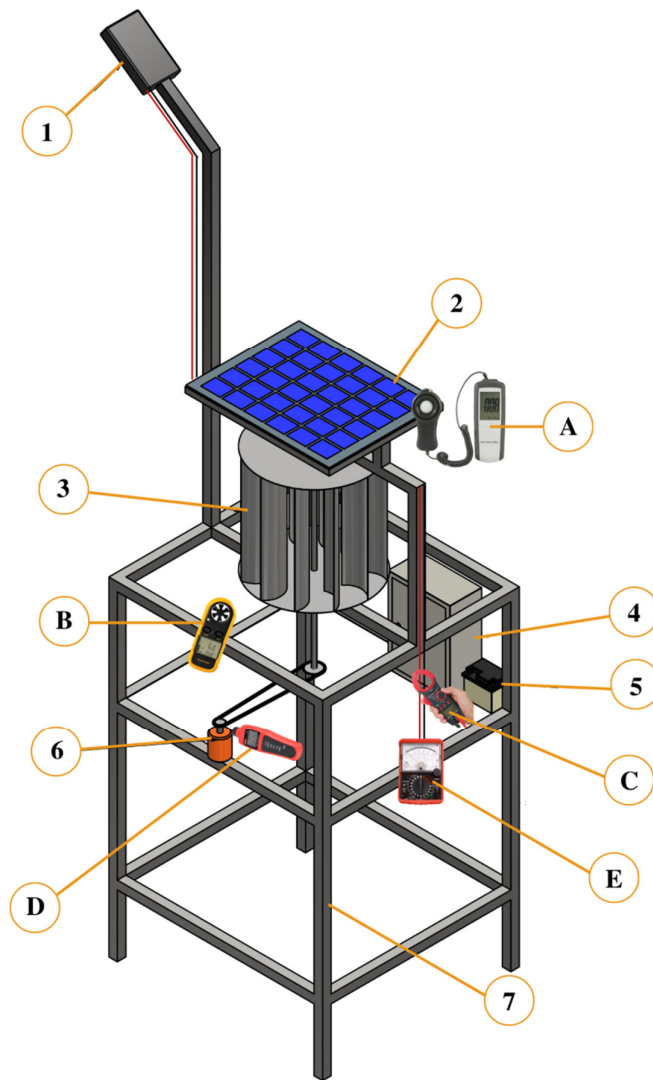
b. Pengujian turbin angin

1. Menyiapkan peralatan yang akan digunakan yaitu voltmeter, Clamp meter, anemometer dan tachometer.
2. Melakukan kalibrasi pada alat ukur.
3. Memastikan rangkaian turbin-generator, *charge controller*, baterai, dan alat ukur digital sudah terhubung.
4. Melakukan pengujian dimulai dari pukul 8.00 WITA sampai dengan pukul 23.40 WITA dengan interval waktu 20 menit.

c. Pengujian PLTH

1. Menyiapkan peralatan yang akan digunakan yaitu Voltmeter, amperemeter, anemometer, solar power meter dan tachometer
2. Melakukan kalibrasi pada alat ukur.
3. Memastikan rangkaian panel surya, *solar charge controller*, turbin-generator, baterai dan beban sudah terhubung.
4. Melakukan pengujian dimulai dari pukul 9.00 WITA sampai dengan pukul 23.40 WITA dengan interval waktu 20 menit.





Keterangan :

- |                           |                |
|---------------------------|----------------|
| 1. Beban lampu 20 watt    | A. Solar Power |
| 2. Panel Surya 50 Wp      | B. Anemometer  |
| 3. Turbin Angin crossflow | C. Clampmeter  |
| 4. Panel Box              | D. Tachometer  |
| 5. Baterai 18 AH          | E. Multimeter  |
| 6. Generator DC           |                |
| 7. Rangka                 |                |

Gambar 3. 7 Skema Pengujian PLTH

### 3.7 Teknik Analisis Data

#### 3.7.1 Tenaga Surya

Persamaan yang digunakan dalam perhitungan panel surya adalah sebagai berikut :

##### a. Daya input

$$P_{in} = G \times A$$

Dimana :

$P_{in}$  = Daya input panel (Watt)

$G$  = Intesitas cahaya matahari (Watt/m<sup>2</sup>)

$A$  = Luas permukaan panel (m<sup>2</sup>)

##### b. Daya output

$$P_{out} = I \times V$$

Dimana :

$P_{out}$  = Daya output panel (Watt)

$I$  = Arus (A)

$V$  = Tegangan (V)

##### c. Efisiensi sistem

$$\eta_s = \left( \frac{P_{out}}{P_{in}} \right) \times 100\%$$

Dimana :

$\eta_s$  = Efisiensi sistem PLTS

$P_{out}$  = Daya output panel (Watt)

$P_{in}$  = Daya Input Panel (Watt)

### 3.7.2 Tenaga Bayu

#### a. Transmisi Sproket dan rantai

Perbandingan putaran

$$\frac{n_{turbin}}{n_{generator}} = \frac{Z_{generator}}{Z_{turbin}}$$

Dimana :

$n_{turbin}$  = Kecepatan putar turbine

$n_{generator}$  = Kecepatan putar generator

$Z_{turbine}$  = Jumlah gigi pada gear turbine

$Z_{generator}$  = Jumlah gigi pada gear generator

#### b. Daya Angin

$$P_w = \left(\frac{1}{2}\right) \times \rho \times A \times v^3$$

Dimana :

$P_w$  = Daya kinetik atau daya angin (Watt)

$\rho$  = Massa jenis udara ( $1,225 \text{ Kg/m}^3$ )

$A$  = Luas sapuan blade turbin ( $\text{m}^2$ )

$v$  = Kecepatan angin (m/s)

#### b. Daya output

$$P = I \times V$$

Dimana :

$P_{out}$  = Daya (Watt)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

c. TSR

$$\lambda = \frac{\pi \times D \times n}{60 \times v}$$

Dimana :

$\lambda$  = Tip Speed Ratio

D = Diameter turbin (m)

n = Kecepatan putar turbin (RPM)

v = kecepatan angin (m/s)

d. Efisiensi Sistem

$$\eta_s = \left( \frac{P_{out}}{P_w} \right) \times 100\%$$

Dimana :

$\eta_s$  = Efisiensi sistem PLTB

P<sub>out</sub> = Daya output (Watt)

P<sub>w</sub> = Daya angin (Watt)

### 3.7.3 Tenaga Hybrid

a. Daya Input PLTS

$$P_{in} = G \times A$$

Dimana :

P<sub>in</sub> = Daya input panel (Watt)

G = Intesitas cahaya matahari (Watt/m<sup>2</sup>)

A = Luas permukaan panel (m<sup>2</sup>)

b. Daya Angin

$$P_w = \left(\frac{1}{2}\right) \times \rho \times A \times v^3$$

Dimana :

P<sub>w</sub> = Daya kinetik atau daya angin (Watt)

ρ = Massa jenis udara (1,225 Kg/m<sup>3</sup>)

A = Luas sapuan blade turbin ( m<sup>2</sup>)

v = Kecepatan angin (m/s)

c. Daya PLTH

$$P_{PLTH} = I_{Total} \times V$$

$$I_{Total} = I_{PLTS} + I_{PLTB}$$

Dimana :

P<sub>PLTH</sub> = Daya PLTH (Watt)

V = Tegangan (V)

I<sub>Total</sub> = Arus Total(A)

d. Daya Baterai

$$P_{Baterai} = V_{Baterai} \times I_{Baterai}$$

Dimana :

P<sub>Baterai</sub> = Daya Baterai (Watt)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

e. Efisiensi Sistem

$$\eta_s = \left( \frac{P_{bat}}{P_w + P_{in}} \right) \times 100 \%$$

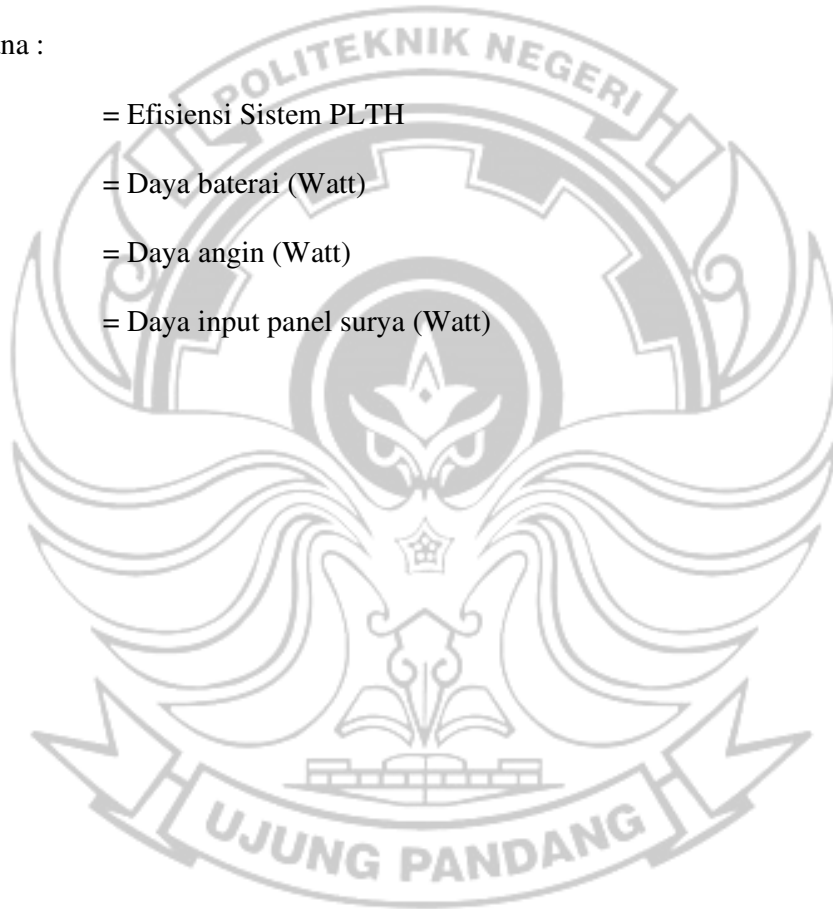
Dimana :

$\eta_s$  = Efisiensi Sistem PLTH

$P_{bat}$  = Daya baterai (Watt)

$P_w$  = Daya angin (Watt)

$P_{in}$  = Daya input panel surya (Watt)





## **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini akan dibahas hasil serta pembahasan pada pembangkit listrik hybrid tenaga surya menggunakan panel surya dan tenaga bayu menggunakan turbin angin vertikal jenis *crossflow*.

Pengujian alat pembangkit listrik hybrid ini terdiri dari beberapa tahap pengujian, dimulai pengujian pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dimana waktu pengujiannya dimulai dari pukul 08.00 pagi sampai pukul 18.00 malam. Kemudian pengujian kedua yaitu pengujian pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) dimana waktu pengujian dimulai dari pukul 08.00 pagi sampai pukul 23.40 malam. Dan pengujian yang terakhir adalah pengujian pembangkit listrik hybrid yaitu penggabungan 2 sumber energi dengan waktu pengujian mulai dari pukul 09.00 pagi sampai pukul 23.40 malam. Dari hasil pengujian yang diperoleh kemudian di analisis dan dilakukan pembahasan mengenai mengenai kinerja alat yang telah dibuat. Hasil perancangan dan pembuatan pembangkit listrik hybrid tenaga surya dan bayu dengan turbin *crossflow* pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Turbin crossflow



Gambar 4. 2 Hasil pembuatan PLTH

Hasil perencanaan beban dari PLTH di atas yaitu menggunakan lampu LED 20 W sebanyak 1 buah dengan jam kerja selama 12 Jam.

Energi beban = daya  $\times$  Lama pemakaian

Energi beban = 20 W  $\times$  12 hour = 240 Wh

Kemudian, dengan asumsi beban total sebesar 70% dari bebannya. Maka,

70%  $\times$  240 Wh = 168 Wh.

Pemilihan baterai berdasarkan beban yang telah di hitung. Maka

Kapasitas Batt = Energi beban  $\div$   $V_{dc}$

Kapasitas Batt = 168 Wh  $\div$  12 V = 14 Ah

Jadi, Kapasitas baterai yang di butuhkan adalah minimal 14 Ah. Pada penelitian

ini digunakan baterai dengan kapasitas 18 Ah.

## 4.1 Analisa Data

### 4.2.1 Pengujian PLTS

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan data nomor 8 yang terlampir pada lampiran 2

Diketahui :

$$G = 810,1 \text{ W/m}^2$$

$$A = 0,35 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{panel}} = 21,6 \text{ V}$$

$$V_{\text{input baterai}} = 12,1 \text{ V}$$

$$I_{\text{input baterai}} = 1,58 \text{ A}$$

Penyelesaian :

a. Daya input

$$\begin{aligned} P_{in} &= G \times A \\ &= 810,1 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \times 0,35 \text{ m}^2 \\ &= 283,54 \text{ W} \end{aligned}$$

b. Daya output

$$\begin{aligned} P_{out} &= V \times I \\ &= 12,1 \text{ V} \times 1,58 \text{ A} \\ &= 19,2 \end{aligned}$$

c. Efisiensi sistem

$$\begin{aligned} \eta_s &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{19,2 \text{ W}}{283,53 \text{ W}} \times 100\% \\ &= 6,74 \% \end{aligned}$$

### 4.2.2 Pengujian PLTB

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan data nomor 8 yang terlampir pada lampiran 3

Diketahui :

$$\begin{aligned}v &= 6,3 \text{ m/s} \\ \rho &= 1,225 \text{ (Kg/m}^3\text{)} \\ A &= 0,25 \text{ m}^2 \\ n_{\text{generator}} &= 254 \text{ Rpm} \\ V_{\text{input baterai}} &= 12,5 \text{ V} \\ I_{\text{input baterai}} &= 0,02 \text{ A}\end{aligned}$$

Penyelesaian :

- a. Transmisi roda gigi  
Perbandingan putaran

$$\begin{aligned}\frac{n_{\text{turbin}}}{n_{\text{generator}}} &= \frac{Z_{\text{generator}}}{Z_{\text{turbin}}} \\ \frac{n_{\text{turbin}}}{254 \text{ RPM}} &= \frac{16}{28} \\ n_{\text{turbin}} &= \frac{254 \text{ RPM} \times 16}{28} \\ &= 145,14\end{aligned}$$

- b. Daya angin

$$\begin{aligned}P_w &= \frac{1}{2} \times \rho \times A \times v^3 \\ &= \frac{1}{2} \times 1,225 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 0,25 \text{ m}^2 \times \left(6,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3 \\ &= 38,29 \text{ Watt}\end{aligned}$$

- c. Daya output

$$\begin{aligned}P_{\text{out}} &= V \times I \\ &= 12,5 \text{ V} \times 0,02 \text{ A} \\ &= 0,25 \text{ Watt}\end{aligned}$$

- d. TSR

$$\begin{aligned}\gamma &= \frac{\pi \times D \times n}{60 \times v} \\ &= \frac{3,14 \times 0,5 \text{ m} \times 145,14 \text{ Rpm}}{60 \times 6,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \\ &= 0,60\end{aligned}$$

- e. Efisiensi Sistem

$$\begin{aligned}\eta_s &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{0,25}{38,29} \times 100\% \\ &= 0,65\%\end{aligned}$$

#### 4.2.3 Pengujian PLTH

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan data nomor 8 yang terlampir pada lampiran 4

Diketahui :

$$I_r = 994,1 \text{ W/m}^2$$

$$v = 7,4 \text{ m/s}$$

$$A_{panel} = 0,35 \text{ m}^2$$

$$A_{turbin} = 0,25 \text{ m}^2$$

$$\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$$

$$n_{generator} = 331,7$$

$$V_{baterai \text{ PLTS}} = 13,1 \text{ V}$$

$$V_{baterai \text{ PLTB}} = 13,1 \text{ V}$$

$$V_{Baterai} = 13 \text{ V}$$

$$I_{\text{PLTS}} = 1,76 \text{ A}$$

$$I_{\text{PLTB}} = 0,04 \text{ A}$$

$$I_{\text{Baterai}} = 0,86 \text{ A}$$

Penyelesaian :

##### a. Daya Input PLTS

$$\begin{aligned}P_{in} &= I_r \times A \\ &= 994,1 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \times 0,35 \text{ m}^2 \\ &= 347,94 \text{ Watt}\end{aligned}$$

b. Daya input PLTB

$$\begin{aligned} P_w &= \frac{1}{2} \times \rho \times A \times v^3 \\ &= \frac{1}{2} \times 1,225 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 0,25 \text{ m}^2 \times (7,4 \frac{\text{m}}{\text{s}})^3 \\ &= 62,05 \text{ Watt} \end{aligned}$$

c. Daya PLTH

$$\begin{aligned} I_{\text{Total}} &= I_{\text{PLTS}} + I_{\text{PLTB}} \\ &= 1,76 + 0,04 \\ &= 1,8 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{PLTH}} &= V \times I \\ &= 13,1 \text{ V} \times 1,8 \text{ A} \\ &= 23,58 \text{ Watt} \end{aligned}$$

d. Daya Baterai

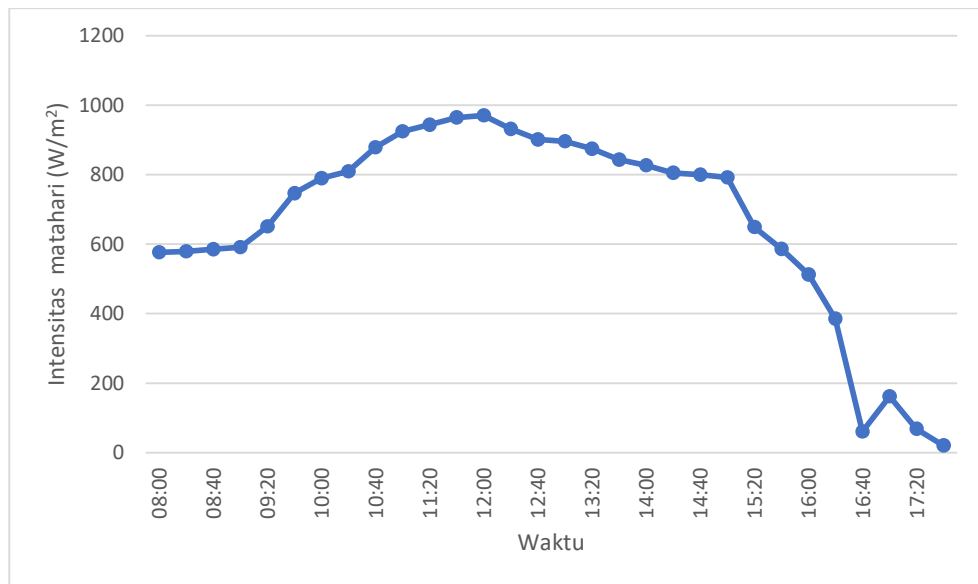
$$\begin{aligned} P_{\text{Baterai}} &= V_{\text{Baterai}} \times I_{\text{Baterai}} \\ &= 13 \times 0,86 \\ &= 11,18 \text{ Watt} \end{aligned}$$

e. Efisiensi sistem

$$\begin{aligned} n_s &= \frac{P_{\text{Baterai}}}{P_{\text{in PLTS}} + P_w} \times 100 \% \\ &= \frac{11,18 \text{ Watt}}{347,94 \text{ Watt} + 62,05 \text{ Watt}} \times 100 \% \\ &= 2,73 \% \end{aligned}$$

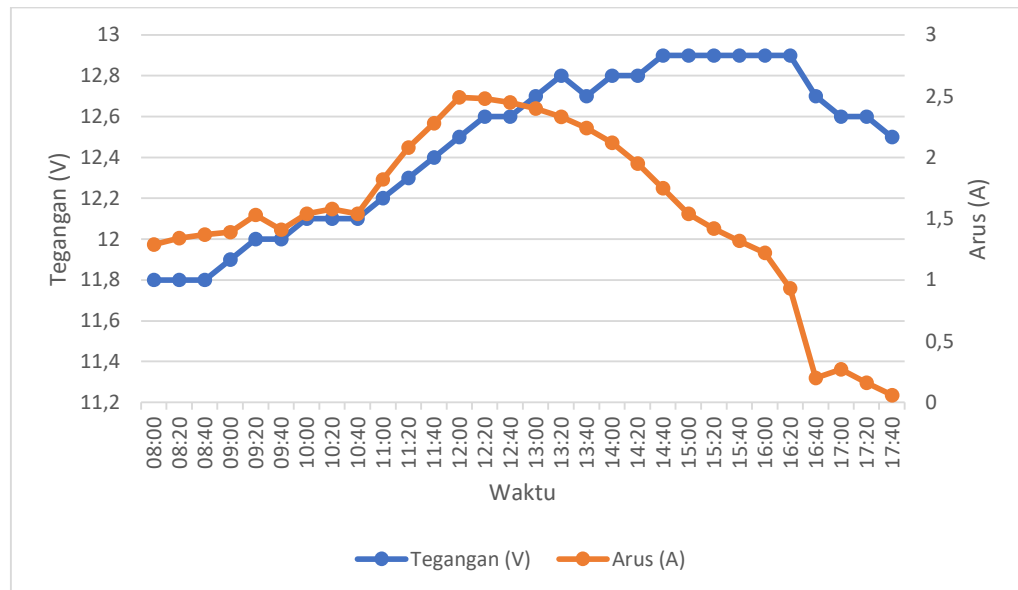
## 4.2 Grafik dan Pembahasan

### 4.2.1 Grafik Pembahasan Pengujian PLTS



Gambar 4. 3 Grafik hubungan waktu terhadap intensitas cahaya matahari

Berdasarkan gambar 4.3 dapat dilihat bahwa grafik intensitas cahaya matahari dalam 1 hari, mulai pukul 08.00 WITA sampai dengan pukul 17.40 WITA. Dimana pada pukul 08.00 WITA nilai intensitas cahaya matahari adalah  $577,2 W/m^2$  kemudian mulai mengalami kenaikan pada pukul 09.20 WITA sampai pada pukul 12.00 WITA dengan nilai tertinggi intensitas cahaya matahari sebesar  $971 W/m^2$ . Kemudian mengalami penurunan sampai pukul 17.40 WITA dengan nilai intensitas cahaya matahari terendah sebesar  $20,7 W/m^2$ , hal ini disebabkan pada pukul tersebut matahari sudah mulai terbenam.

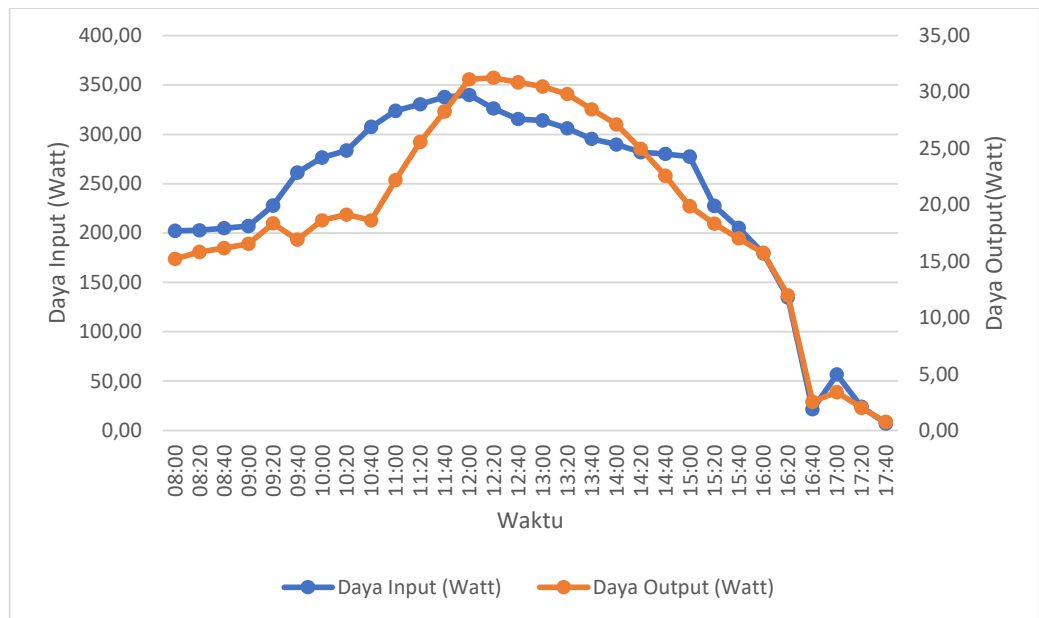


Gambar 4. 4 Grafik hubungan waktu terhadap tegangan dan arus

Berdasarkan gambar 4.4 dapat dilihat hubungan antara waktu terhadap tegangan pengisian baterai dan arus pengisian baterai. Berdasarkan grafik dapat dilihat bahwa pada awalnya arus dan tegangan terus naik seiring dengan terus berjalannya waktu. Namun, arus terus meningkat sampai pukul 12.00 WITA dan kemudian menurun sampai pukul 17.40 WITA, hal ini disebabkan sumber energi yang berasal dari intensitas cahaya matahari mulai berkuang pada saat itu. Sedangkan untuk tegangan, dari grafik dapat dilihat bahwa tegangan terus naik mulai dari pukul 08.00 dan cenderung konstan mulai pukul 14.40 WITA. Pada pukul 16.20 WITA, hal ini disebabkan oleh hubungan pemasangan antara Solar Charge Controller dengan Baterai yang dimana fungsi SCC mengatur tegangan untuk pengisian baterai. Adapun Arus tertinggi sebesar 2,49 A pada pukul 12.00 WITA dan arus terendah sebesar 0,016 A pada pukul 17.40 WITA. Sedangkan nilai tegangan tertinggi sebesar 12,9 V



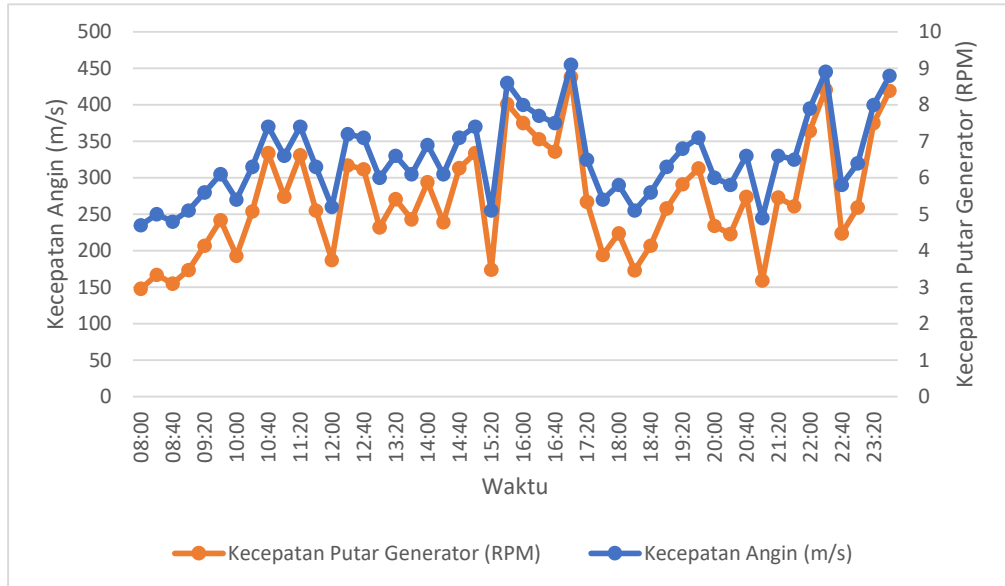
pada pukul 14.40 WITA sampai dengan pukul 16.20 WITA dan tegangan terendah sebesar 11,8 V pada pukul 08.00 WITA sampai dengan 08.40 WITA.



Gambar 4. 5 Grafik hubungan waktu terhadap daya input dan daya output.

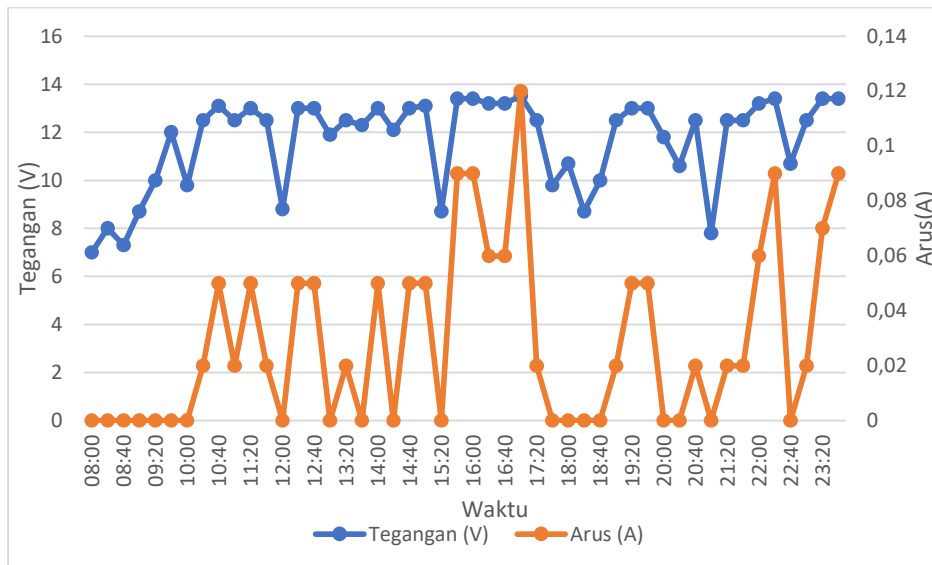
Berdasarkan gambar 4.5 dapat dilihat hubungan antara waktu terhadap daya input dan daya output. Dari grafik dapat dilihat nilai daya input dan daya output terus meningkat sampai pada pukul 12.20 WITA dan kemudian menurun sampai pada pukul 17.40 WITA. Adapun nilai Daya input tertinggi sebesar 339,85 Watt pada pukul 12.00 WITA dan nilai daya input terendah sebesar 7,27 Watt pada pukul 17.40 WITA. Sedangkan nilai daya output tertinggi sebesar 31,25 Watt pada pukul 12.20 WITA dan nilai daya output terendah sebesar 0,75 Watt pada pukul 18.40 WITA.

#### 4.2.2 Grafik Pembahasan Pengujian PLTB



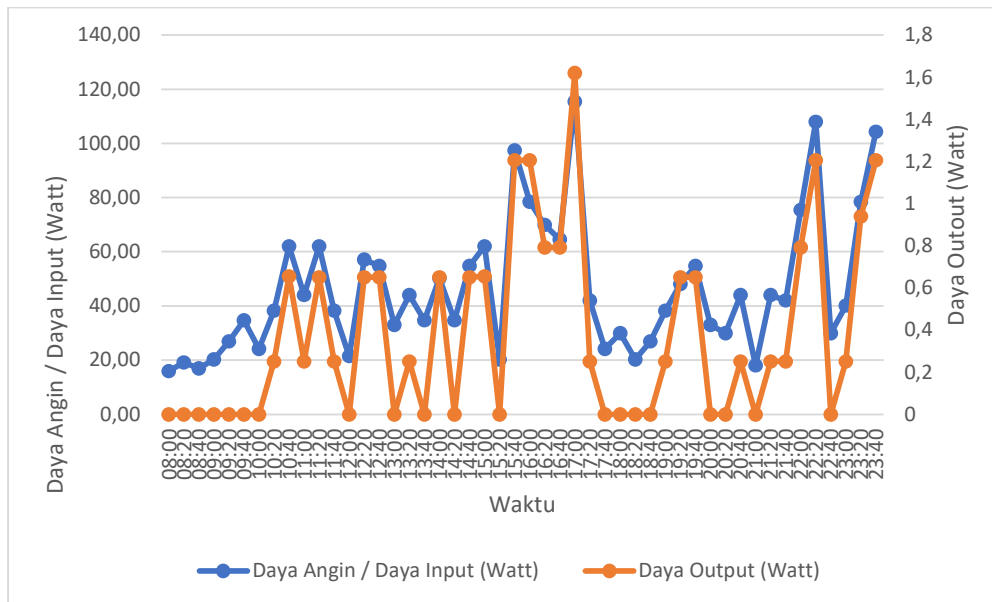
Gambar 4. 6 Grafik hubungan waktu terhadap kecepatan angin dan kecepatan putar generator

Berdasarkan gambar 4.6 dapat dilihat hubungan waktu terhadap kecepatan angin dan kecepatan putar generator. Adapun grafik diatas bersifat fluktuatif kemudian jika kecepatan angin tinggi maka putaran poros generator juga tinggi begitu pula sebaliknya jika kecepatan angin rendah maka kecepatan putar generator juga rendah. Adapun nilai kecepatan angin dan kecepatan putar terendah ada pada pukul 08.00 WITA sebesar 4,7 m/s dan 148 RPM. Sedangkan nilai kecepatan angin dan kecepatan putar generator tertinggi ada pada pukul 17.00 WITA sebesar 9,1 m/s dan 438 RPM.



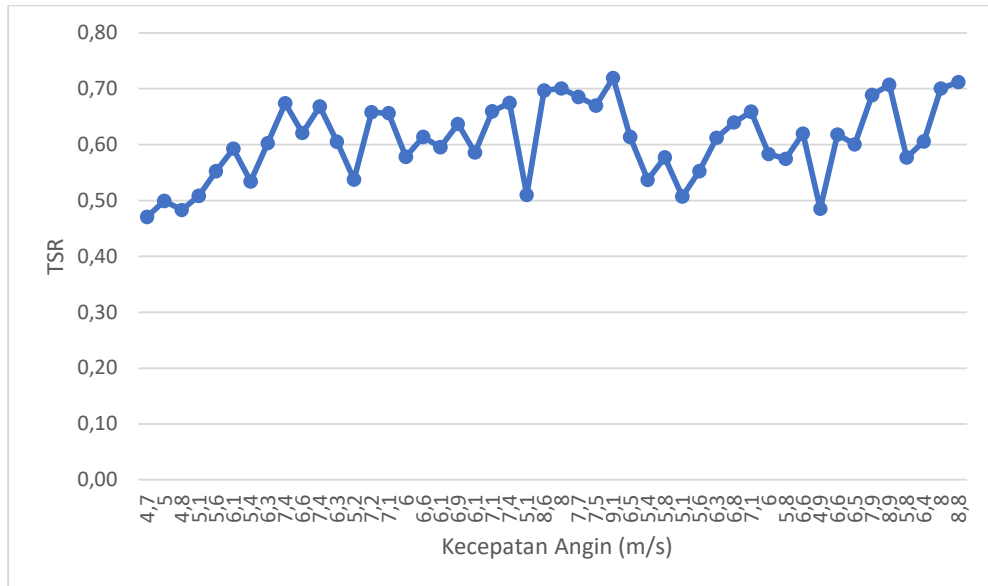
Gambar 4. 7 Grafik hubungan waktu terhadap tegangan dan arus

Berdasarkan gambar 4.7 dapat dilihat hubungan antara waktu terhadap tegangan dan arus. Grafik diatas bersifat fluktuatif . Pada grafik terdapat banyak arus bernilai 0 A hal ini disebabkan karena tegangan pengisian baterai yang tidak mencapai tegangan awal baterai, dimana tegangan awal pengisian baterai adalah 12,4 V, sehingga pada saat tegangan berada dibawah 12,4 V maka tidak terdapat arus charging. Adapun tegangan dan arus tertinggi ada pada pukul 17.00 WITA sebesar 13,5 V dan 0,12 A. sedangkan tegangan dan arus terendah ada pada pukul 08.00 WITA sebesar 7 V dan 0 A.



Gambar 4. 8 Grafik hubungan waktu terhadap terhadap daya angin dan daya output

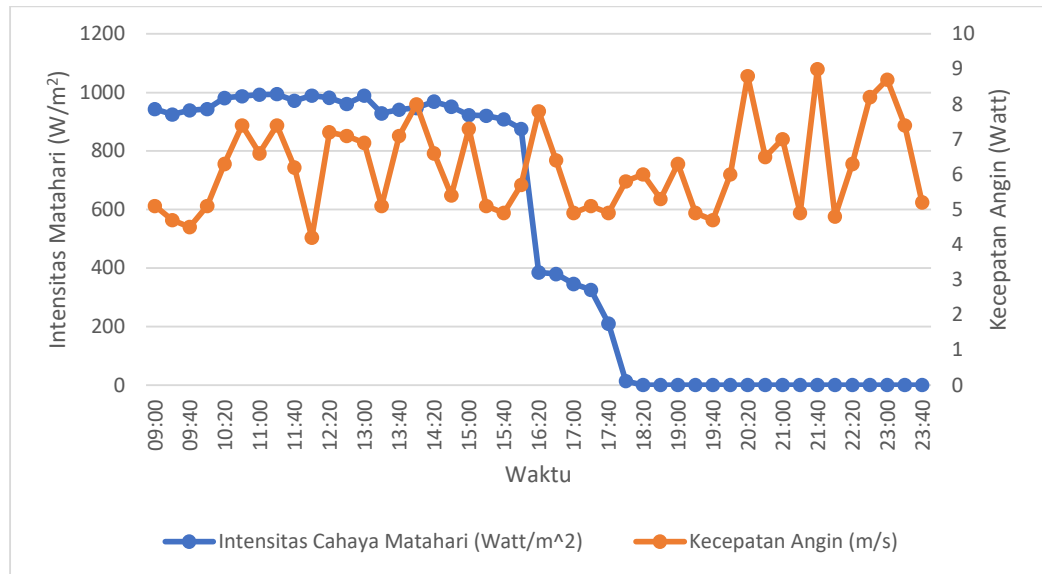
Berdasarkan gambar 4.9 dapat dilihat hubungan antara waktu terhadap daya angin/daya input dan daya output. Adapun grafik diatas bersifat fluktuatif kemudian jika daya angin tinggi maka daya output juga tinggi begitu pula sebaliknya jika daya angin rendah maka daya output juga rendah. Adapun daya angin dan daya output tertinggi ada pada pukul 17.00 WITA sebesar 115,39 Watt dan 1,62 Watt . sedangkan daya angin dan daya output terendah ada pada pukul 08.00 WITA sebesar 15,90 Watt dan 0 Watt.



Gambar 4. 9 Grafik hubungan kecepatan angin terhadap TSR

Berdasarkan gambar 4.10 dapat dilihat hubungan antara Kecepatan angin terhadap TSR. Dari hasil analisa kecepatan angin terhadap TRS dapat dikatakan jika kecepatan angin tinggi maka TSR juga tinggi, ini dikarenakan faktor penentu dari TSR seperti kecepatan angin dan putaran, sehingga dengan semakin meningkatnya putaran turbin maka TSR yang dihasilkan akan meningkat. Dimana kecepatan angin bernilai 9,1 m/s memiliki TSR sebesar 0,72 , sedangkan kecepatan angin terendah bernilai 4,7 m/s memiliki nilai TSR sebesar 0,47. Grafik bersifat fluktuatif karena kecepatan angin di tempat pengambilan data juga naik dan turun dalam 1 hari.

#### 4.2.3 Grafik Pembahasan Pengujian PLTH

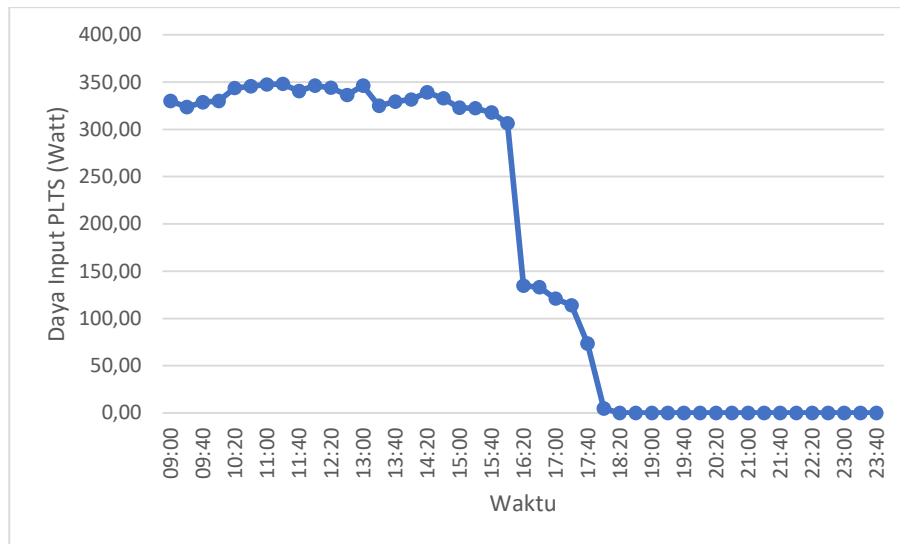


Gambar 4. 10 Grafik hubungan waktu terhadap intensitas cahaya matahari dan kecepatan angin.

Berdasarkan gambar 4.13 dapat dilihat grafik intensitas cahaya matahari dalam 1 hari, mulai dari pukul 09.00 WITA sampai dengan pukul 23.40 WITA. Dimana pada pukul 09.00 WITA nilai intensitas cahaya matahari adalah  $943 \text{ W/m}^2$  kemudian terus naik sampai pada pukul 11.20 WITA dengan nilai tertinggi intensitas cahaya matahari sebesar  $994,2 \text{ W/m}^2$ , kemudian intensitas matahari cenderung konstan dan menurun sampai pukul 14.40 WITA kemudian terus menurun sampai pukul 23.40 WITA. Pada pukul 18.20 WITA sampai 23.40 WITA, nilai intensitas cahaya matahari bernilai  $0 \text{ W/m}^2$  hal ini dikarenakan matahari yang sudah terbenam.

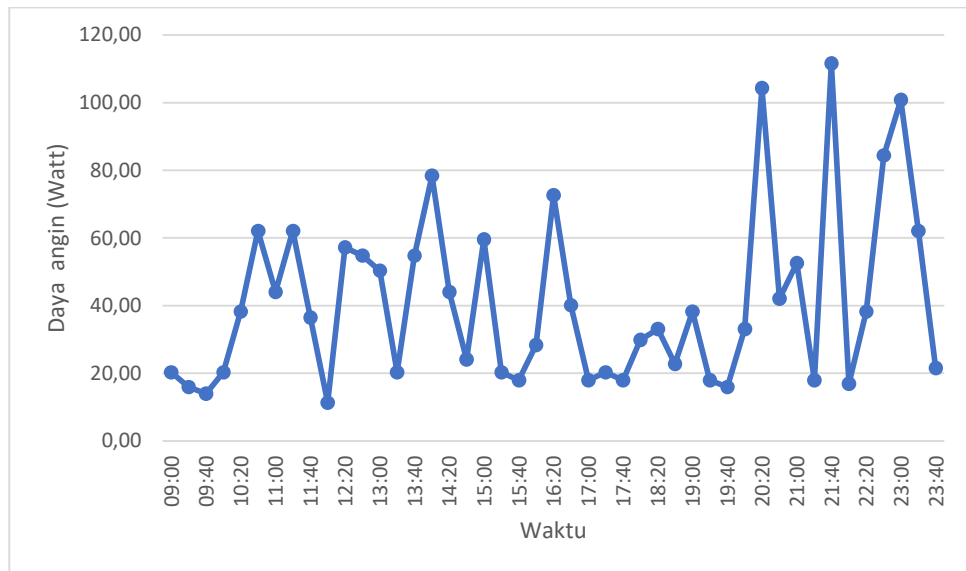
Berdasarkan gambar 4.13 dapat dilihat kecepatan angin dalam 1 hari dari pukul 09.00 WITA sampai dengan pukul 23.40 WITA. Berdasarkan grafik dapat dilihat kecepatan angin bersifat fluktuatif. Dimana kecepatan

angin terendah pada pukul 12.00 WITA sebesar 4,2 m/s dan kecepatan angin tertinggi terjadi pada malam hari yaitu pada puku 21.40 WITA dengan nilai 9 m/s.



Gambar 4. 11 Grafik hubungan waktu terhadap daya input PLTS

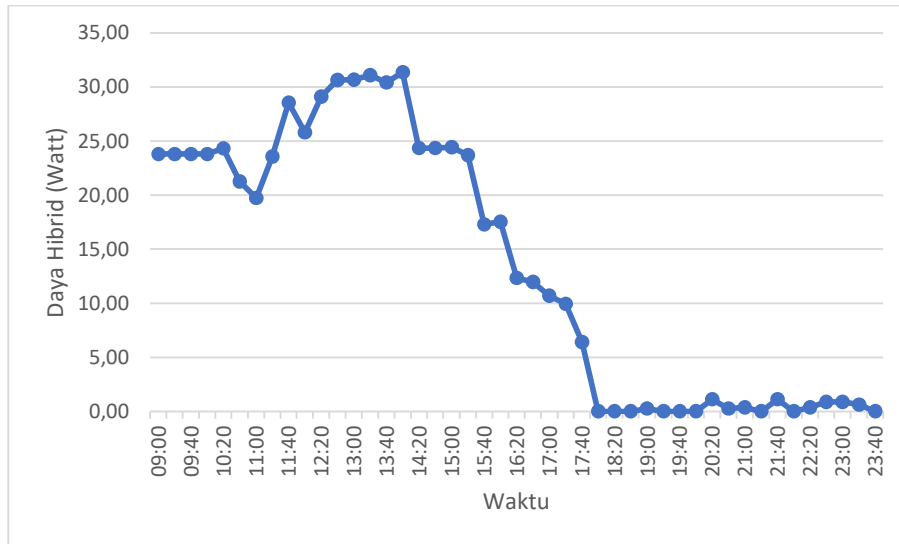
Berdasarkan gambar 4.13 dapat dilihat daya input PLTS dalam 1 hari dari pukul 09.00 WITA sampai dengan pukul 23.40 WITA. Dari grafik dapat dilihat daya input bersifat fluktuatif hal ini dikarenakan intensitas cahaya matahari yang juga fluktuatif. Dimana nilai tertinggi daya input yaitu 347,94 watt pada pukul 11.20 WITA. Dan terendah pada pukul 18.00-23.40 WITA yaitu 0 Watt hal ini disebabkan karena matahari sudah tenggelam.



Gambar 4. 12 Grafik hubungan waktu terhadap daya input PLTB (Daya angin)

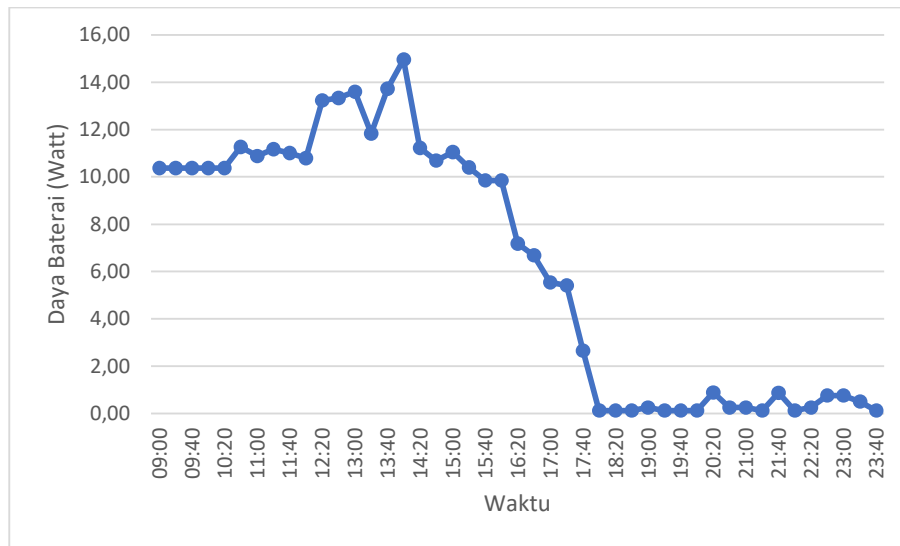
Berdasarkan gambar 4.14 dapat dilihat daya input PLTB dalam 1 hari dari pukul 09.00 WITA sampai dengan pukul 23.40 WITA. Dari grafik dapat dilihat daya input bersifat fluktuatif hal ini dikarenakan intensitas cahaya matahari yang juga fluktuatif. Dimana nilai tertinggi daya input yaitu 111,63 Watt pada pukul 21.40 WITA. Dan terendah pada pukul 12.00 WITA yaitu 11,34 Watt .





Gambar 4. 13 Grafik hubungan waktu dengan daya hibrid

Berdasarkan gambar 4.13 dapat dilihat hubungan waktu terhadap Daya Hibrid . Adapun grafik diatas bersifat fluktuatif, sesuai dengan sumber energi terbesar pada waktu itu, Pada siang hari energi surya mendominasi dan pada malam hari hanya energi angin yang menghasilkan daya walaupun tidak sebesar energi listrik yang di hasilkan PLTS. Adapun daya hybrid tertinggi ada pada pukul 14.00 WITA sebesar 31,34 Watt, sedangkan daya hybrid terendah ada pada pukul 18.20 WITA sebesar 0 Watt.



Gambar 4. 14 Grafik hubungan waktu terhadap daya Baterai

Berdasarkan gambar 4.14 dapat dilihat hubungan waktu terhadap daya Hibrid . Adapun grafik diatas bersifat fluktuatif, Dari grafik terlihat bahwa nilai daya output lebih tinggi pada siang hari dari pada malam hari, hal ini disebabkan energi surya merupakan sumber utama dari PLTH ini sedangkan energi angin merupakan sumber energi PLTH pada malam hari akan tetapi daya yang dihasilkan tidak sebesar energi surya. Daya tertinggi yang dihasilkan adalah pada pukul 14.00 WITA sebesar 14,96 Watt dan daya terendah yang dihasilkan adalah sebesar 0,12 Watt yang banya terdapat pada malam hari salah satunya pukul 18.20 WITA.

### 4.3 Analisis Perhitungan Biaya Ekonomi

#### 4.3.1 Biaya Listrik

Alat yang dirancang dan dibuat diperuntukan untuk penerangan jalan dengan beban sistem pengecasan baterai dan lampu sebesar 20 Watt.

- $168 \text{ Wh} \times 30 \text{ hari} = 5040 \text{ Wh/bulan} = 5,04 \text{ kWh/bulan}$

Untuk Tarif dasar listrik untuk penerangan jalan umum sebesar Rp.1.444,70 per kWh (sumber : PLN), maka

- $5,04 \text{ kWh} \times \text{Rp } 1.444,70 = \text{Rp } 7.1281,288$

Untuk pemakaian satu tahun:  $\text{Rp } 7.281,288 \times 12 \text{ bulan} = \text{Rp } 83.375,456$

#### 4.3.2 Investasi Awal

##### Biaya Investasi Awal

Biaya investasi awal untuk pembangkit listrik tenaga hybrid (surya-bayu) pada Tabel 4.1 berikut :

Tabel 4. 1 Biaya investasi awal pembangkit listrik tenaga hybrid (surya-bayu) untuk penerangan jalan

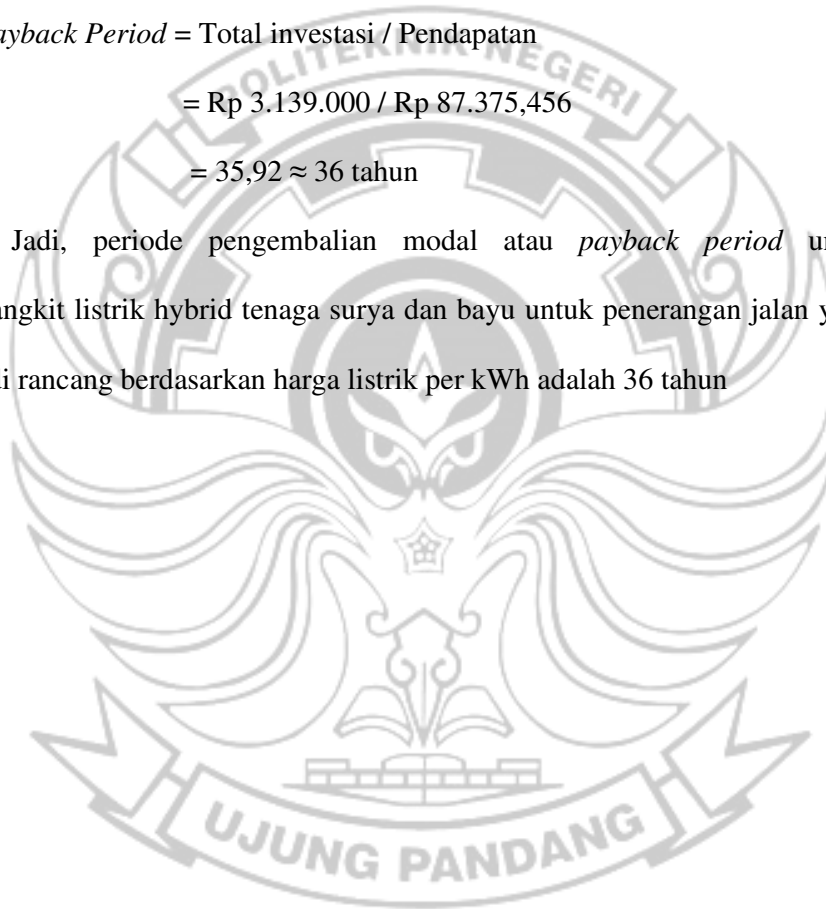
No.	Komponen	Unit	Harga Satuan (Rp)	Harga Total (Rp)
1	Panel surya 50 WP	1 Unit	375.000,-	375.000,-
2	Generator DC	1 Unit	700.000,-	700.000,-
3	Baterai 18 AH	1 Unit	600.000,-	600.000,-
4	<i>Solar Charger Controller 10A</i>	2 Unit	111.000,0	222.000,-
5	Plat aluminium 0,8mm	1 Unit	370.000,-	370.000,-
6	Besi galvanis hollow 40x40	1 Unit	170.000,-	170.000,-
7	Besi siku 4x4	2 Unit	75.000,-	150.000,-
8	Besi siku 3x3	2 Unit	48.000,-	96.000,-
9	Lampu LED sorot DC 20W	1 Unit	66.000,-	66.000,-
10	Sproket 16 gigi	1 Unit	80.000,-	80.000
11	Sproker 28 gigi	1 Unit	110.000,-	110.000
12	Rantai	1 Unit	60.000,-	60.000
13	MCB 1 phasa	2 Unit	70.000	140.000,-
Jumlah				3.139.000,-

#### 4.3.3 Payback Period

*Payback Period* merupakan jangka waktu kembalinya investasi yang telah dikeluarkan melalui keuntungan yang diperoleh dari suatu proyek yang telah direncanakan.

$$\begin{aligned} \text{Payback Period} &= \text{Total investasi} / \text{Pendapatan} \\ &= \text{Rp } 3.139.000 / \text{Rp } 87.375,456 \\ &= 35,92 \approx 36 \text{ tahun} \end{aligned}$$

Jadi, periode pengembalian modal atau *payback period* untuk Pembangkit listrik hybrid tenaga surya dan bayu untuk penerangan jalan yang telah di rancang berdasarkan harga listrik per kWh adalah 36 tahun



## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

1. Dari hasil perancangan, pembuatan serta pengujian mulai pukul 08.00 – 24.00 WITA alat berdiri kokoh sehingga berfungsi dengan baik dengan keadaan alam pesisir pantai padang savana yang dimana angin berhembus cukup kencang secara berkelanjutan serta menghasilkan daya untuk *charging* baterai 18 AH dari pagi hingga malam sehingga dapat menyuplai daya untuk lampu DC 20 watt sebagai penerangan jalan.
2. Dari hasil pengujian serta hasil analisa data didapatkan kinerja panel surya menghasilkan tegangan input baterai maksimum 12,9 V dan arus maksimum 2,49 A pada intensitas cahaya sebesar 971 W/m<sup>2</sup> pada pukul 12.00 WITA . sedangkan tegangan input baterai minimum 11,8 V dan arus minimum 0,06 A pada intensitas cahaya sebesar 20,7 W/m<sup>2</sup> pada pukul 17.40 WITA. Untuk kinerja turbin angin VAWT *crossflow* menghasilkan tegangan input baterai maksimum 13,5 V dan arus maksimum 0,12 A pada kecepatan angin sebesar 9,1 m/s pada pukul 17.00 WITA . tegangan input baterai minimum 7 V dan arus minimum 0 A pada kecepatan angin sebesar 4,7 m/s pada pukul 08.00 WITA, pada putaran generator dibawah 243 RPM atau pada kecepatan angin dibawah 6,1 m/s PLTB tidak dapat melakukan *charging*
3. Dari hasil analisa data didapatkan kinerja pembangkit listrik hybrid menghasilkan daya tertinggi sebesar 31,37 Watt pada intensitas cahaya

sebesar  $947 \text{ W/m}^2$  serta kecepatan angin  $8 \text{ m/s}$  pada pukul 14.00 WITA . Sedangkan daya terendah sebesar  $0 \text{ Watt}$  pada intensitas cahaya sebesar  $0 \text{ W/m}^2$  serta kecepatan angin dibawah  $6 \text{ m/s}$  Pada malam hari salah satunya pukul 18.20 WITA. Namun, Daya yang di hasilkan tidak masuk maksimal pada proses *charging*. Untuk efisiensi tertinggi sebesar  $4,04 \%$  dan efisiensi terendah sebesar  $0,36 \%$ .

## 5.2 Saran

1. Dibutuhkan pengembangan dengan menambahkan sensor alat ukur pada pembangkit listrik hybrid dan pemanfaatan daya listrik yang dihasilkan selain untuk penerangan jalan.
2. Melakukan pengujian 24 jam untuk mendapatkan data pengujian yang lebih spesifik, selain itu penggunaan generator dengan spesifikasi lebih baik dan penentuan lokasi dengan kecepatan angin tinggi mempengaruhi daya yang dihasilkan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Barreto, R. (2018). Fossil fuels, alternative energy and economic growth. *Economic Modelling*, 75, 196–220.
- Darsan, Herri dkk. 2020. Perencanaan Pembangkit Listrik Hybrid VAWT dan Solar Cell Secara Otomatis untuk Penerangan Jalan. Aceh : Jurusan Teknik Mesin Universitas Teuku Umar.
- DESM. 2011. *Potensi Energi Terbarukan di Sulawesi Selatan*. Makassar : Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Hayu, Teuku Syaufi dkk. 2018. Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (Surya-Bayu) di Banda Aceh Menggunakan Metode Jaringan Syaraf Tiruan. Skripsi. Aceh: Universitas Syiah Kuala.
- Herfandi, Diky dkk. 2020. Studi Eksperimental Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Daya Pada Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Rotor *Crossflow* Untuk Optimalisasi Angin Di Wilayah Pantai Kota Balikpapan. Kalimantan: Institut Teknologi Kalimantan.
- Hudaya, Cairul. 2011. Peranan Riset Baterai Sekunder dalam Mendukung Penyediaan Energi Bersih di Indonesia 2025. *Proceeding Olimpiade Karya Tulis Inovatif (OKTI)*
- IESR. 2019. Laporan Status Energi Bersih Indonesia: Potensi, Kapasitas Terpasang, dan Rencana Pembangunan Pembangkit Listrik Energi Terbarukan 2019. Indonesia : Institute for Essential Services Reform
- Juwito, Arif Febriansyah dkk. 2013. Optimalisasi Energi Terbarukan pada Pembangkit Tenaga Listrik dalam Menghadapi Desa Mandiri Energi di Margajaya. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknik* Vol.15, No.1, 22-34.
- Klemm, Toni et al. 2007. *Application Of A Cross Flow Fan As Wind Turbine* . Germany : Departement of Fluid-Machinery, University Karlsruhe.
- Kurniawati, D Mungil dkk. 2019. Investigasi Performa Turbin Angin *Crossflow* dengan Simulasi Numerik 2D. Balikpapan : Program Studi Teknik Mesin, Institut Teknologi Kalimantan.
- LAPAN. 2005. “Data Kecepatan Angin di Indonesia”. Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional.
- Pehl, M., Arvesen, A., Humpenöder, F., Popp, A., Hertwich, E. G., & Luderer, G. (2017). Understanding future emissions from low-carbon power systems by

integration of life-cycle assessment and integrated energy modelling. *Nature Energy*, 2(12), 939–945. <https://doi.org/10.1038/s41560-017-0032-9>

Permadi, Moch Fachruddin Wahyu. 2018. Uji Eksperimental Turbin Angin Sumbu Vertikal Jenis *Cross-flow* dengan Variasi Jumlah Blade. Surabaya : Jurusan Teknik Konversi Energi Univesitas Teuku Umar.

PLN. 2022. Penetapan Penyesuaian Tarif Tenaga Listrik Oktober-Desember 2022. Jakarta.

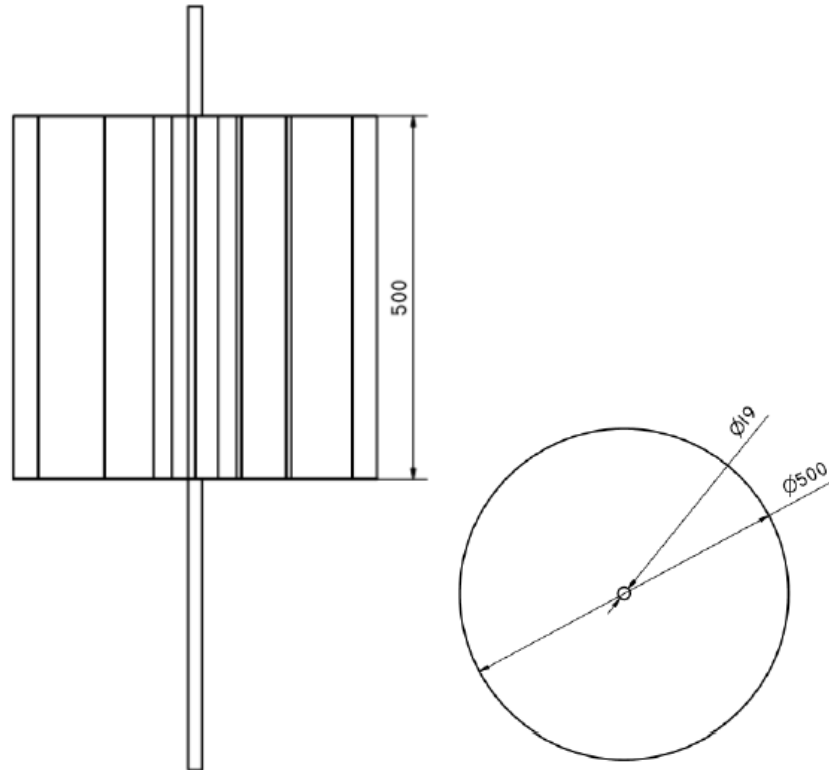
Sistiawan, Yuda Agus Tri dan Pamor Gunoto. 2019. Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Hybride (Tenaga Surya dan Bayu) dengan Kapasitas 20 W. Batam : Jurusann Teknik Elektro Universitas Riau Kepulauan.



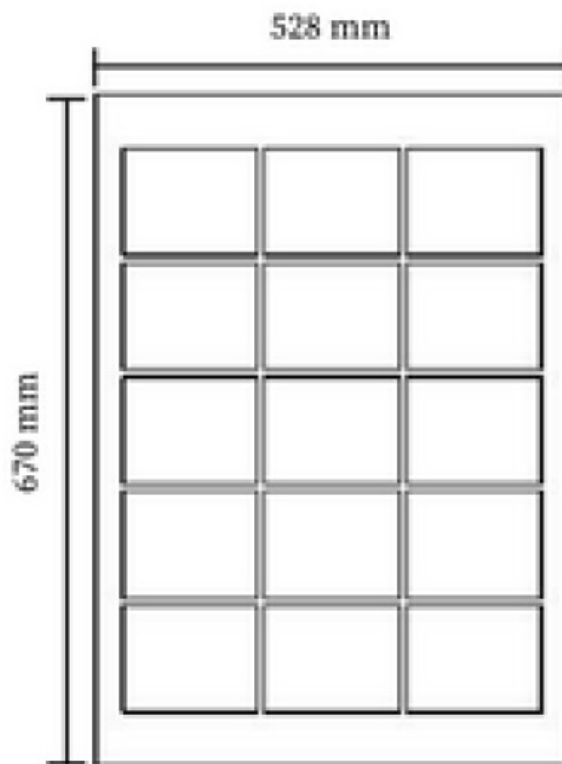


## LAMPIRAN

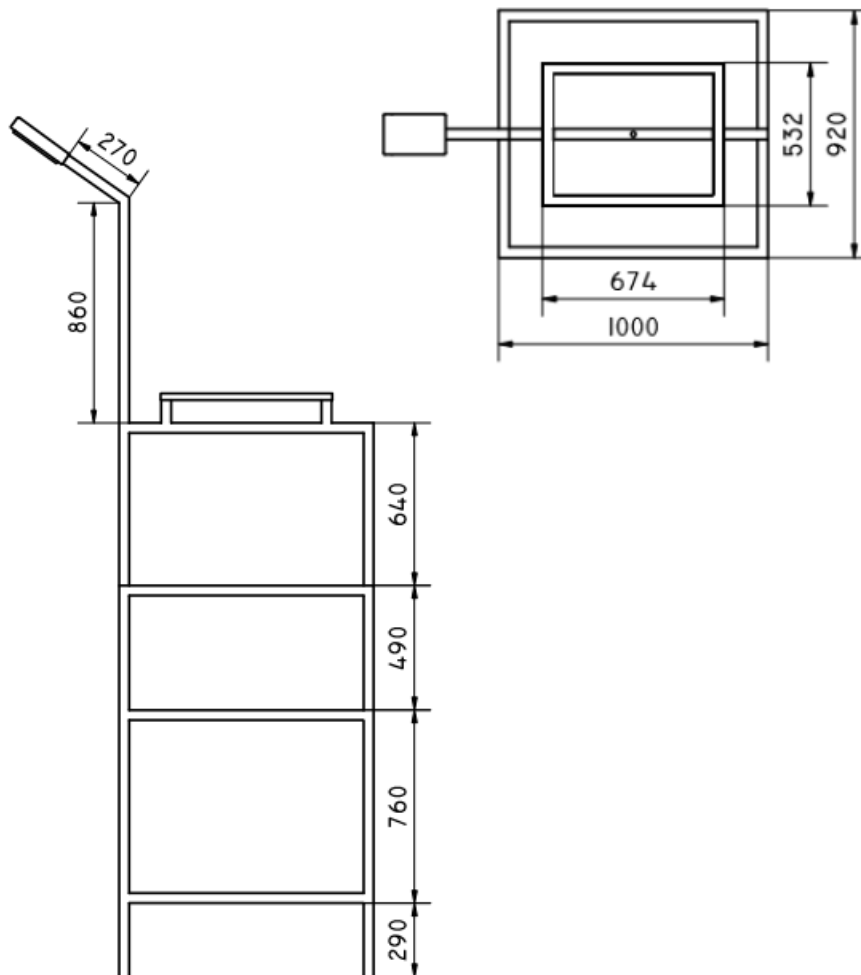
Lampiran 1 Gambar Teknik Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid



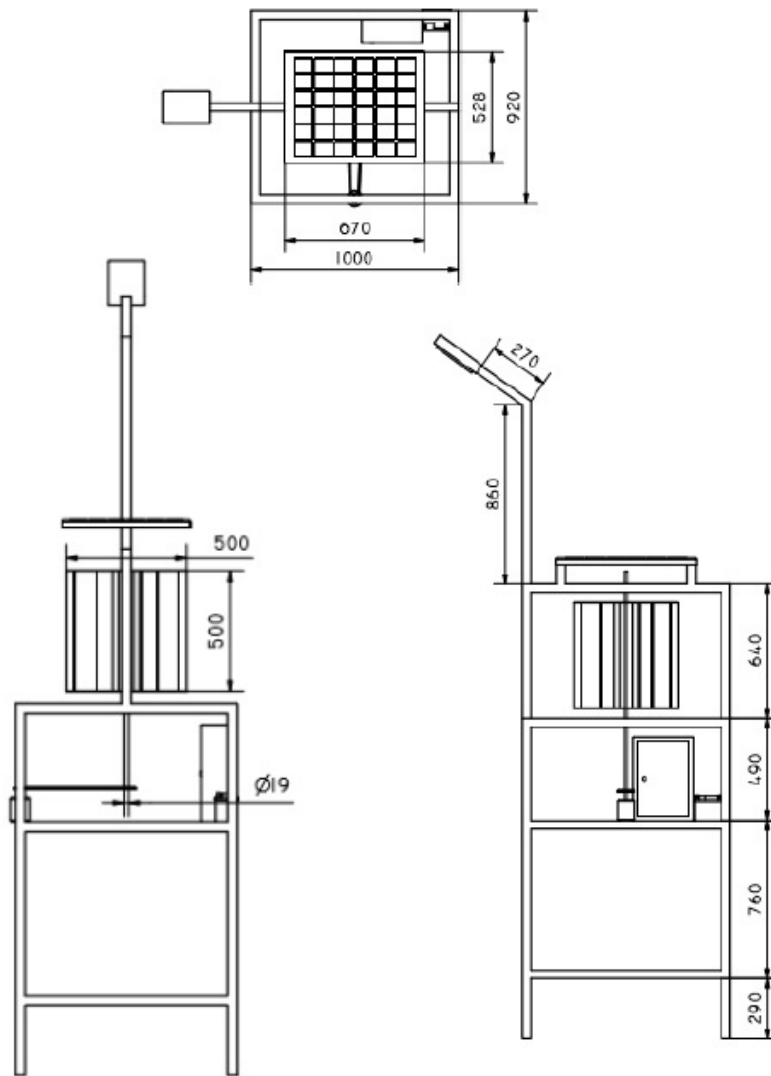
Jumlah	Nama Bagian	No.Bagian	Bahan	Ukuran	Keterangan	
	Perubahan :			Pengganti dari : 03/09/2022 Diganti Dengan :		
	TURBIN ANGIN CROSSFLOW				Satuan : mm	
					Digambar : 03/11/2022	
						Diperiksa : 14/12/2022
						Disetujui : 14/12/2022
	POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG					



Jumlah	Nama Bagian	No.Bagian	Bahan	Ukuran	Keterangan
	Perubahan :				Pengganti dari : 03/09/2022
	PANEL SURYA				Diganti Dengan :
					Satuan : mm
					Digambar : 03/11/2022
					Diperiksa : 14/12/2022
					Disetujui : 14/12/2022
	POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG				



Jumlah	Nama Bagian	No.Bagian	Bahan	Ukuran	Keterangan
	Perubahan :			Pengganti dari : 03/09/2022	
	RANGKA PLTH			Diganti Dengan :	
				Satuan : mm	
				Digambar : 03/11/2022	
				Diperiksa : 14/12/2022	
				Disetujui : 14/12/2022	
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG					



Jumlah	Nama Bagian	No. Bagian	Bahan	Ukuran	Keterangan
	Perubahan :			Pengganti dari : 03/09/2022	
	Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid			Diganti Dengan :	
				Satuan : mm	
				Digambar : 03/11/2022	
				Diperiksa : 14/12/2022	
	POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG			Disetujui : 14/12/2022	

Lampiran 2 Data pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Surya

**DATA PENGUJIAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA**

Hari/Tanggal : Kamis/18 Agustus 2022

Tegangan Awal Baterai 18 AH = 11,7

Ketinggian Lokasi = 16

Mdpl

No.	Waktu	Intensitas Cahaya (W/m <sup>2</sup> )	Suhu (°C)	Tegangan Panel (V)	Input Baterai 18 AH		Lampu DC	
					Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)
1	8:00	577,2	30	21,4	11,8	1,29	12	1,45
2	8:20	579,5	30	21,4	11,8	1,34	12	1,49
3	8:40	585,3	30	21,4	11,8	1,37	12	1,5
4	9:00	591,6	30	21,4	11,9	1,39	12	1,62
5	9:20	651	31	21,4	12	1,53	12	1,64
6	9:40	746,8	31	21,5	12	1,41	12	1,67
7	10:00	790	31	21,6	12,1	1,54	12	1,73
8	10:20	810,1	32	21,6	12,1	1,58	12,1	1,73
9	10:40	879,1	32	21,6	12,1	1,54	12,1	1,73
10	11:00	924,6	32	21,6	12,2	1,82	12,1	1,8
11	11:20	944,1	32	21,7	12,3	2,08	12	1,83
12	11:40	965,1	34	21,7	12,4	2,28	12,1	1,89
13	12:00	971	33	21,7	12,5	2,49	12,1	1,9
14	12:20	932,1	33	21,6	12,6	2,48	12,1	1,84
15	12:40	901,2	33	21,6	12,6	2,45	12,1	1,82
16	13:00	896,8	33	21,6	12,7	2,4	12,1	1,86
17	13:20	874,4	33	21,6	12,8	2,33	12,1	1,87
18	13:40	843,7	33	21,6	12,7	2,24	12,1	1,96
19	14:00	827,1	33	21,6	12,8	2,12	12,1	1,91
20	14:20	805,3	32	21,5	12,8	1,95	12,1	1,92
21	14:40	800,5	31	21,4	12,9	1,75	12,1	1,95
22	15:00	792,4	31	21,4	12,9	1,54	12,1	1,93
23	15:20	649,7	31	21,3	12,9	1,42	12,1	1,84
24	15:40	586,5	31	21,3	12,9	1,32	12	1,87
25	16:00	513,2	31	21,2	12,9	1,22	12	1,86
26	16:20	385,5	29	19,9	12,9	0,93	12	1,82
27	16:40	61,2	29	19,2	12,7	0,2	12	1,82
28	17:00	162,6	29	19,8	12,6	0,27	12	1,82
29	17:20	68,6	29	18,6	12,6	0,16	12	1,82
30	17:40	20,7	28	16	12,5	0,06	12	1,82

Lampiran 3 Data pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

**DATA PENGUJIAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU**

Hari/Tanggal : Jumat/19 Agustus 2022

Tegangan Awal Baterai 18 AH= 12,4

Ketinggian Lokasi = 16 Mdpl

No.	Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Putaran Turbin (RPM)	Putaran Generator (RPM)	Tegangan Generator (V)	Input Baterai 18 AH		Lampu DC	
						Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)
1	8:00	4,7	84,57	148	7	7	0	12	0,86
2	8:20	5	95,43	167	8	8	0	12	0,85
3	8:40	4,8	88,57	155	7,3	7,3	0	12	0,85
4	9:00	5,1	99,09	173,4	8,7	8,7	0	12	0,87
5	9:20	5,6	118,29	207	10	10	0	12	0,88
6	9:40	6,1	138,29	242	12	12	0	12	0,8
7	10:00	5,4	110,29	193	9,8	9,8	0	12	0,83
8	10:20	6,3	145,14	254	13	12,5	0,02	12,1	0,81
9	10:40	7,4	190,69	333,7	16	13,1	0,05	12,1	0,79
10	11:00	6,6	156,57	274	13,8	12,5	0,02	12,1	0,79
11	11:20	7,4	189,09	330,9	15,8	13	0,05	12,1	0,77
12	11:40	6,3	145,71	255	13	12,5	0,02	12,1	0,76
13	12:00	5,2	106,86	187	8,8	8,8	0	12	0,81
14	12:20	7,2	181,14	317	15,4	13	0,05	12	0,83
15	12:40	7,1	178,11	311,7	15	13	0,05	12,1	0,73

No.	Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Putaran Turbin (RPM)	Putaran Generator (RPM)	Tegangan Generator (V)	Input Baterai 18 AH		Lampu DC	
						Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)
16	13:00	6	132,57	232	11,9	11,9	0	12,1	0,73
17	13:20	6,6	154,86	271	13,7	12,5	0,02	12,1	0,75
18	13:40	6,1	138,86	243	12,3	12,3	0	12,1	0,76
19	14:00	6,9	168,00	294	14,8	13	0,05	12,1	0,77
20	14:20	6,1	136,57	239	12,1	12,1	0	12	0,84
21	14:40	7,1	179,09	313,4	15	13	0,05	12	0,84
22	15:00	7,4	190,86	334	16	13,1	0,05	12	0,86
23	15:20	5,1	99,43	174	8,7	8,7	0	12	0,88
24	15:40	8,6	229,14	401	19,4	13,4	0,09	12	0,88
25	16:00	8	214,29	375	18	13,4	0,09	12	0,87
26	16:20	7,7	201,71	353	17	13,2	0,06	12	0,87
27	16:40	7,5	192,06	336,1	16,7	13,2	0,06	12	0,79
28	17:00	9,1	250,29	438	21	13,5	0,12	12,1	0,78
29	17:20	6,5	152,57	267	13,5	12,5	0,02	12	0,81
30	17:40	5,4	110,86	194	9,8	9,8	0	12	0,83
31	18:00	5,8	128,00	224	10,7	10,7	0	12	0,82
32	18:20	5,1	98,86	173	8,7	8,7	0	12	0,9
33	18:40	5,6	118,29	207	10	10	0	12	0,84
34	19:00	6,3	147,43	258	13,1	12,5	0,02	12	0,87
35	19:20	6,8	166,29	291	14	13	0,05	12	0,86
36	19:40	7,1	178,86	313	15	13	0,05	12	0,81
37	20:00	6	133,71	234	11,8	11,8	0	12	0,82

No.	Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Putaran Turbin (RPM)	Putaran Generator (RPM)	Tegangan Generator (V)	Input Baterai 18 AH		Lampu DC	
						Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)
38	20:20	5,8	127,43	223	10,6	10,6	0	12	0,87
39	20:40	6,6	156,34	273,6	13,7	12,5	0,02	12	0,88
40	21:00	4,9	90,86	159	7,8	7,8	0	12	0,89
41	21:20	6,6	156,00	273	13,7	12,5	0,02	12	0,87
42	21:40	6,5	149,14	261	13	12,5	0,02	12	0,83
43	22:00	7,9	208,00	364	17,2	13,2	0,06	12	0,85
44	22:20	8,9	240,57	421	20,4	13,4	0,09	12	0,85
45	22:40	5,8	128,00	224	10,7	10,7	0	12	0,79
46	23:00	6,4	148,23	259,4	13	12,5	0,02	12	0,84
47	23:20	8	214,29	375	18	13,4	0,07	12	0,88
48	23:40	8,8	239,49	419,1	20,1	13,4	0,09	12	0,91





Lampiran 4 Data Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid

**DATA PENGUJIAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA HYBRID**

Hari/Tanggal : Sabtu/20 Agustus 2022

Tegangan Awal Baterai 18 AH = 12,6

Ketinggian Lokasi = 16 Mdpl

No.	Waktu	Intensitas Cahaya (W/m <sup>2</sup> )	Putaran Turbin (RPM)	Kec. Angin (m/s)	Putaran Generator (RPM)	Tegangan (V)		Output Listrik						Lampu DC	
						PLTS	PLTB	Tegangan (V)			Arus (A)			Tegangan (V)	Arus (A)
								PLTS	PLTB	Baterai	PLTS	PLTB	Baterai		
1	9:00	943	98,86	5,1	173	21,6	8,7	12,8	12,8	12,8	1,86	0	0,81	12,1	0,79
2	9:20	924,1	84,57	4,7	148	21,6	7	12,8	12,8	12,8	1,86	0	0,81	12,1	0,77
3	9:40	939	74,86	4,5	131	21,6	6,6	12,8	12,8	12,8	1,86	0	0,81	12,1	0,77
4	10:00	943	99,09	5,1	173,4	21,6	8,7	12,8	12,8	12,8	1,86	0	0,81	12,1	0,8
5	10:20	981,5	145,14	6,3	254	21,7	13	12,8	12,8	12,8	1,88	0,02	0,81	12,1	0,8
6	10:40	987,5	189,14	7,4	331	21,7	16	12,8	12,9	12,8	1,6	0,05	0,88	12,1	0,79
7	11:00	992,4	157,14	6,6	275	21,7	13,7	12,8	12,9	12,8	1,51	0,02	0,85	12,1	0,78
8	11:20	994,1	189,54	7,4	331,7	21,7	15,8	13,1	13,1	13	1,76	0,04	0,86	12,2	0,83
9	11:40	972,3	142,29	6,2	249	21,7	12	13,1	13,1	12,8	2,18	0	0,86	12,2	0,85
10	12:00	989,3	68,00	4,2	119	21,7	6,1	13,2	13,3	13	1,94	0	0,83	12,3	0,93
11	12:20	982,5	181,71	7,2	318	21,7	15,4	13,2	13	13,1	2,2	0,04	1,01	12,3	0,97
12	12:40	961,1	177,14	7,1	310	21,7	15	13,4	13,1	13,2	2,3	0,04	1,01	12,3	0,95
13	13:00	989,3	168,57	6,9	295	21,7	14,8	13,8	13,7	13,6	2,21	0,03	1	12,3	0,95
14	13:20	928,4	98,86	5,1	173	21,7	8,7	13,8	13,7	13,6	2,27	0	0,87	12,2	0,8
15	13:40	941	177,71	7,1	311	21,7	15	13,8	13,7	13,6	2,18	0,04	1,01	12,2	0,84

No.	Waktu	Intensitas Cahaya (W/m <sup>2</sup> )	Putaran Turbin (RPM)	Kec. Angin (m/s)	Putaran Generator (RPM)	Tegangan (V)		Output Listrik						Lampu DC	
						PLTS	PLTB	Tegangan (V)			Arus (A)			Tegangan (V)	Arus (A)
								PLTS	PLTB	Baterai	PLTS	PLTB	Baterai		
16	14:00	947	213,77	8	374,1	21,7	18	13,8	13,7	13,6	2,2	0,09	1,1	12,2	0,81
17	14:20	969	156,57	6,6	274	21,6	13,7	13,4	13,1	13,2	1,84	0,02	0,85	12,2	0,82
18	14:40	951	110,51	5,4	193,4	21,6	9,8	13,4	13,1	13,2	1,86	0	0,81	12,2	0,84
19	15:00	923	183,49	7,3	321,1	21,5	15	13,1	12,8	13	1,87	0,04	0,85	12,1	0,78
20	15:20	920,4	99,49	5,1	174,1	21,5	8,7	13,1	12,8	13	1,85	0	0,8	12,1	0,78
21	15:40	908	92,11	4,9	161,2	21,3	7,8	13	12,9	12,8	1,34	0	0,77	12,1	0,79
22	16:00	875	121,14	5,7	212	21,3	10,5	13	12,9	12,8	1,36	0	0,77	12,1	0,8
23	16:20	385,1	203,43	7,8	356	19,9	17,8	12,7	12,6	12,6	0,92	0,06	0,57	12,1	0,81
24	16:40	380	148,00	6,4	259	19,9	13	12,7	12,6	12,6	0,93	0,02	0,53	12,1	0,79
25	17:00	345,7	92,00	4,9	161	19,5	7,8	12,7	12,6	12,6	0,85	0	0,44	12,1	0,77
26	17:20	325,2	99,03	5,1	173,3	19	8,7	12,6	12,6	12,6	0,79	0	0,43	12,1	0,77
27	17:40	209,9	92,00	4,9	161	17,5	7,8	12,6	12,6	12,6	0,51	0	0,21	12,1	0,81
28	18:00	14	128,00	5,8	224	9,47	10,7	12,6	12,6	12,5	0	0	0,01	12,1	0,8
29	18:20	0	132,57	6	232	0	11,9	12,5	12,4	12,3	0	0	0,01	12,1	0,79
30	18:40	0	108,00	5,3	189	0	9	12,3	12,4	12,3	0	0	0,01	12,1	0,76
31	19:00	0	145,14	6,3	254	0	13	12,3	12,5	12,5	0	0,02	0,02	12,1	0,79
32	19:20	0	92,00	4,9	161	0	7,8	12,3	12,4	12,3	0	0	0,01	12,1	0,77
33	19:40	0	84,57	4,7	148	0	7	12,3	12,4	12,3	0	0	0,01	12,1	0,8
34	20:00	0	132,51	6	231,9	0	11,9	12,3	12,4	12,3	0	0	0,01	12,1	0,8
35	20:20	0	238,86	8,8	418	0	20,11	12,3	12,6	12,6	0	0,09	0,07	12,1	0,79
36	20:40	0	154,86	6,5	271	0	13,1	12,2	12,5	12,5	0	0,02	0,02	12,1	0,77
37	21:00	0	176,57	7	309	0	14,8	12,2	12,5	12,5	0	0,03	0,02	12,1	0,77

No.	Waktu	Intensitas Cahaya (W/m <sup>2</sup> )	Putaran Turbin (RPM)	Kec. Angin (m/s)	Putaran Generator (RPM)	Tegangan (V)		Output Listrik						Lampu DC	
						PLTS	PLTB	Tegangan (V)			Arus (A)			Tegangan (V)	Arus (A)
								PLTS	PLTB	Baterai	PLTS	PLTB	Baterai		
38	21:20	0	92,17	4,9	161,3	0	7,8	12,2	12,3	12,2	0	0	0,01	12,1	0,78
39	21:40	0	245,14	9	429	0	20,4	12,2	12,6	12,5	0	0,09	0,07	12,1	0,79
40	22:00	0	86,29	4,8	151	0	7,8	12,2	12,3	12,2	0	0	0,01	12,1	0,8
41	22:20	0	145,14	6,3	254	0	13	12,2	12,5	12,5	0	0,03	0,02	12	0,76
42	22:40	0	219,43	8,2	384	0	18,4	12,2	12,6	12,6	0	0,07	0,06	12	0,77
43	23:00	0	232,00	8,7	406	0	19,6	12,2	12,6	12,6	0	0,07	0,06	12	0,78
44	23:20	0	190,86	7,4	334	0	16	12,2	12,5	12,5	0	0,05	0,04	12	0,8
45	23:40	0	107,43	5,2	188	0	8,8	12,2	12,3	12,2	0	0	0,01	12	0,81



Lampiran 5 Hasil analisa data pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Surya

No.	Pin (Watt)	Pout (Watt)	$\eta$ (%)
1	202,02	15,22	7,53
2	202,83	15,81	7,80
3	204,86	16,17	7,89
4	207,06	16,54	7,99
5	227,85	18,36	8,06
6	261,38	16,92	6,47
7	276,50	18,63	6,74
8	283,54	19,12	6,74
9	307,69	18,63	6,06
10	323,61	22,20	6,86
11	330,44	25,58	7,74
12	337,79	28,27	8,37
13	339,85	31,13	9,16
14	326,24	31,25	9,58
15	315,42	30,87	9,79
16	313,88	30,48	9,71
17	306,04	29,82	9,75
18	295,30	28,45	9,63
19	289,49	27,14	9,37
20	281,86	24,96	8,86
21	280,18	22,58	8,06
22	277,34	19,87	7,16
23	227,40	18,32	8,06
24	205,28	17,03	8,30
25	179,62	15,74	8,76
26	134,93	12,00	8,89
27	21,42	2,54	11,86
28	56,91	3,40	5,98
29	24,01	2,02	8,40
30	7,25	0,75	10,35

Lampiran 6 Hasil analisa data pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

No.	Daya Angin (Watt)	Daya Output (Watt)	TSR	Efisiensi Sistem (%)
1	15,90	0	0,47	0,00
2	19,14	0	0,50	0,00
3	16,93	0	0,48	0,00
4	20,31	0	0,51	0,00
5	26,89	0	0,55	0,00
6	34,76	0	0,59	0,00
7	24,11	0	0,53	0,00
8	38,29	0,25	0,60	0,65
9	62,05	0,655	0,67	1,06
10	44,02	0,25	0,62	0,57
11	62,05	0,65	0,67	1,05
12	38,29	0,25	0,61	0,65
13	21,53	0	0,54	0,00
14	57,15	0,65	0,66	1,14
15	54,81	0,65	0,66	1,19
16	33,08	0	0,58	0,00
17	44,02	0,25	0,61	0,57
18	34,76	0	0,60	0,00
19	50,30	0,65	0,64	1,29
20	34,76	0	0,59	0,00
21	54,81	0,65	0,66	1,19
22	62,05	0,655	0,67	1,06
23	20,31	0	0,51	0,00
24	97,40	1,206	0,70	1,24
25	78,40	1,206	0,70	1,54
26	69,91	0,792	0,69	1,13
27	64,60	0,792	0,67	1,23
28	115,39	1,62	0,72	1,40
29	42,05	0,25	0,61	0,59
30	24,11	0	0,54	0,00
31	29,88	0	0,58	0,00
32	20,31	0	0,51	0,00
33	26,89	0	0,55	0,00
34	38,29	0,25	0,61	0,65
35	48,15	0,65	0,64	1,35
36	54,81	0,65	0,66	1,19
37	33,08	0	0,58	0,00

No.	Daya Angin (Watt)	Daya Output (Watt)	TSR	Efisiensi Sistem (%)
38	29,88	0	0,57	0,00
39	44,02	0,25	0,62	0,57
40	18,02	0	0,49	0,00
41	44,02	0,25	0,62	0,57
42	42,05	0,25	0,60	0,59
43	75,50	0,792	0,69	1,05
44	107,95	1,206	0,71	1,12
45	29,88	0	0,58	0,00
46	40,14	0,25	0,61	0,62
47	78,40	0,938	0,70	1,20
48	104,35	1,206	0,71	1,16



Lampiran 7 Hasil analisa data pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid

No.	PLTS	PLTB	Daya Hibrid (Watt)	Daya Input Baterai (Watt)	Daya Lampu DC (Watt)	Efisiensi Sistem (%)
	Daya Input (Watt)	Daya Angin (Watt)				
1	330,05	20,31	23,81	10,37	9,56	2,96
2	323,44	15,90	23,81	10,37	9,32	3,06
3	328,65	13,95	23,81	10,37	9,32	3,03
4	330,05	20,31	23,81	10,37	9,68	2,96
5	343,53	38,29	24,32	10,37	9,68	2,72
6	345,63	62,05	21,29	11,26	9,56	2,76
7	347,34	44,02	19,74	10,88	9,44	2,78
8	347,94	62,05	23,58	11,18	10,13	2,73
9	340,31	36,49	28,56	11,01	10,37	2,92
10	346,26	11,34	25,80	10,79	11,44	3,02
11	343,88	57,15	29,12	13,23	11,93	3,30
12	336,39	54,81	30,65	13,33	11,69	3,41
13	346,26	50,30	30,69	13,60	11,69	3,43
14	324,94	20,31	31,10	11,83	9,76	3,43
15	329,35	54,81	30,41	13,74	10,25	3,58
16	331,45	78,40	31,37	14,96	9,88	3,65
17	339,15	44,02	24,37	11,22	10,00	2,93
18	332,85	24,11	24,37	10,69	10,25	3,00
19	323,05	59,57	24,45	11,05	9,44	2,89
20	322,14	20,31	23,68	10,40	9,44	3,04
21	317,80	18,02	17,29	9,86	9,56	2,93
22	306,25	28,36	17,54	9,86	9,68	2,95
23	134,79	72,67	12,35	7,18	9,80	3,46
24	133,00	40,14	11,97	6,68	9,56	3,86
25	121,00	18,02	10,71	5,54	9,32	3,99
26	113,82	20,31	9,95	5,42	9,32	4,04
27	73,47	18,02	6,43	2,65	9,80	2,89
28	4,90	29,88	0,00	0,13	9,68	0,36
29	0,00	33,08	0,00	0,12	9,56	0,37
30	0,00	22,80	0,00	0,12	9,20	0,54
31	0,00	38,29	0,25	0,25	9,56	0,65
32	0,00	18,02	0,00	0,12	9,32	0,68
33	0,00	15,90	0,00	0,12	9,68	0,77
34	0,00	33,08	0,00	0,12	9,68	0,37
35	0,00	104,35	1,13	0,88	9,56	0,85
36	0,00	42,05	0,25	0,25	9,32	0,59

No.	PLTS	PLTB	Daya Hibrid (Watt)	Daya Input Baterai (Watt)	Daya Lampu DC (Watt)	Efisiensi Sistem (%)
	Daya Input (Watt)	Daya Angin (Watt)				
37	0,00	52,52	0,38	0,25	9,32	0,48
38	0,00	18,02	0,00	0,12	9,44	0,68
39	0,00	111,63	1,13	0,88	9,56	0,78
40	0,00	16,93	0,00	0,12	9,68	0,72
41	0,00	38,29	0,38	0,25	9,12	0,65
42	0,00	84,43	0,88	0,76	9,24	0,90
43	0,00	100,83	0,88	0,76	9,36	0,75
44	0,00	62,05	0,63	0,50	9,60	0,81
45	0,00	21,53	0,00	0,12	9,72	0,57





Lampiran 8 Foto Kegiatan



Proses pembuatan rangka PLTH



Proses pengecatan dan pendempulan kerangka PLTH



Proses perakitan rangkaian listrik





Proses pengambilan data