

# **TUGAS AKHIR**

## **PENGUJIAN PERFORMA KERJA PLTS DAN PLTB MENGGUNAKAN PARAMETER SUHU DAN KECEPATAN ANGIN**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat-Syarat  
Memproleh Gelar Sarjana Teknik (ST)*

**Disusun Oleh:**

**MUHAMMAD ARIADI**  
**NPM : 1407220068**



# **UMSU**

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2020**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Muhammad Ariadi  
NPM : 1407220068  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul skripsi : Pengujian Performa Kerja Plts dan Pltb Menggunakan Parameter Suhu dan Kecepatan Angin

Telah berhasil dipertahankan di hadapan tim penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar sarjana teknik pada program studi teknik elektro, fakultas teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 25 september 2020

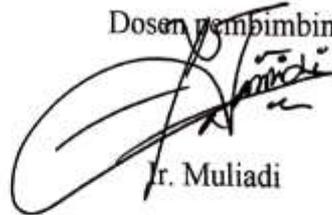
Mengetahui dan menyetujui

Dosen pembimbing I



Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T

Dosen pembimbing II



Ir. Muliadi

Dosen penguji I



Elvy Sahnur Nst, S.T., M.pd

Dosen penguji II



Solly Aryza, S.T., M. Eng

Program Studi Teknik Elektro

Ketua



Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Muhammad Ariadi  
Tempat /Tanggal Lahir: Asmil Rindam Japakeh / 17 Juni 1996  
NPM : 1407220068  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

### **“PENGUJIAN PERFORMA KERJA PLTS DAN PLTB MENGGUNAKAN PARAMETER SUHU DAN KECEPATAN ANGIN”**

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil/Mesin/Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 25 september 2019



Saya yang menyatakan,

MUHAMMAD ARIADI

## ABSTRAK

Tujuan utama tugas akhir ini adalah untuk mengetahui pengaruh intensitas matahari, suhu permukaan, dan sudut pengarah terhadap daya panel surya. Pengaruh intensitas matahari didapat dengan cara perubahan waktu sehingga intensitasnya bervariasi dengan sudut tetap  $90^\circ$  dan suhu permukaan relatif sama, suhu permukaan didapatkan dengan cara memvariasi suhu dengan sudut pengarah tetap  $90^\circ$  dan intensitas cenderung sama, sudut pengarah didapat dengan cara memvariasi sudut pengarah dengan intensitas dan suhunya relatif sama. Pengaruh kinerja panel surya yaitu semakin besar intensitas matahari maka arusnya semakin besar dan tegangannya cenderung tetap. Suhu permukaan mempengaruhi performa panel surya yaitu semakin besar temperaturnya maka tegangannya semakin kecil dan arusnya cenderung tetap. Sudut pengarah mempengaruhi performa panel surya. Sedangkan pembangkit Listrik Tenaga Angin sebagai salah satu penghasil energi listrik yang ramah lingkungan dan bebas polusi merupakan salah satu penghasil energi listrik terbarukan. Namun, perubahan beban dan perubahan kecepatan angin membuat daya yang dihasilkan kurang maksimal. Untuk menjaga agar daya yang mampu dihasilkan tetap tinggi maka perlu optimasi terhadap sistem tersebut. Salah satu caranya adalah dengan menggunakan MPPT (*Maximum Power Point Tracker*). Dalam Tugas Akhir ini dilakukan studi tentang turbin angin sistem mandiri (*stand-alone*) serta dibahas mengenai pemodelan terhadap pelacakan titik daya maksimum dengan menggunakan MPPT (*Maximum Power Point Tracker*) dengan metode *gradient approximation*. Metode tersebut bekerja dengan mengukur tegangan dan arus pada beban, kemudian merubah besar *duty cycle* pada konverter. Pada percobaan ini maka didapatlah hasil tugas akhir yang ditunjukkan dengan tegangan rata-rata yang dihasilkan oleh PLTS sebesar 19.1 volt sedangkan tegangan rata-rata yang dihasilkan PLTA adalah sebesar 4.2 volt. arus rata-rata yang dihasilkan oleh PLTS adalah sebesar 1.82 ampere, sedangkan arus yang dihasilkan oleh PLTA adalah sebesar 2.4 ampere. Dari percobaan ini dapat dilihat bahwa pembangkit listrik tenaga angin cenderung menghasilkan arus dan tegangan yang lebih besar ketimbang pembangkit listrik tenaga surya.

**Kata Kunci : PLTS, PLTA, Panel Surya, Suhu, Kincir Angin**

## **ABSTRACT**

*The main objective of this final project is to determine the effect of the sun's intensity, surface temperature, and angle of direction on the power of the solar panels. The effect of the sun's intensity is obtained by changing the time so that the intensity varies with a fixed angle of 90 ° and the surface temperature is relatively the same, the surface temperature is obtained by varying the temperature with a fixed driving angle of 90 ° and the intensity tends to be the same, the steering angle is obtained by varying the steering angle with the intensity and the temperature is relatively the same. The effect of solar panel performance is that the greater the intensity of the sun, the greater the current and the voltage tends to be constant. Surface temperature affects the performance of solar panels, namely the higher the temperature, the smaller the voltage and the current tends to be constant. The orientation angle affects the performance of the solar panel. Meanwhile, the wind power plant as one of the producers of electricity that is environmentally friendly and pollution-free is one of the producers of renewable electricity. However, changes in load and changes in wind speed make the resulting power less than optimal. To keep the power that can be generated high, it is necessary to optimize the system. One way is to use MPPT (Maximum Power Point Tracker). In this final project, a study of stand-alone wind turbines was conducted and discussed the modeling of maximum power point tracking using MPPT (Maximum Power Point Tracker) with the gradient approximation method. This method works by measuring the voltage and current at the load, then changing the duty cycle of the converter. In this experiment, the results of the final project are obtained which is indicated by the average voltage produced by PLTS of 19.1 volts while the average voltage produced by PLTA is 4.2 volts. . The average current generated by PLTS is 1.82 amperes, while the current generated by PLTA is 2.4 amperes. From this experiment, it can be seen that wind power plants tend to produce higher currents and voltages than solar power plants.*

**Keywords: PLTS, PLTA, Solar Panel, Temperature, Windmill**

## KATA PENGANTAR



*Assalamu 'alaikum wr.wb*

Puji syukur kehadiran ALLAH SWT atas rahmat dan karunianya yang telah menjadikan kita sebagai manusia yang beriman dan insya ALLAH berguna bagi semesta alam. Shalawat berangkaikan salam kita panjatkan kepada junjungan kita Nabi besar Muhammad.SAW yang mana beliau adalah suri tauladan bagi kita semua dan telah membawa kita dari zaman kebodohan menuju zaman yang penuh dengan ilmu pengetahuan.

Tulisan ini dibuat sebagai tugas akhir untuk memenuhi syarat dalam meraih gelar kesarjanaan pada Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Adapun judul tugas akhir ini adalah “PENGUJIAN PERFORMA KERJA PLTS DAN PLTB MENGGUNAKAN PARAMETER SUHU DAN KECEPATAN ANGIN”.

Selesainya penulisan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Yang tersayang Ayahanda Pariono dan Ibunda Harmah Hidayah Azizah serta adik tercinta wilda raihany, meiliza anna tasya, yang dengan tulus memberikan semangat, dorongan dan bimbingan dengan ketulusan hati

tanpa mengenal kata lelah sehingga penulis bisa seperti ini menyelesaikan tugas akhir ini.

2. Bapak Munawar Alfansuri Siregar, ST, MT. Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
3. Bapak Faisal Irsan Pasaribu , ST, MT. Selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara sekaligus dosen pembimbing I dalam penyusunan tugas akhir ini.
4. Bapak Partaonan Harahap ST, MT. Selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro.
5. Bapak Ir. Muliadi Selaku Dosen Pembimbing II dalam penyusunan tugas akhir ini.
6. Ibu Elvy Sahnur Nst, S.T., M.Pd selaku dosen penguji I dalam penyusunan tugas akhir ini.
7. Bapak Solly Ariza ST. MT., selaku dosen penguji II dalam penyusunan tugas akhir ini
8. Bapak dan ibu dosen di Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
9. Karyawan biro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
10. Orang yang spesial buat saya NIA DEISYA yang telah memberikan semangat serta motivasi kepada penulis agar dapat menyelesaikan tulisan ini.
11. Agung sasongko, S.T., Dodi Prasetya, S.T., Heri Pradana, S.T., M.T., Joko sugianto, S.T. M.T., suradinata, maulana, Supratomo S.T., anang. Teman-

teman seangkatan dan seperjuangan Fakultas Teknik, khususnya Program Studi Teknik Elektro angkatan 2014 yang selalu memberi dukungan dan motivasi kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini masih jauh dari kata sempurna, hal ini disebabkan keterbatasan kemampuan penulis, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik & saran yang membangun dari segenap pihak.

Akhir kata penulis mengharapkan semoga tulisan ini dapat menambah dan memperkaya lembar khazanah pengetahuan bagi para pembaca sekalian dan khususnya bagi penulis sendiri. Sebelum dan sesudahnya penulis mengucapkan terima kasih.

*Wassalamu'alaikum wr.wb*

Medan, 25 September 2020

Penulis

MUHAMMAD ARIADI

1407220068

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI .....	iii
ABSTRAK .....	iv
<i>ABSTRACT</i> .....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL .....	xiii
<b>BAB 1 PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	4
1.2 Ruang Lingkup .....	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian .....	5
1.5 Metodologi Penulisan .....	5
1.6 Sistematika Penulisan .....	6
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>8</b>
2.1 Tinjauan Relevan.....	8
2.2 Landasan Teori .....	8
2.2.1 sejarah sel surya.....	9
2.2.2 sel surya .....	10
2.2.3 <i>Kristalis</i> Sel Surya.....	10
2.3 Panel surya.....	11
2.3.1 cara kerja panel surya .....	14
2.3.2 faktor pengoperasian sel surya .....	14
2.3.3 posisi modal surya terhadap gerakan arah matahari.....	18
2.3.4 struktur sel surya.....	19
2.3.5 energi listrik.....	21

2.3.6 arus dan tegangan .....	21
2.3.7 daya input .....	22
2.3.8 daya input .....	22
2.3.9 fill factor .....	23
2.3.10 efisiensi sel surya.....	23
2.4 Macam – macam bahan pembuatan sel surya .....	23
2.5 Komponen – komponen pembangkit listrik tenaga surya .....	26
2.5.1 sensor .....	26
2.5.2 arduino uno .....	27
2.5.3 driver motor .....	28
2.5.4 actuator .....	28
2.6 Energi angin.....	29
2.6.1 Energi kinetic angin .....	30
2.6.2 Turbin angin.....	32
2.6.3 Prinsip kerja dan konstruksi turbin angin .....	33
2.7 Jenis Turbin Angin .....	35
2.7.1 Turbin Angin Sumbu Horizontal.....	35
2.7.2 Turbin Angin Sumbu Vertikal.....	36
2.7.3 efisiensi rotor .....	37
2.7.4 diameter rotor .....	38
2.7.5 tip speed ratio .....	38
2.8 Modifikasi kincir angin .....	39
2.9 Kelebihan dan Kekurangan Turbin Angin Sebagai PLTB .....	42
2.9.1 Generator Arus Searah (DC) .....	46

2.9.2 Karakteristik Generator DC Penguatan dan efisiensi generator	46
.....	46
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>48</b>
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	48
3.2 Peralatan dan Bahan .....	48
3.2.1 Peralatan .....	48
3.2.2 Bahan .....	50
3.3 Metode Penelitian .....	55
3.3.1 Pengambilan Data .....	55
3.4 Diagram Penelitian.....	56
3.4.1 Urutan Penelitian.....	56
3.4.2 Diagram Blok Pengukuran.....	56
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>58</b>
4.1 Data Hasil pengujian arus dan tegangan yang dihasilkan oleh plts	
.....	58
4.2 Data hasil pengujian arus dan tegangan yang dihasilkan oleh	
pembangkit listrik tenaga bayu .....	59
4.3 Hasil perbandingan tegangan pada pembangkit listrik tenaga bayu	
dan pembangkit listrik tenaga surya .....	61
4.4 Hasil perbandingan arus pada pembangkit listrik tenaga bayu	
dan pembangkit listrik tenaga surya .....	62
4.5 menentukan tegangan dan arus rata – rata yang dihasilkan oleh	
pembangkit listrik tenaga surya .....	

<b>BAB 5</b>	<b>PENUTUP .....</b>	<b>65</b>
	5.1 Kesimpulan .....	65
	5.2 Saran.....	65

**DAFTAR PUSTAKA**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses Pengubahan Energi Matahari menjadi Energi Listrik pada Sel Surya.....	11
Gambar 2.2	Medan listrik di daerah pengosongan berarah dari kanan ke Kiri .....	12
Gambar 2.3	Arah gerak difusi elektron-hole: difusi dari pembawa muatan mayoritas dan drift dari pembawa muatan minoritas .....	12
Gambar 2.4	Modul Panel Surya.....	13
Gambar 2.5	Karakteristik penurunan <i>voltage</i> terhadap kenaikan temperatur	14
Gambar 2.6	Thermometer .....	16
Gambar 2.7	Lux meter .....	17
Gambar 2.8	Struktur sel surya.....	19
Gambar 2.9	Solar sel jenis poly-crystalline .....	24
Gambar 2.10	Solar sel jenis mono-crystalline .....	25
Gambar 2.11	Solar Sel Jenis Gallium Arsenide .....	25
Gambar 2.12	Solar Sel Jenis Copper Indium Diselenide.....	26
Gambar 2.13	LDR (Light Dependent Resistor).....	26
Gambar 2.14	Arduino Uno.....	27
Gambar 2.15	Drive Motor.....	28
Gambar 2.16	Actuator.....	29
Gambar 2.17	Teori Momentum Bangun Rotor Berputar .....	30
Gambar 2.18	Struktur Turbin .....	34
Gambar 2.19	Prinsip Kerja PLTB .....	35
Gambar 2.20	Turbin Angin Sumbu Horizontal .....	35

Gambar 2.21	Turbin Angin Sumbu Vertikal .....	36
Gambar 2.22	Efisiensi Rotor Dan Soliditas Rotor .....	37
Gambar 2.23	Efisiensi Rotor Untuk Berbagai Tipe Turbin Angin .....	38
Gambar 2.24	Variasi tip Speed Ratio Dan Koefisien daya Turbin Angin .....	39
Gambar 2.25	Konfigurasi Tanpa Overlap .....	40
Gambar 2.26	Konfigurasi Dengan Overlap.....	40
Gambar 2.27	Konfigurasi Dengan Bucket Didefleksikan.....	41
Gambar 2.28	Rotor Savonius Multi Bucket .....	41
Gambar 2.29	Rotor Savonius Rotor Helix .....	42
Gambar 2.30	Karakteristik Berbeban Generator Kompon Secara Teoritis....	47
Gambar 2.31	Diagram Aliran Daya Generator DC .....	47
Gambar 3.1	Panel Surya Merek Surya Jenis Polycrystalline .....	50
Gambar 3.2	Turbin Angin .....	51
Gambar 3.3	Motor Dc .....	52
Gambar 3.4	Control Actuator .....	52
Gambar 3.5	Maximum Power Point Tracker .....	53
Gambar 3.6	Solar Charger Controller .....	53
Gambar 3.7	Inverter .....	54
Gambar 3.8	MCB DC.....	54
Gambar 3.9	Baterai.....	54
Gambar 3.10	Kabel Penghubung.....	55
Gambar 3.11	Diagram Block Pengukuran PLTS Dan PLTB.....	56
Gambar 3.12	Diagram Alur.....	57
Gambar 4.1	Grafik Hasil Pengujian Arus Dan Tegangan Panel Surya.....	59

Gambar 4.2	Grafik Pengujian Arus Dan Tegangan Pada PLTB .....	60
Gambar 4.3	Grafik Perbandingan Tegangan Pada PLTS Dan PLTB .....	61
Gambar 4.4	Grafik Perbandingan Arus Pada PLTS Dan PLTB .....	62

#### **DAFTAR TABEL**

Tabel 4.1	Data Hasil Pengujian Arus Dan Tegangan Pada Panel Surya .....	58
Table 4.2	Hasil Pengujian Arus Dan Tegangan Pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu.....	60
Table 4.3	Hasil Perbandingan Tegangan Pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya.....	61
Tabel 4.4	Hasil Perbandingan Arus Pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya .....	62



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia tergolong negara yang kaya dengan sumber energi MATAHARI dan BAYU. Di samping itu, karena letaknya di khatulistiwa, matahari bersinar di Indonesia per tahun berkisar 2.000 jam. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) ini sejalan dengan Keputusan Presiden No. 5/2006 yang mendukung pemanfaatan teknologi (PLTS) dan (PLTB) sebagai sumber energi alternatif dalam pemenuhan kebutuhan energi listrik dalam negeri. Sistem (PLTS) dan (PLTB) yang diterapkan adalah sistem pembangkit listrik terhubung dengan jaringan agar dapat menjamin pasokan listrik yang berkualitas karena lebih ramah lingkungan. Dengan sistem pengaturan yang baik (PLTS) dan (PLTB) ini dapat digunakan sebagai pembangkit listrik handal.. Dengan menempatkan suatu sistem pengaturan yang baik ketidakstabilan daya ini bisa diatasi. Untuk kondisi (PLTS) dan (PLTB) Indonesia semenjak tahun 2005, Pemerintah optimis terhadap program-program energi yang dirancangnya melalui *BluePrint* Pengelolaan Energi Nasional. Kebijakan pemerintah tersebut sangat baik, namun beberapa langkah lain masih harus dilaksanakan. Adanya sinergi antara bidang-bidang yang terkait mutlak diperlukan. Sehingga diharapkan *Blueprint* tersebut dapat tercapai dengan baik dengan hasil memuaskan. Pemerintah pun telah membuat *Roadmap* Energi Surya untuk mendeskripsikan target-target spesifik dalam mewujudkan keinginan negara ini.

Sistem ini dapat digabungkan dengan jaringan listrik PLN sehingga kontinuitas pasokan listrik tetap terjamin meskipun terjadi pemadaman listrik, dan kelebihan energi yang dihasilkan dapat disimpan di dalam baterai atau dijual ke PLN.

## **“PERFORMA KERJA PLTS DAN PLTB MENGGUNAKAN PARAMETER SUHU SERTA KECEPATAN ANGIN”**

### **1.2 Ruang Lingkup**

1. Bagaimana mengetahui pengaruh intensitas cahaya dan temperatur suhu pada tegangan, arus yang dihasilkan (PLTS)
2. Bagaimana mengetahui pengaruh kecepatan putaran kincir angin pada tegangan, arus yang dihasilkan (PLTB)
3. Bagaimana perbandingan Beban (PLTS) dan (PLTB)

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah di atas maka tujuan skripsi ini adalah :

1. Untuk mengetahui pengaruh intensitas cahaya dan temperatur suhu pada tegangan, arus yang dihasilkan (PLTS)
2. Untuk mengetahui pengaruh kecepatan putaran kincir angin pada tegangan, arus yang dihasilkan (PLTB)
3. Untuk mengetahui hasil perbandingan Beban (PLTS) dan (PLTB)

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat yang di ambil dalam penulisan skripsi ini adalah :

1. Manfaat bagi mahasiswa

Bagi penemuan penelitian ini dapat dijadikan referensi bagi mahasiswa untuk menambah pengetahuan yang berkaitan dengan PLTS dan PLTB Hasil penelitian ini juga dapat dijadikan landasan empiris bagi mahasiswa teknik elektro selanjutnya.

## 2. Manfaat bagi masyarakat

Sebagai titik acuan bahwa alat yang ditemukan ini bias digunakan bagi masyarakat luas untuk mengetahui perkembangan teknologi yang ada di Indonesia.

### 1.5 Metodologi Penulisan

Metode penelitian terdiri atas :

#### 1. Studi Literatur

Studi pustaka ini dilakukan untuk menambah pengetahuan penulis dan untuk mencari referensi bahan dengan membaca literatur maupun bahan-bahan teori baik berupa buku, data dari internet (referensi yang menyangkut hemat energi).

#### 2. Analisa

Analisa untuk memperoleh data dari beberapa bagian perangkat keras sehingga dapat diketahui apakah sudah bekerja sesuai dengan yang diinginkan. Selain itu pengujian juga digunakan untuk mendapatkan hasil dan kemampuan kerja dari *system*.

### 1.6 Sistematika Penulisan

Skripsi tersusun atas beberapa BAB pembahasan. Sistematika tulisan tersebut adalah sebagai berikut :

**BAB I : PENDAHULUAN**

Pada BAB ini menguraikan secara singkat latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah dan metodologi penelitian.

**BAB II : TINJAUAN PUSTAKA**

Pada BAB ini berisi pembahasan secara garis besar tentang PLTS dan PLTB

**BAB III : METODOLOGI**

Pada BAB ini akan menerangkan tentang lokasi penelitian, diagram alir/*flowchat*, diagram *ladder* serta jadwal kegiatan dan hal hal lain yang berhubungan dengan proses perancangan.

**BAB IV : ANALISIS DAN PENGUJIAN**

Pada BAB ini berisi hasil pemrograman dan pengujian perangkat keras (*hardware*)

**BAB V : PENUTUP**

Pada BAB ini berisi tentang kesimpulan dan saran penulisan skripsi.

**DAFTAR PUSTAKA**

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjauan Relevan.**

Beberapa penelitian yang telah melakukan penelitian serupa adalah Suhardi Istiawan (2019) Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara melakukan penelitian pengaruh intensitas dan temperatur permukaan panel surya pada berbagai jenis sel surya.

Septian Dhimas Prasetyo (2018) Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara melakukan penelitian rancang bangun pembangkit hybrid tenaga angin dan sel surya untuk penerangan jalan raya.

Faizri Rahmadi Isman, Annisa Rossy Rahmatika, Budi Cahyo Suryo P., Arie Rahmadi, Ganang Ery Putranto, R. Rizal Isnanto (2015) Program Studi Sistem Komputer Fakultas Teknik Universitas Diponegoro melakukan penelitian potensi pengembangan pembangkit listrik hibrid di PLTB sama, bantul, diy.

#### **2.2 Landasan Teori**

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) adalah pembangkit listrik yang mengubah energi surya/energi matahari menjadi energi listrik. Cahaya matahari merupakan salah satu bentuk energi dari sumber daya alam. Sumber daya alam matahari ini sudah banyak digunakan untuk memasok daya listrik di satelit komunikasi melalui sel surya. Sel surya ini dapat menghasilkan energi listrik dalam jumlah yang tidak terbatas langsung diambil dari matahari, tanpa ada bagian yang berputar dan tidak memerlukan bahan bakar. Sehingga sistem sel surya sering dikatakan bersih dan ramah lingkungan. (PLTS) terdiri dari komponen-komponen sebagai berikut:

- a. Modul Surya, yang berfungsi untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik arus searah.
- b. Baterai, yang berfungsi untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh modul surya.
- c. *Solar Charge Controller*, yang berfungsi untuk mengatur pengisian baterai.
- d. Inverter, yang berfungsi untuk mengubah listrik arus searah menjadi arus bolak-balik (Suhardi, 2019).

### 2.2.1 Sejarah Sel surya

Aliran listrik matahari (surya) pertamakali ditemukan oleh *Aleander Edmond Beequerel* yang merupakan seorang ahli fisika yang berasal dari Jerman pada abad ke-19. Ia menangkap peristiwa dimana secara kebetulan berkas sinar matahari mengenai larutan elektron kimia yang mengakibatkan peningkatan muatan elektron. Setelah satu abad berlalu yakni pada awal abad ke-20, *Albert Einstein* mulai mengembangkan penemuan tersebut. Einstein menamai penemuan *Alexander Admond Beequerel* dengan nama "*Photoelectric effect*" yang menjadi dasar pengertian "*Photovoltaic effect*". Einstein melakukan pengamatan pada sebuah lempeng metal yang melepaskan foton partikel energi cahaya ketika energi matahari mengenainya. Foton-foton tersebut secara terus-menerus mendesak atom metal, sehingga terjadi partikel energi foton bersifat gelombang energi cahaya (Suhardi, 2019).

Dari hasil pengamatan *Einstein* tersebut, maka sekitar tahun 1930, ditemukan konsep baru *Quantum mechanics* yang digunakan untuk menciptakan teknologi *solid state*. Teknologi tersebut dimanfaatkan oleh *Bell*

*Telephone Research Laboratories* untuk membuat sel surya padat pertama. Berkembang zaman pemanfaatan dan desain sel surya semakin berkembang. Hal ini terjadi pada tahun 1950-1960 dimana sel surya siap diaplikasikan ke pesawat ruang angkasa. Perkembangan sel surya semakin pesat pada tahun 1970-an sel surya diperkenalkan secara besar-besaran diseluruh dunia sebagai energi alternatif yang terbarukan dan ramah lingkungan (Pahlevi, 2014).

### **2.2.2 Sel Surya**

Sel surya adalah peralatan yang mengkonversi energi matahari menjadi listrik arus searah *Direct Current*. Bentuk sel surya yang paling umum didasarkan pada efek *photovoltaic* PV. Bila sel surya ditempatkan di bawah cahaya matahari maka foton-foton yang dipancarkan oleh matahari mengenai permukaan sel surya dan terus menembus sambungan p-n. Foton matahari terus menggerakkan elektron bebas dan lubang *hole* tersebut. Di daerah p-n inilah terjadi produksi listrik. Elektron dan hole selanjutnya mengalir melalui kontak-kontak elektris yang dibuat pada bagian atas dan bawah sel (Saputro & Yandri & Khwee, 2017).

### **2.2.3 Kristalis Sel Surya**

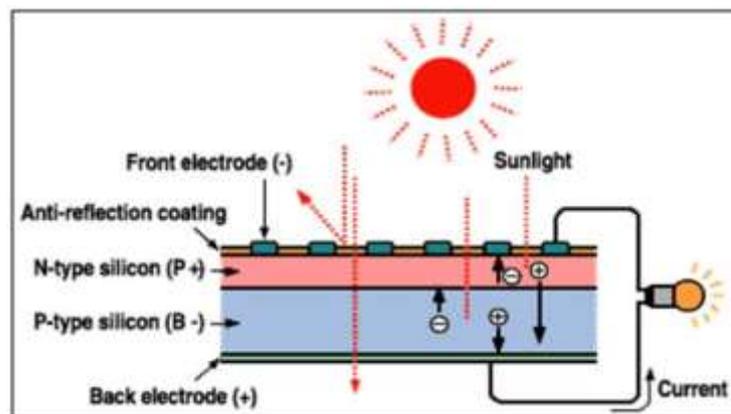
Sel-sel surya yang dapat dibuat dari berbagai macam bahan semikonduktor dengan jenis *kristal* yang berbeda-beda antara lain:

- a. Silikon (Si) – termasuk diantaranya Si *monokristalin*, Si *polikristalin*, dan Si *amorph*.
- b. Lapisan tipis polikristalin – diantaranya adalah, *copper indium* diselenida (CIS), Cadmium tellurida, dan lapisan tipis silikon.

Lapisan tipis *thin filmmonokristalin* termasuk diantaranya, bahan berefisiensi tinggi seperti gallium arsenida (GaAs) (Saputro & Yandri & Khwee, 2017).

### 2.3 Panel Surya

Panel surya terdiri dari beberapa sel surya yang di susun sedemikian rupa sehingga didapatkan output sesuai dengan yang diinginkan. Dari kumpulan sel surya ini dapat dikonversi cahaya matahari menjadi listrik arus searah. Dengan menambahkan baterai yang dihubungkan dengan panel surya, maka daya hasil konversi cahaya matahari menjadi listrik dapat disimpan sebagai cadangan energilistrik. Secara sederhana sel surya terdiri dari persambungan bahan semikonduktor bertipe P dan N *P-N junction semiconductor* yang jika terkena sinar matahari maka akan terjadi aliran elektron, aliran elektron inilah yang disebut sebagai aliran arus listrik (Yuwono, 2005). Proses perubahan energi matahari menjadi energi listrik ditunjukkan dalam Gambar 2.1 di bawah ini.

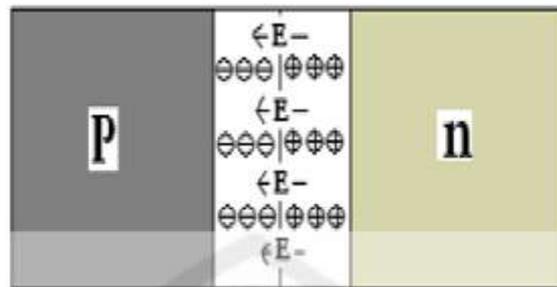


**Gambar 2.1** Proses Pengubahan Energi Matahari menjadi Energi Listrik pada Sel Surya

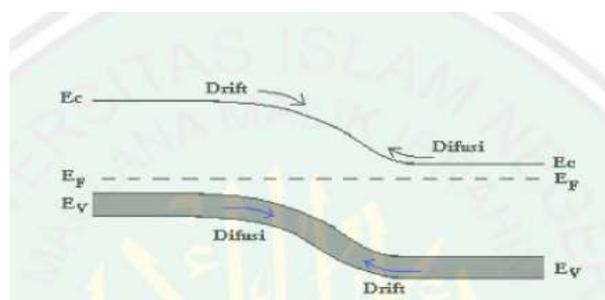
Bagian utama pengubah energi sinar matahari menjadi listrik adalah penyerapan *absorber*, meskipun demikian masing-masing lapisan juga sangat

berpengaruh terhadap efisiensi dari sel surya. Sinar matahari terdiri dari bermacam-macam jenis gelombang elektromagnetik, oleh karena itu penyerap disini diharapkan dapat menyerap sebanyak mungkin radiasi sinar yang berasal dari cahaya matahari (Yuwono, 2005).

Hole secara kontinyu meninggalkan tipe-p dan menyebabkan ion negatif akseptor tertinggal di dekat sambungan. Begitupun dengan elektron yang meninggalkan tipe-n akan menyebabkan beberapa ion positif donor tertinggal di dekat sambungan Gambar 2.2 Sebagai konsekuensinya, ruang muatan negatif terbentuk di daerah tipe-p dan ruang muatan positif terbentuk di daerah tipe-n dekat sambungan, sampai tepat pada sambungan p-n terjadi daerah tanpa muatan bebas yang disebut daerah pengosongan *depletion region* (Shodiq, 2017).



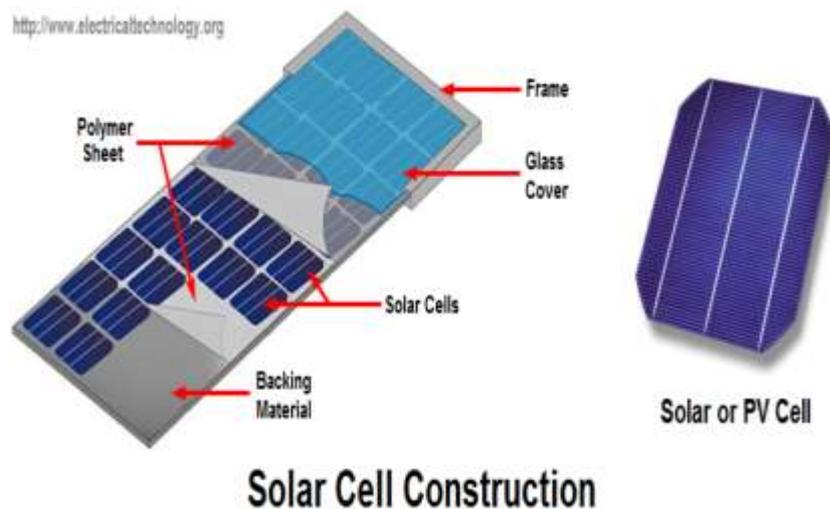
**Gambar 2.2** Medan listrik di daerah pengosongan berarah dari kanan ke kiri



**Gambar 2.3** Arah gerak difusi elektron-hole: difusi dari pembawa muatan mayoritas dan drift dari pembawa muatan minoritas

Medan listrik internal mempunyai arah yang berlawanan dengan arus difusi tiap pembawa muatan. Gambar: 2.3 memperhatikan bahwa difusi hole bergerak dari kiri ke kanan dan arus drift hole bergerak dari kanan ke kiri. Sebaliknya, arah difusi elektron dari kanan ke kiri dan arah drift hole bergerak dari kiri ke kanan. Ketika radiasi sinar matahari mengenai sel surya, maka akan terjadi serapan foton sehingga terjadi pasangan elektron-hole. Oleh karena pengaruh medan listrik internal di atas, maka hole akan bergerak menuju p dan elektron akan bergerak menuju n, sehingga keduanya menghasilkan arus foto. Pada depletion layer dapat pula terbentuk pasangan elektron-hole dan akan bergerak menuju ke arah mayoritas sehingga menghasilkan arus generasi (Shodiq, 2017).

Panel surya merupakan sel *Fotovoltaik* yang merubah energi dari cahaya matahari langsung menjadi listrik oleh efek *fotovoltaik*. Fungsi sel surya adalah menangkap energi yang terdapat pada sinar matahari (Yuwono, 2005).



**Gambar 2.4** Modul Panel Surya

### 2.3.1 Cara Kerja Panel Surya

Cara kerja panel surya sebagai berikut, Panas dari cahaya matahari ditangkap oleh sel surya, kemudian dirubah menjadi energi listrik. Energi yang dihasilkan tersebut kemudian dimasukkan kedalam rangkaian tambahan untuk mengelolanya supaya dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan sehari-hari. Cara umum panel surya dibagi menjadi 3, yaitu

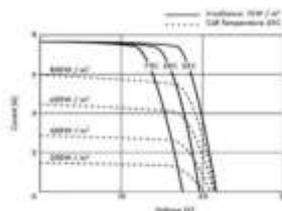
1. Solar *thermal*, memiliki fungsi sebagai panel surya.
2. Panel, berfungsi untuk memproduksi aliran elektron yang berfungsi sebagai efek *fotovoltaik*, atau untuk memproduksi aliran elektron sinar matahari oleh dua lempeng diode.
3. Panel *hybrid* yang memiliki peran untuk menggabungkan fungsi kedua panel tersebut (Martawi, 2018).

### 2.3.2 Faktor Pengoprasian Sel Surya

Pada pengoprasian sel surya pastinya terdapat komponen yang menjadi faktor x agar sel surya dapat beroperasi secaramaksimal, faktor x tersebut adalah:

- a. Ambien Air Temperatur

Sel surya dapat beroperasi secara maksimal jika temperatur sel tetap normal pada 25 derajat celsius. Kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal pada sel surya akan melemahkan tegangan Voc (Pahlevi, 2014).



**Gamabar 2.5** Karakteristik penurunan *voltage* terhadap kenaikan temperatur

Gambar 2.5 menunjukkan setiap kenaikan temperatur sel surya 10 derajat celcius dari 25 derajat celcius akan berkurang sekitar 0,4% pada total tenaga yang dihasilkan atau akan melemah dua kali lipat untuk kenaikan temperatur sel per 10 derajat celcius(Pahlevi, 2014).

Faktor menurunnya akibat perubahan temperatur dapat dihitung sebagai berikut:  $f_{temp} = [1 + a_p(T_c - T_{cSTC})]$ . Dimana koefisien temperatur daya (%/°C),  $T_c$  adalah temperatur sel surya pada kondisi uji baku (25°C). Koefisien temperatur menunjukkan seberapa kuat pengaruh temperatur sel surya terhadap daya listrik luaran panel surya berkurang jika temperatur sel surya meningkat. Besarnya nilai koefisien temperatur daya tergantung pada jenis sel surya. Nilai koefisien ini adalah nol apabila pengaruh temperatur terhadap daya listrik panel surya diabaikan(Heikwee, 2013).

Temperatur sel surya,  $T_c$  adalah temperatur yang diukur pada permukaan panel surya. Pada malam hari, nilai temperatur ini sama dengan temperatur lingkungan sekitarnya, namun pada siang hari saat terik matahari, nilai temperatur ini dapat mencapai 30°C atau lebih diatas temperatur lingkungan sekitarnya(Heikwee, 2013).

Untuk menghitung temperatur sel surya ini dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$T_c = T_a + I_r \left( \frac{T_{c,NOCT} - T_a,NOCT}{I_{T,NOCT}} \right) \left( 1 - \frac{nc}{T_a} \right)$$

di mana  $T_a$  adalah temperatur daerah sekitar (°C),  $T_{c,NOCT}$  adalah temperatur daerah sekitar di mana temperatur nominal sel surya di definisikan (20°C),  $I_{T,NOCT}$  adalah radiasi matahari pada temperatur nominal sel surya

didefinisikan ( $0,8 \text{ kW/m}^2$ ),  $\gamma_c$  adalah efisiensi konversi listrik panel surya (%), serta tingkat penyerapan panel surya. Tingkat penyerapan panel surya merupakan rasio antara radiasi total yang terserap oleh panel surya terhadap radiasi total yang mengenai permukaan panel surya. Pada kondisi normal, panel surya harus mampu menyerap paling sedikit 90% dari radiasi matahari yang mengenainya (Heikwee, 2013).



**Gambar 2.6** *Thermometer*

Prinsip kerja *thermometer* memanfaatkan karakteristik hubungan antara tegangan (volt) dengan temperatur, tiap temperatur memiliki tegangan tertentu pula, pada temperatur yang sama, logam A memiliki tegangan yang berbeda dengan logam B, terjadi beda tegangan yang dapat dideteksi dari input temperatur lingkungan setelah melakukan termokopel terdeteksi sebagai perbedaan tegangan (Arimukti & Nasbey & Sidopekso, 2011).

b. Radiasi Matahari

Radiasi matahari di bumi pada lokasi yang berbeda akan bervariasi dan sangat tergantung dengan keadaan spektrum matahari ke bumi.

Insolasi matahari akan banyak berpengaruh terhadap arus (I) dan sedikit terhadap tegangan (Pahlevi, 2014).

Untuk mengukur intensitas matahari dapat dilihat pada Gambar: 2.7 *Solar powermeter* dibawah ini.



**Gambar 2.7** *Lux meter*

Prinsip kerja *lux meter* untuk menangkap energi cahaya *photocell* yang ada dan mengubahnya menjadi energi listrik. Selanjutnya, energi listrik dalam bentuk arus digunakan untuk menggerakkan jarum skala. Untuk alat digital energi listrik diubah menjadi angka yang dapat dibaca pada layar monitor (Arynukti & Nasbey & Sidopekso, 2011).

c. Atmosfir Bumi

Keadaan atmosfer bumi yang berawan mendung, jenis partikel debuudara, asap, uap air udara, kabut dan polusi sangat berpengaruh untuk menentukan hasil maksimal arus listrik dari sel surya (Pahlevi, 2014).

d. Tiupan Angin

Kecepatan tiupan angin disekitar lokasi sel surya sangat membantu terhadap permukaan sel surya sehingga temperatur dapat terjaga dikisaran  $25^{\circ}\text{C}$  (Pahlevi, 2014).

e. Orientasi Panel

Orientasi dari rangkaian panel ke arah matahari secara optimal memiliki efek yang sangat besar untuk menghasilkan energi yang maksimum. Selain arah orientasi sudut, orientasi dari panel juga sangat mempengaruhi hasil energi yang maksimum. Untuk lokasi yang terletak dibelahan utara, maka panel sebaiknya diorientasikan ke selatan. Begitu juga yang letaknya dibelahan selatan, maka panel sebaiknya diorientasikan ke utara. Ketika panel diorientasikan ke barat atau ke timur sebenarnya akan tetap menghasilkan energi, namun energi yang dihasilkan tidak akan maksimal (Joko & Sunaryo, 2014).

f. Posisi letak sel surya terhadap matahari

Mempertahankan sinar matahari jauh ke sebuah permukaan modul surya secara tegak lurus akan memperoleh energi maksimum  $\pm 1000 \text{ w/m}^2$  atau  $1 \text{ kw/m}^2$  untuk mempertahankan tegak lurusnya sinar matahari terhadap panel surya dibutuhkan pengukuran posisi modul surya, karena *sun altitude* akan berubah setiap jam dalam sehari (Pahlevi, 2014).

### 2.3.3 Posisi Modul Surya Terhadap Gerakan Arah Matahari

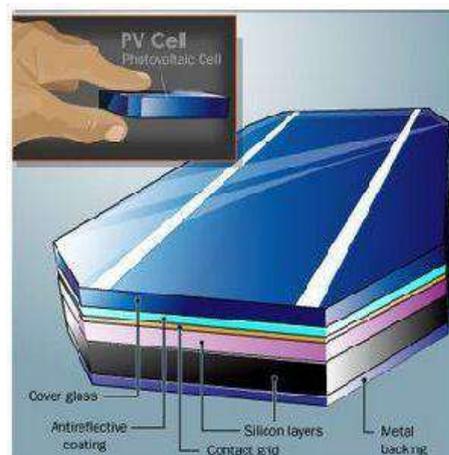
Posisi kemiringan panel surya juga dapat menentukan daya yang dihasilkan panel surya. Kemiringan panel surya dapat ditentukan dari garis lintang lokasi pemasangan panel surya (Iqtimal & Sara & Syahrizal, 2018).

**Tabel 2.1** Posisi kemiringan instalasi panel surya

Garis Lintang	Sudut Kemiringan
0 – 15°	15°
15 – 25°	25°
25 – 30°	30°
30 – 35°	40°
35 – 40°	45°
40 – 90°	65°

### 2.3.4 Struktur Sel Surya

Sesuai dengan perkembangan sains dan teknologi jenis-jenis teknologi sel surya pun berkembang dengan berbagai inovasi. Ada yang disebut sel surya generasi satu, dua, tiga dan empat, dengan struktur atau bagian-bagian penyusun sel yang berbeda pula. Struktur dari sel surya yang umum berada dipasaran saat ini yaitu sel surya berbasis material silikon yang juga secara umum mencakup struktur sel surya generasi pertama (sel surya silikon). Sel surya memiliki beberapa bagian didalam pembuatannya. Pada Gambar 2.8 ada lima tipe umum struktur sel surya (Pahlevi, 2014).

**Gambar 2.8** Struktur Sel Surya

### 1. Substrat/ *Metal backing*

Substrat adalah material yang menompang seluruh komponen sel surya. Material substrat juga harus mempunyai konduktivitas listrik yang baik karena juga berfungsi sebagai kontak terminal positif sel surya, sehingga umumnya digunakan material metal atau logam seperti aluminium atau *molybdenum*.

### 2. Material semikonduktor/ Silicon layers

Material semikonduktor merupakan bagian inti dari sel surya yang biasanya mempunyai tebal sampai beberapa ratus mikrometer untuk sel surya generasi pertama mikrometer untuk sel surya lapisan tipis. Material semikonduktor inilah yang berfungsi menyerap cahaya dari sinar matahari.

### 3. Kontak metal/ *Contact grid*

Selain substrat sebagai kontak positif, diatas sebagai material semikonduktor biasanya dilapiskan material konduktif transparan sebagai kontak negatif.

### 4. Lapisan antireflaktif/ *Antireflective coating*

Refleksi cahaya harus diminimalisir agar mengoptimalkan cahaya yang terserap oleh semikonduktor. Oleh karena itu biasanya sel surya dilapisi oleh lapisan anti-refleksi.

### 5. Enkapsulasi/ *Cover glass*

Bagian ini berfungsi sebagai enkapsulasi untuk melindungi surya dari hujan atau kotoran (Pahlevi, 2014).

### 2.3.5 Energi Listrik

Sinar matahari dapat menghasilkan energi listrik. Sebuah sel surya tidak tergantung pada besaran luas bidang silikon, dan secara konstan akan menghasilkan energi berkisar antara  $\pm 0,5$  volt maksimum 600 mV pada 2 ampere, dengan kekuatan radiasi solar matahari  $1000 \text{ W/m}^2 = \text{“1 Sun”}$  akan menghasilkan arus listrik sekitar  $30 \text{ mA/cm}^2$  per sel surya (Pahlevi, 2014).

### 2.3.6 Arus dan Tegangan

Atom ialah sebuah material yang disusun berdasarkan partikel-partikel yang sangat kecil. Atom terdiri dalam berbagai gabungan yang terdiri partikel-partikel sub-atom, susunan tersebut diantaranya adalah elektron yang disebut partikel subatom yang bermuatan negatif, proton salah satu jenis partikel bermuatan positif, dan neutron salah satu jenis partikel bermuatan netral dalam berbagai gabungan. Pada suatu rangkaian terdapat suatu resistansi atau hambatan (R) oleh karena itu rangkaian tersebut akan muncul hukum ohm. Hukum ohm mendefinisikan hubungan antara arus (I), tegangan (V), dan resistansi atau hambatan (R) (Pahlevi, 2014).

Berikut merupakan rumusan persamaan dari ketiganya :

$$I = \frac{V}{R}$$

Keterangan :

I = arus (ampere)

V = tegangan (Volt)

R = Hambatan (ohm)

### 2.3.7 Daya Input

Sebelum mengetahui berapa nilai daya yang dihasilkan harus mengetahui daya yang diterima, dimana daya tersebut adalah perkalian antara intensitas radiasi matahari yang diterima dengan luas area panel surya dengan persamaan (Asrul, Demak, Hatib. 2016)

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

Keterangan:

$P_{in}$  = Daya input akibat *irradiance*

$I_r$  = Intensitas radiasi matahari

$A$  = Luas area permukaan *photovoltaic module* ( $m^2$ )

### 2.3.8 Daya Output

Sedangkan untuk besarnya daya pada sel surya ( $P_{out}$ ) yaitu perkalian tegangan rangkaian terbuka ( $V_{oc}$ ), arus hubung singkat ( $I_{sc}$ ), dan *Fill Factor*(FF) yang dihasilkan oleh sel *Photovoltaic* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut: (Asrul, Demak, Hatib. 2016)

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF$$

Keterangan :

$P_{out}$  = Daya yang dibangkitkan oleh solar sel (watt)

$V_{oc}$  = Tegangan rangkaian terbuka pada solar sel (volt)

$I_{sc}$  = Arus hubung singkat pada solar sel (ampere)

FF = *Fill Factor*

$$P_{rerata} = \frac{P_1 + P_2 + P_n}{n}$$

Dengan:

$P_{rata}$  = Daya rata-rata (watt)

$P_1$  = Daya pada titik pengujian ke satu

$P_2$  = Daya pada titik pengujian ke dua

$P_n$  = Daya pada titik pengujian ke n (Asrul, Demak, Hatib. 2016)

### 2.3.9 Fill Faktor (FF)

Faktor pengisi merupakan nilai rasio tegangan dan arus pada keadaan daya maksimum dan tegangan *open circuit* ( $V_{oc}$ ) dan arus *short circuit* ( $I_{sc}$ ). Persamaan *fill factor* digunakan untuk mengukur bagaimana luas persegi pada karakteristik I-V suatu sel surya. Harga *fill factor* dapat merupakan fungsi  $V_{oc}$ . Secara empiris hubungan *fill factor* dengan  $V_{oc}$  adalah: (Asrul, Demak, Hatib. 2016)

$$FF = \frac{V_{oc} - \ln(V_{oc} + 0,72)}{V_{oc} + 1}$$

### 2.3.10 Efisiensi Sel Surya

Efisiensi yang terjadi pada sel surya adalah merupakan perbandingan daya yang dapat dibandingkan oleh sel surya dengan energi input yang diperoleh dari *irradince* matahari. Efisiensi yang digunakan adalah efisiensi sesaat pada pengambilan data (Asrul, Demak, Hatib. 2016)

$$\eta \frac{\text{output}}{\text{input}} \times 100\%$$

## 2.4 Macam-macam Bahan Pembuatan Sel Surya

Perkembangan sel surya sangat meningkat sebagai energi alternatif yang terbarukan. Perkembangan tersebut salah satunya berdampak pada bahan

pembuatan sel surya. Bahan yang digunakan banyak jenisnya dan memiliki efisiensi yang berbeda-beda. Dengan demikian untuk mengaplikasikan sumber energi sel surya dapat disesuaikan dengan kebutuhan dan pastinya dapat disesuaikan dengan anggaran dana. Macam-macam bahan pembuatan sel surya adalah sebagai berikut (Ernaning, 2004):

1. *Poly-crystalline*

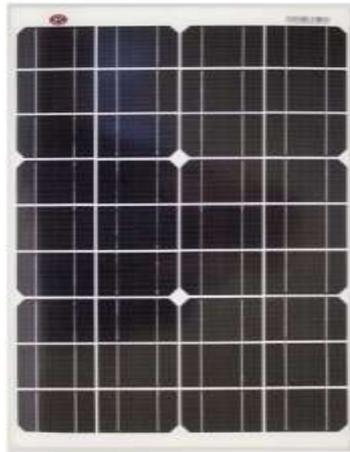
Dibuat dari peleburan silikon dalam tungku keramik, kemudian pendinginan perlahan untuk mendapatkan bahan campuran silikon yang akan timbul di atas lapisan silikon. Sel ini kurang efektif dibandingkan dengan sel mono-crystalline (efisiensi 18%), tetapi biaya lebih murah (Ernaning, 2004).



**Gambar 2.9** Soler Sel Jenis *Poly-crystalline*

2. *Mono-crystalline*

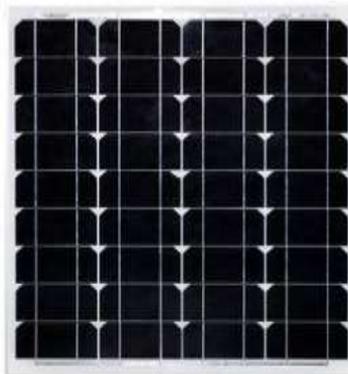
Dibuat dari silikon kristal tunggal yang didapat dari peleburan silikon dalam bentuk bujur. Mono-crystalline dapat dibuat setelah 200 mikron, dengan nilai efisiensi sekitar 24%.



**Gambar 2.10** Solar Sel Jenis *Mono-crystalline*.

3. *Gallium Arsenide*

Sel surya III-IV semikonduktor yang sangat efisiensi sekitar 25% sel surya silikon terpadu “*Thin Film*”.



**Gambar 2.11** Solar Sel Jenis *Gallium Arsenide*

a. *Amorphous Silikon*

Sebagai pengganti tinted glass yang semi transparan

b. *Thin Film Silikon*

Dibuat dari *thin-crystalline* atau *poly-crystalline* pada bahan metal yang cukup murah (*cladding system*)

c. *Cadmium Telluride*

Terbentuk dari bahan material thin film *poly-crystalline* secara deposit, semprot dan evaporasi tingkat tinggi. Nilai efisiensi 16%.

4. *Copper Indium Diselenide*

Merupakan bahan dari film tipis *poly-crystalline*. Nilai efisiensi 17.7%.



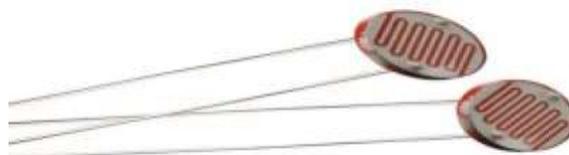
**Gambar 2.12** Solar Sel Jenis *Copper Indium Diselenide*

## 2.5 Komponen-Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Surya

### 2.5.1 SENSOR

Sensor adalah suatu peralatan yang berfungsi untuk mendeteksi gejala-gejala atau sinyal-sinyal yang berasal dari perubahan suatu energi, sensor yang digunakan adalah sensor LDR.

LDR (*Light Dependent Resistor*) adalah jenis resistor yang bisa digunakan sebagai detector cahaya atau pengukur besaran konversi cahaya. *Light Dependent Resistor* terdiri dari sebuah cakram semikonduktor yang mempunyai dua buah elektroda pada permukaannya. LDR dapat dilihat di bawah ini ( Nurharsanto & Priyatno, 2017)



**Gambar 2.13** LDR (*Light Dependent Resistor*)

### 2.5.2 Arduino Uno

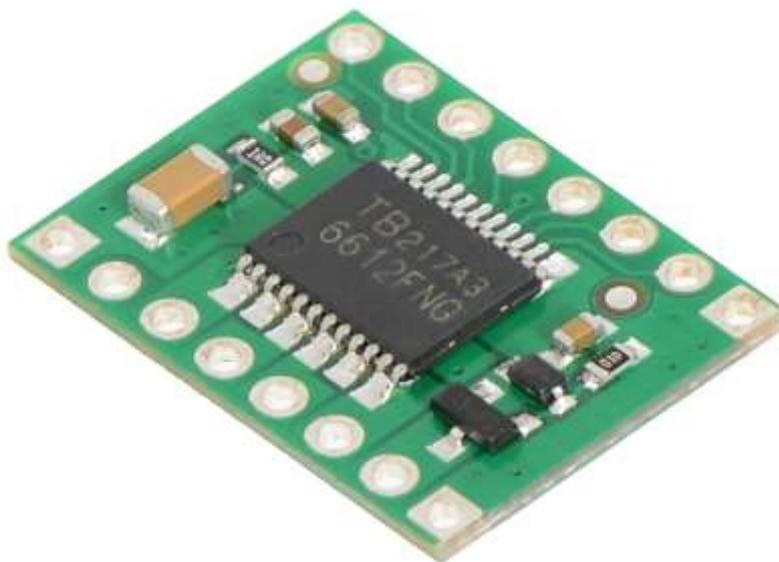
Arduino adalah pengendali mikro *single-board* yang bersifat *open source*, diturunkan dari *wiring platform*, dirancang untuk memudahkan untuk penggunaan elektronik dalam berbagai bidang. *Softwarena* memiliki bahasa program sendiri, sedangkan Arduino Uno adalah papan sirkuit berbasis mikrokontroler, IC (*integrated circuit*) ini memiliki 4 input/ output, Koneksi USB, soket adaptor, *pin header* ICSP, dan tombol reset. Hal inilah yang dibutuhkan untuk mensupport mikrokontrol secara mudah terhubung dengan kabel *power* USB atau kabel *power supply* adaptor AC ke DC atau juga *battery*, sehingga Arduino Uno dipilih sebagai rangkaian pengontrol semua sistem. Arduino Uno diperlihatkan dibawah ini ( Nurharsanto & Priyatno, 2017)



**Gambar 2.14** Arduino Uno

### 2.5.3 *Driver Motor*

*Driver Motor* merupakan komponen yang berfungsi untuk mengkomunikasikan antara kontroler dengan aktuator serta memperkuat sinyal keluaran dari kontroler sehingga dapat dibaca oleh aktuator. Dalam membaca elemen kontrol ini *Driver Motor* yang akan digunakan adalah Board TB6560 seperti terlihat pada gambar dibawah ini ( Nurharsanto & Priyatno, 2017)



**Gamabar 2.15** Driver Motor

### 2.5.4 *Actuator*

*Actuator* adalah suatu peralatan yang terdiri dari perangkat elektronik dan mekanik yang terletak pada tiang penyanggah, yang berfungsi untuk menggerakkan dan mengarahkan antena parabola agar didapatkan posisi yang mengarah tepat kesatelit yang dikehendalkan, namun pada penelitian ini *Actuator* berfungsi sebagai penggerak panel surya pada saat mencari posisi cahaya atau panas matahari, *actuator* dapat dilihat pada gambar dibawah ini ( Nurharsanto & Priyatno, 2017)

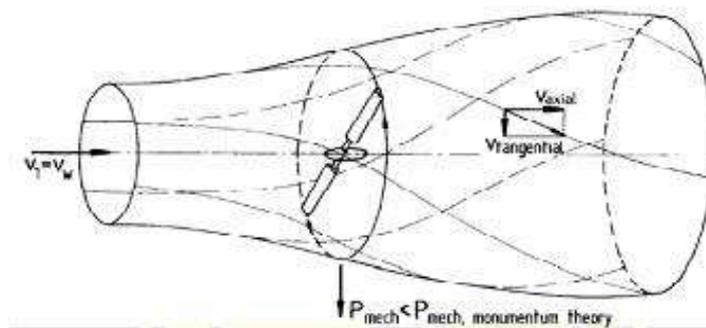


**Gambar 2.16 Actuator**

## 2.6 Energi Angin

Secara sederhana energi potensial yang terdapat pada angin dapat memutar blade-blade yang terdapat pada kincir angin, dimana blade-blade ini terhubung dengan poros dan memutar poros yang telah terhubung dengan generator dan menimbulkan arus listrik. Model sederhana dari turbin angin mengambil dasar teori dari momentum, angin dengan kecepatan tertentu menabrak rotor yang memiliki performa sayap atau propeller. Dalam model sederhana, dimana memungkinkan *newtonian mechanics* digunakan, aliran diasumsikan steady dan mendatar, udara diasumsikan *incompressible* dan *inviscid*, dan aliran *downstream* (aliran setelah melalui rotor) diasumsikan konstan disekeliling bagian *streamtube* dengan tidak ada diskontinuitas tekanan disebelah pembatasan *streamtube* (Ariyanto & Firman & Mara & Nuarsa, 2013)

Aplikasi dari momentum dan energi diperlihatkan pada gambar berikut :



**Gambar 2.17** Teori Momentum dengan mempertimbangkan Bangun Rotor Berputar.

### 2.6.1 Energi Kinetik Angin

Energi angin merupakan energi alternatif yang mempunyai prospek baik karena selalu tersedia di alam, dan merupakan sumber energi yang bersih dan terbarukan kembali. Proses pemanfaatan energi melalui dua tahapan konversi yaitu :

1. Aliran angin akan menggerakkan rotor (baling-baling) yang menyebabkan rotor berputar selaras dengan angin bertiup.
2. Putaran rotor dihubungkan dengan generator sehingga dapat dihasilkan listrik.

Dengan demikian energi angin merupakan energi kinetik atau energi yang disebabkan oleh kecepatan angin untuk dimanfaatkan memutar sudu-sudu kincir angin. Untuk memanfaatkan energi angin menjadi energi listrik maka langkah pertama yang harus dilakukan adalah menghitung energi angin dengan formula (Ramadhan & Ilmar & Diniardi & Mukti,2016)

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

Dimana :

E : Energi Kinetik (Joule)

M : Massa Udara (Kg)

v : Kecepatan Angin (m/det)

Untuk mendapatkan massa udara dimisalkan satu blok udara mempunyai penampang dengan luas  $A$  ( $m^2$ ), dan bergerak dengan kecepatan  $v$  (m/det), maka massa udara adalah yang melewati suatu tempat adalah (Ramadhan & Ilmar & Diniardi & Mukti,2016)

$$m = A \cdot v \cdot \rho$$

Dimana :

m : massa udara yang mengalir (kg/det)

A : Penampang ( $m^2$ )

v : Kecepatan Angin (m/det)

$\rho$  : Kerapatan Udara ( $kg/m^3$ )

Dengan persamaan dapat dihitung besar daya yang dihasilkan energi angin yaitu :

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

Dimana :

P : Daya yaitu energi per satuan waktu (watt)

A : Luas Penampang ( $m^2$ )

v : Kecepatan Angin (m/det)

$\rho$  : Kerapatan Udara ( $kg/m^3$ )

### 2.6.2 Turbin Angin

Turbin angin atau kincir angin merupakan suatu alat yang dapat mengubah energi kinetik dari angin menjadi energi listrik. Sistem yang digerakkan oleh angin telah banyak digunakan secara luas sejak abad kesepuluh untuk memompa air, menumbuk biji, dan lain-lain. Turbin angin sendiri dahulu banyak digunakan di Negara Denmark, Belanda, dan negara Eropa lainnya dan lebih dikenal dengan nama windmill. Kini turbin angin lebih banyak digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik masyarakat dengan menggunakan prinsip konversi energi dan menggunakan sumber energi terbarukan yaitu berupa angin (Ramadhan & Ilmar & Diniardi & Mukti,2016)

Baling-baling merupakan bagian utama pada turbin angin yang berfungsi untuk mengkonversikan energi angin menjadi energi penggerak untuk generator. Bila baling-baling memiliki jari-jari  $R$  dilewati angin dengan kecepatan  $v$ , maka daya yang dihasilkan oleh turbin angin tersebut dapat ditentukan dengan rumus (Ramadhan & Ilmar & Diniardi & Mukti,2016)

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \cdot Cp$$

Dimana :

$P$  : Daya (watt)

$\rho$  : Kerapatan udara ( $\text{kg/m}^3$ )

$v$  : Kecepatan angin (m/s)

$Cp$  : Power constant

$A$  : Jari-jari (m)

C<sub>p</sub> (Power Constant) merupakan besaran yang dimiliki oleh motor dan berbeda-beda setiap tipe yang berbeda. C<sub>p</sub> merupakan keahlian suatu motor untuk mengkonversi dari energi gerak menjadi energi listrik atau sebaliknya dengan memperhitungkan nilai setiap rugi-rugi yang dimilikinya. Sehingga bilamana menggunakan generator dengan nilai C<sub>p</sub> yang besar untuk turbin angin, maka daya yang akan dihasilkan akan lebih besar bila dibandingkan dengan generator yang memiliki nilai C<sub>p</sub> yang lebih rendah (Yunginger & Nawar & Sune, 2015)

### **2.6.3 Prinsip Kerja dan Kontruksi Turbin Angin**

Sistem pembangkit listrik tenaga angin ini merupakan pembangkit listrik yang menggunakan turbin angin (*wind turbine*) sebagai peralatan utamanya. Dalam skala utility memiliki berbagai ukuran, dari 100 kilowatt sampai dengan beberapa megawatt. Turbin besar dikelompokkan bersama-sama ke arah angin, yang memberikan kekuatan massal ke jaringan listrik. Turbin kecil tunggal, di bawah 100 kilowatt dan digunakan pada rumah, telekomunikasi, atau pemompaan air. Turbin kecil kadang-kadang digunakan dalam kaitannya dengan generator diesel, baterai dan sistem *fotovoltaik*. Sistem ini disebut sistem angin hibrid dan sering digunakan di lokasi terpencil di luar jaringan, di mana tidak tersedia koneksi ke jaringan utilitas (Yunginger & Nawar & Sune, 2015)

Tenaga angin modern dihasilkan dalam bentuk listrik dengan merubah rotasi pisau turbin menjadi arus listrik menggunakan generator listrik. Kincir dengan energi angin digunakan untuk memutar peralatan mekanik dalam melakukan kerja fisik, seperti memompa air atau menyalakan lampu. Daya

yang dihasilkan oleh turbin angin tergantung pada diameter pada sudut. Semakin besar diameter, maka daya yang dihasilkan semakin besar (Yunginger & Nawar & Sune, 2015)



**Gambar 2.18** Struktur turbin/kincir angin.

Turbin angin sekarang ini banyak digunakan untuk mengakomodasi listrik masyarakat dengan menggunakan konversi energi dengan menggunakan sumber daya alam yang dapat diperbarui yaitu angin. Cara kerja pembangkit listrik tenaga bayu/angin cukup sederhana. Energi angin yang memutar turbin angin, diteruskan untuk memutar rotor pada generator dibelakang bagian turbin angin, sehingga akan menghasilkan energi listrik. Energi listrik ini biasanya akan disimpan dalam baterai sebelum dimanfaatkan. Banyaknya baterai disesuaikan dengan jumlah daya yang dibutuhkan dalam instalasi listrik rumah tangga atau instansi (Yunginger & Nawar & Sune, 2015)



**Gambar 2.19** Prinsip kerja PLTB.

## 2.7 Jenis Turbin Angin

Dalam perkembangannya turbin angin dibagi menjadi dua jenis turbin angin Propeller dan turbin angin Darrieus. Kedua jenis turbin inilah yang kini memperoleh perhatian besar untuk dikembangkan. Pemanfaatannya yang umum sekarang sudah digunakan adalah untuk memompa air dan pembangkit tenaga listrik. Turbin angin terdiri atas dua jenis, yaitu (Aryanto & Firman & Mara & Nuarsa, 2013)

### 2.7.1 Turbin Angin Sumbu Horizontal

Turbin angin Propeller adalah jenis turbin angin dengan poros horizontal seperti baling-baling pesawat terbang pada umumnya. Turbin angin ini harus diarahkan sesuai dengan arah angin yang paling tinggi kecepatannya.



**Gambar 2.20** Turbin Angin Sumbu Horizontal.

Mukund R. Patel menambahkan, seperti yang terlihat dalam persamaan daya angin sebelumnya, keluaran daya dari turbin angin bervariasi linier dengan daerah yang melewati *rotor blade*. Untuk turbin sumbu horizontal, daerah yang melewati *rotor blade* adalah (Aryanto & Firman & Mara & Nuarsa, 2013)

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 (\text{m}^2)$$

### 2.7.2 Turbin Angin Sumbu Vertikal

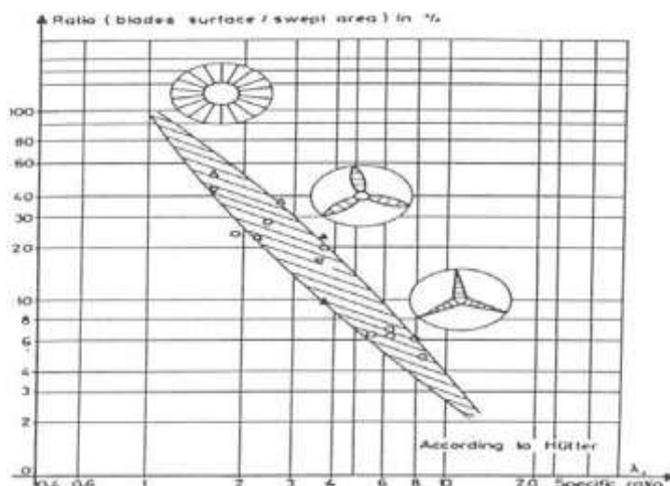
Turbin angin sumbu vertikal/tegak memiliki sumbu rotor utama yang disusun tegak lurus. Generator dan *gearbox* turbin jenis ini bisa ditempatkan didekat tanah, sehingga menara tidak perlu menyokongnya dan lebih mudah diakses untuk keperluan perawatan. Desain turbin ini menyebabkan sejumlah desain menghasilkan tenaga putaran yang berdenyut. Drag (gaya yang menahan pergerakan) sebuah benda padat melalui fluida (zat cair atau gas) bisa saja tercipta saat kincir berputar. Drag sulit dipasang diatas menara, turbin sumbu tegak sering dipasang lebih dekat ke dasar tempat ia diletakkan, seperti tanah atau puncak atap sebuah bangunan (Muttaqin & Zadid & Riawan & Suryoatmojo, 2012)



**Gambar 2.21** Turbin Angin Sumbu Vertikal

### 2.7.3 Efisiensi Rotor

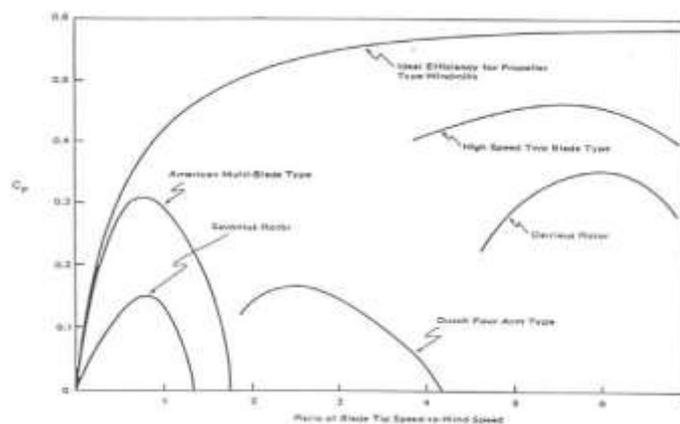
Efisiensi rotor ditentukan oleh jenis turbin angin dan kesempurnaan teknologi *aerodinamik* yang digunakan. Rotor dengan soliditas tinggi mempunyai efisiensi yang lebih kecil dibandingkan dengan rotor yang mempunyai soliditas rendah (Muttaqin & Zadid & Riawan & Suryoatmojo, 2012)



**Gambar 2.22** Efisiensi rotor dan soliditas rotor.

Gambar 2.22 menunjukkan efisiensi rotor terhadap berbagai jenis turbin angin. Disini terlihat bahwa turbin angin kelompok sumbu horizontal pada umumnya memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan turbin angin sumbu vertikal. Dari gambar ini juga terlihat bahwa pada umumnya turbin angin dengan soliditas tinggi mempunyai torsi yang besar, efisiensi rendah serta *rated wind speed* yang tidak terlalu tinggi (Muttaqin & Zadid & Riawan & Suryoatmojo, 2012)

Sehingga terlihat jelas disini bahwa didaerah-daerah berpotensi energi angin rendah cocok diterapkan teknologi turbin angin multi blade yang dapat digunakan untuk keperluan-keperluan mekanikal, seperti pemompaan air.



**Gambar 2.23** Efisiensi rotor untuk berbagai tipe turbin angin.

#### 2.7.4 Diameter Rotor

Diameter rotor ditentukan berdasarkan pemenuhan kebutuhan energi oleh angin yang tersedia, baik itu untuk kegunaan mekanikal maupun elektrik, dengan mempertimbangkan efisiensi rotor dan juga efisiensi sistem mekanik. Perkiraan diameter rotor ini tidak terlalu eksak. Kompromi dapat dilakukan dalam rangka optimisasi dengan kekuatan struktur sudu dan juga biaya pembuatan (Muttaqin & Zadid & Riawan & Suryoatmojo, 2012)

Dengan efisiensi rotor dan kondisi angin yang sama, semakin besar diameter rotor semakin besar pula energi angin yang dapat diekstrak. Oleh karena itu ukuran rotor menggambarkan berapa besar kapasitas suatu sistem konversi energi angin (Muttaqin & Zadid & Riawan & Suryoatmojo, 2012)

#### 2.7.5 Tip Speed Ratio

Tip speed ratio (rasio kecepatan ujung) adalah rasio kecepatan ujung rotor terhadap kecepatan angin bebas. Untuk kecepatan angin nominal yang tertentu, tip speed ratio akan berpengaruh terhadap kecepatan rotor. Turbin angin tipe lift akan memiliki tip speed ratio yang relatif lebih besar dibandingkan dengan turbin angin drag.

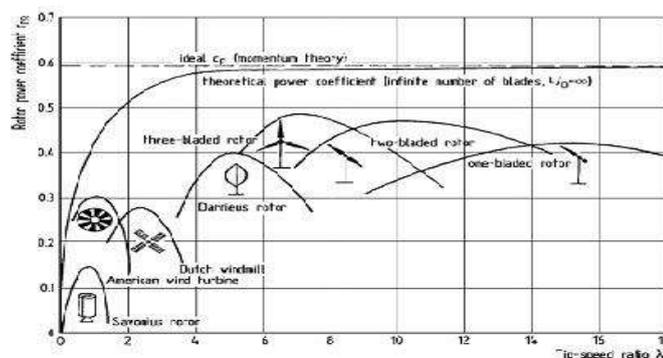
Tip speed ratio dihitung dengan persamaan :

$$\lambda = \frac{2 \pi n r}{60 \cdot v}$$

Dimana :

- $\lambda$  : Tip speed ratio
- $r$  : Jari-jari rotor (m)
- $n$  : Putaran rotor (rpm)
- $v$  : Kecepatan angin (m/s)

Gambar berikut menunjukkan variasi nilai tip speed ratio dan koefisien daya untuk berbagai macam turbin angin (Muttaqin & Zaidid & Riawan & Suryatmojo, 2012)



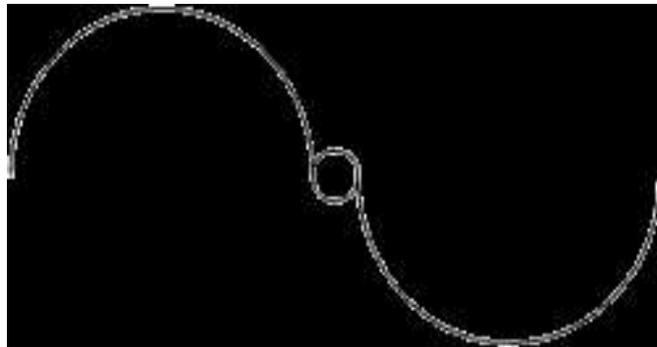
**Gambar 2.24** Variasi tip speed ratio dan koefisien daya pada berbagai jenis turbin angin.

## 2.8 Modifikasi Kincir Angin

Seiring perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan serta penelitian para ilmuan maka begitu banyak inovasi dan modifikasi yang telah dibuat terutama pada rotor turbin angin. Seperti beberapa contoh modifikasi rotor atau sudu pada turbin angin tipe savonius. Berikut penjelasannya (Muttaqin & Zaidid & Riawan & Suryatmojo, 2012)

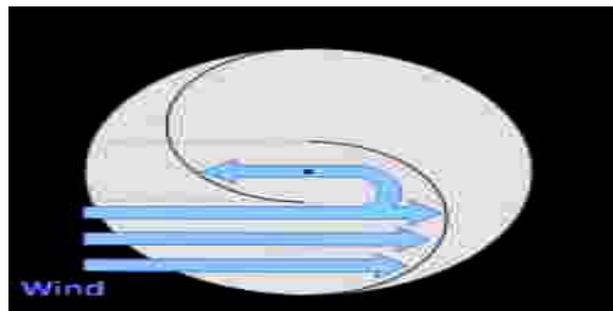
### 1. Rotor Savonius dua bucket

Berdasarkan prinsip aerodinamis, rotor jenis ini memanfaatkan gaya hambat (drag) saat mengekstrak energi angin dari aliran angin yang melalui sudu turbin. Koefisien hambat permukaan cekung lebih besar dari pada permukaan cembung. Oleh sebab itu, sisi permukaan cekung setengah silinder yang dilalui angin akan memberikan gaya hambat yang lebih besar dari pada sisi lain sehingga rotor berputar. Setiap turbin angin yang memanfaatkan potensi angin dengan gaya hambat memiliki efisiensi yang terbatas karena kecepatan sudut tidak dapat melebihi kecepatan angin yang melaluinya. Pada dasarnya savonius dua bucket memiliki tiga variasi lagi yakni :



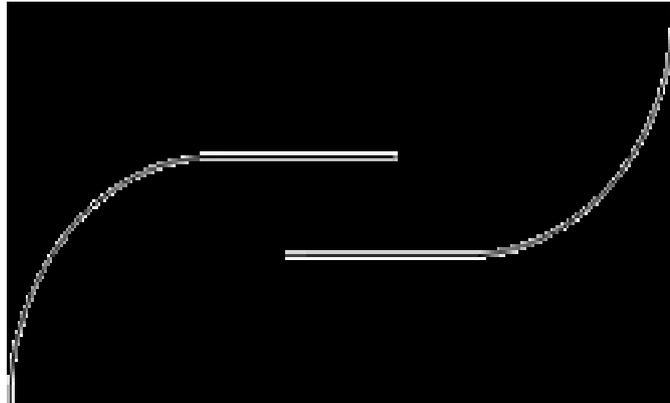
**Gambar 2.25** Konfigurasi Tanpa Overlap

Rotor ini memiliki kekuatan yang tinggi karena letak porosnya yang tepat berada ditengah kedua bucket nya. Rotor ini memiliki efisiensi yang paling rendah.



**Gambar 2.26** Konfigurasi dengan overlap

Konfigurasi rotor seperti ini sering dijumpai jenis ini memiliki celah antara bucket sehingga membuat arah angin yang dapat meningkatkan putaran dan dapat mengurangi getaran. Efisiensi pada rotor ini memiliki efisiensi yang lebih tinggi dari pada jenis konfigurasi tanpa *overlap* (Muttaqin & Zadid & Riawan & Suryoatmojo, 2012)



**Gambar 2.27** Konfigurasi dengan bucket didefleksikan

Konfigurasi ini berbentuk L keunggulannya dapat membelokkan fluida dan memiliki efisiensi yang lebih baik dari jenis-jenis sebelumnya. Bucket seperti diatas mampu bertindak seperti airfoil ketika fluida menabrak tepi rotor dan menimbulkan sedikit gaya lift. Dengan demikian mampu meningkatkan efisiensi. Tetapi tipe diatas relatif sulit untuk dibuat karena membutuhkan lembaran logam yang di rol, bukan dari potongan drum atau pipa (Muttaqin & Zadid & Riawan & Suryoatmojo, 2012)



**Gambar 2.28** Rotor Savonius Multi Bucket

Rotor savonius dengan tiga bucket atau lebih, cenderung memiliki torsi awal yang baik dari pada rotor savonius dengan dua bucket. Semakin banyak bucket yang digunakan, maka torsi awal yang digunakan akan semakin baik.



**Gambar 2.29** Rotor Savonius Rotor Helix

Tipe ini pertama kali diperkenalkan tahun 2006 oleh perusahaan *helix wind*. Bentuk desain *helix* yang unik memiliki keuntungan antara lain memiliki getaran yang halus karena variasi torsinya relatif merata untuk setiap bucket dan memiliki torsi yang baik. Namun rotor ini memiliki geometri yang relatif rumit, sehingga sulit dalam pembuatan (Muttaqin & Zadid & Riawan & Suryoatmojo, 2012)

## **2.9 Kelebihan dan Kekurangan Turbin Angin Sebagai PLTB**

Keuntungan utama dari penggunaan pembangkit listrik tenaga angin secara prinsipnya adalah disebabkan karena sifatnya yang terbarukan. Hal ini berarti eksploitasi sumber energi ini tidak akan membuat sumber daya angin yang berkurang seperti halnya penggunaan bahan bakar fosil. Oleh karenanya tenaga angin dapat berkontribusi dalam ketahanan energi dunia di masa depan. Tenaga angin juga merupakan sumber energi yang ramah lingkungan, dimana

penggunaannya tidak mengakibatkan emisi gas buang atau polusi yang berarti ke lingkungan. Namun dalam penetapan ladang angin membutuhkan waktu yang cukup lama yakni satu hingga empat tahun, termasuk izin proyek pembangunannya (Muttaqin & Zadid & Riawan & Suryoatmojo, 2012)

Emisi karbon ke lingkungan dalam sumber listrik tenaga angin diperoleh dari proses manufaktur pembangunan pembangkit tenaga listrik, tetapi dalam operasinya membangkitkan listrik, secara praktis tidak menghasilkan emisi yang berarti. Jika dibandingkan dengan pembangkit listrik dengan batubara. Emisi karbon dioksida pembangkit listrik tenaga angin ini hanya seperseratusnya saja. Namun begitu, pembangkit listrik tenaga angin ini tidak sepenuhnya ramah lingkungan, terdapat beberapa masalah yang terjadi akibat penggunaan sumber energi angin sebagai pembangkit listrik, diantaranya adalah dampak visual, derau suara, beberapa masalah ekologi, dan keindahan (Muttaqin & Zadid & Riawan & Suryoatmojo, 2012)

Dampak visual biasanya merupakan hal yang paling serius dikritik. Penggunaan ladang angin sebagai pembangkit listrik membutuhkan luas lahan yang tidak sedikit dan tidak mungkin untuk disembunyikan. Penempatan ladang angin pada lahan yang masih dapat digunakan untuk keperluan yang lain dapat menjadi persoalan tersendiri bagi penduduk setempat. Selain mengganggu pandangan akibat pemasangan barisan pembangkit angin, penggunaan lahan untuk pembangkit angin dapat mengurangi lahan pertanian serta pemukiman. Hal ini yang membuat pembangkitan tenaga angin di daratan menjadi terbatas.

Efek lain akibat penggunaan turbin angin adalah terjadinya derau frekuensi rendah. Putaran dari sudut-sudut turbin angin dengan frekuensi konstan lebih

mengganggu daripada suara angin pada ranting pohon. Selain derau dari sudut-sudut turbin, penggunaan gearbox serta generator dapat menyebabkan derau suara mekanis dan juga derau suara listrik. Derau mekanik yang terjadi disebabkan oleh operasi mekanis elemen-elemen yang berada dalam nacelle atau rumah pembangkit listrik tenaga angin. Dalam keadaan tertentu turbin angin dapat juga menyebabkan interferensi elektromagnetik, mengganggu penerimaan sinyal televisi atau transmisi gelombang mikro untuk perkomunikasian (Muttaqin & Zadid & Riawan & Suryoatmojo, 2012)

Penentuan ketinggian dari turbin angin dilakukan dengan menganalisa data turbulensi angin dan kekuatan angin. Derau aerodinamis merupakan fungsi dari banyak faktor seperti desain sudut, kecepatan perputaran, kecepatan angin, turbulensi aliran masuk. Derau aerodinamis merupakan masalah lingkungan, oleh karena itu kecepatan perputaran rotor perlu dibatasi di bawah 70m/s. Beberapa ilmuwan berpendapat bahwa penggunaan skala besar dari pembangkit listrik tenaga angin dapat merubah iklim lokal maupun global karena menggunakan energi kinetik angin dan mengubah turbulensi udara pada daerah atmosfer.

Pengaruh ekologi yang terjadi dari penggunaan pembangkit tenaga angin adalah terhadap populasi burung dan kelelawar. Burung dan kelelawar dapat terluka atau bahkan mati akibat terbang melewati sudut-sudut yang sedang berputar. Namun dampak ini masih lebih kecil jika dibandingkan dengan kematian burung-burung akibat kendaraan, saluran transmisi listrik dan aktivitas manusia lainnya yang melibatkan pembakaran bahan bakar fosil. Selain itu, ladang angin lepas pantai memiliki masalah tersendiri yang dapat mengganggu pelaut dan kapal-kapal yang berlayar (Muttaqin & Zadid & Riawan & Suryoatmojo, 2012)

Konstruksi tiang pembangkit listrik tenaga angin dapat mengganggu permukaan dasar laut. Hal lain yang terjadi dengan konstruksi di lepas pantai adalah terganggunya kehidupan bawah laut. Efek negatifnya dapat terjadi seperti di Irlandia, dimana terjadinya polusi yang bertanggung jawab atas berkurangnya stok ikan di daerah pemasangan turbin angin. Studi baru-baru ini menemukan bahwa ladang pembangkit listrik tenaga angin lepas pantai menambah 80 – 110 dB kepada noise frekuensi rendah yang dapat mengganggu komunikasi ikan paus dan kemungkinan distribusi predator laut.

Dalam operasinya, pembangkit listrik tenaga angin bukan tanpa kegagalan dan kecelakaan. Kegagalan operasi sudut-sudut dan juga jatuhnya es akibat perputaran telah menyebabkan beberapa kecelakaan dan kematian. Kematian juga terjadi kepada beberapa penerjun dan pesawat terbang kecil yang melewati turbin angin. Reruntuhan puing-puing berat yang dapat terjadi merupakan bahaya yang perlu diwaspadai, terutama di daerah padat penduduk dan jalan raya.

Kebakaran pada turbin angin dapat terjadi dan akan sangat sulit untuk dipadamkan akibat tingginya posisi api sehingga dibiarkan begitu saja hingga terbakar habis. Hal ini dapat menyebarkan asap beracun dan juga dapat menyebabkan kebakaran berantai yang membakar habis ratusan acre lahan pertanian. Hal ini pernah terjadi pada Taman Nasional Australia dimana 800 km<sup>2</sup> tanah terbakar. Kebocoran minyak pelumas juga dapat terjadi dan dapat menyebabkan terjadinya polusi daerah setempat, dalam beberapa kasus dapat mengkontaminasi air minum (Muttaqin & Zadid & Riawan & Suryoatmojo, 2012)

Meskipun dampak-dampak lingkungan ini menjadi ancaman dalam pembangunan pembangkit listrik tenaga angin, namun jika dibandingkan dengan penggunaan energi fosil, dampaknya masih jauh lebih kecil. Selain itu penggunaan energi angin dalam kelistrikan telah turut serta dalam mengurangi emisi gas buang.

### **2.9.1 Generator Arus Searah ( DC )**

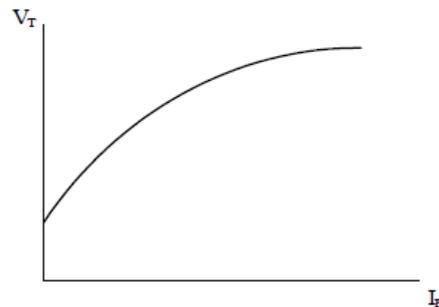
Generator arus searah mempunyai komponen dasar yang umumnya hampir sama dengan komponen mesin–mesin listrik lainnya. Secara garis besar generator arus searah adalah alat konversi energi mekanis berupa putaran menjadi energi listrik arus searah. Energi mekanik digunakan untuk memutar kumparan kawat penghantar di dalam medan magnet. Berdasarkan hukum Faraday, pada kawat penghantar akan timbul ggl induksi yang besarnya sebanding dengan laju perubahan fluksi yang dilingkupi oleh kawat penghantar. Bila kumparan kawat tersebut merupakan rangkaian tertutup, maka akan timbul arus induksi. Perbedaan setiap generator biasanya terletak pada komponen penyearah yang terdapat didalamnya yang disebut dengan komutator dan sikat (Efendi & Asnal, 2014)

### **2.9.2 Karakteristik Generator DC Penguatan Kompon dan Efisiensi**

#### **Generator DC**

Karakteristik berbeban sebuah generator DC kompon menunjukkan bagaimana hubungan antara tegangan terminal  $V_t$  dan arus medan  $I_f$  ketika generator dibebani. Bentuk karakteristik berbeban generator DC kompon adalah mirip karakteristik generator DC shunt, tetapi letaknya agak lebih

tinggi karena generator ini mempunyai lilitan penguat magnet seri (Efendi & Asnal, 2014)



**Gambar 2.30** Karakteristik Berbeban Generator Kompon Secara Teoritis

Terlihat pada gambar 2.9 karakteristik berbeban sebuah generator dc kompon menunjukkan bagaimana hubungan antara tegangan terminal  $V_t$  dan arus medan  $I_f$  ketika generator di bebani. Bentuk karakteristik generator dc kompon adalah mirip dengan karakteristik generator dc shunt, tetapi letaknya agak lebih tinggi karena generator ini mempunyai lilitan penguat magnet seri.

Untuk menjelaskan efisiensi pada generator arus searah, dapat diamati melalui diagram aliran daya pada generator dc. Diagram aliran daya dapat dilihat dibawah ini (Efendi & Asnal, 2014)



**Gambar 2.31** Diagram Aliran Daya Generator DC

## BAB 3

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dan pengujian performa kerja PLTS dan PLTB menggunakan parameter suhu dan kecepatan angin, dilaksanakan pada tanggal 15 Juli 2019 dilaksanakan laboratorium Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Jln. Kapten Muchtar Basri no. 3 Medan

#### 3.2 Peralatan dan Bahan

Untuk mendapatkan hasil penelitian dari performa kerja PLTS dan PLTB diperlukan alat dan bahan yang mendukung penelitian ini. Peralatan dan bahan yang digunakan pada penelitian sebagai berikut.

##### 3.2.1 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian diantaranya sebagai berikut:

1. *Thermometer*

Alat ini digunakan untuk mengukur besarnya suhu permukaan panel surya, *Thermometer* yang digunakan yaitu Fluke 62 max IR *Thermometer* dengan *range*  $-30^{\circ}\text{C}$  to  $500^{\circ}\text{C}$ .

2. *Lux meter*

Alat ini digunakan untuk mengukur besarnya iradian cahaya matahari.

3. *Multitester*

Alat ini digunakan untuk mengukur besarnya tegangandari rangkaian

*multitester* yang digunakan yaitu Analok dengan range tegangan DC 200 mV sampai 600 V.

4. *Anemometer*

Berfungsi sebagai untuk mengukur kecepatan angin dan juga dapat menentukan arah mata angin.

5. Tachometer

Berfungsi sebagai untuk mengukur putaran turbin yang dihasilkan dari kecepatan angin.

6. Saklar

Berfungsi sebagai penghubung dan pemutus arus listrik.

7. Stop kontak

Sebagai penghubung antara arus listrik ke beban.

8. Lampu AC 5 Watt

Sebagai beban percobaan.

9. Fiting Lampu

Sebagai tempat dudukan lampu.

10. Tools Box

Peralatan pendukung seperti, tang pengelupas kabel, tang skun, tang pemotong kabel, tang cucut, tang kombinasi, obeng plus minus dan lain sebagainya.

### 3.2.2 Bahan

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian diantaranya sebagai berikut.

1. Panel sel surya

Sebagai mengubah cahaya menjadi listrik. Panel sel surya yang digunakan ada satu jenis merek yaitu *polycrystalline* merek surya 20 Wp.

Berikut tabel Spesifikasi dari panel surya.



**Gambar 3.1** Panel Surya Merek Surya Jenis *Polycrystalline*

Tabel: 3.1 Spesifikasi panel surya 1

<b>SURYA<sup>®</sup></b>		
<b>POLYCRYSTALLINE SOLAR MODULE</b>		
<b>Model Type</b>	<b>SSPP 20WP/12V</b>	
<b>Rated Maximum Power:</b>	<b>[Pmax]</b>	<b>20W</b>
<b>Output Tolerrance:</b>	<b>0~+ 3%</b>	
<b>Voltage at Pmp:</b>	<b>[Vmp]</b>	<b>18V</b>
<b>Current at Pmp:</b>	<b>[Imp]</b>	<b>1.11A</b>
<b>Open-Circuit Voltage:</b>	<b>[Voc]</b>	<b>21.5V</b>
<b>Short-Circuit Current:</b>	<b>[Isc]</b>	<b>1.23A</b>
<b>Maximum System Voltage:</b>	<b>1000V</b>	
<b>Maximum Series Fuse Rating:</b>	<b>15.0A</b>	
<b>Weight:</b>	<b>[Kg]</b>	<b>2.0</b>
<b>Dimension:</b>	<b>[mm]</b>	<b>485*350*25mm</b>
<b>Application Class</b>	<b>A</b>	
<b>ALL Technical data at standard condition</b>		
<b>AM=1.5</b>	<b>E=1000W/M<sup>2</sup></b>	<b>TC=25 °C</b>
<b>07/2018</b>	<b>MADE IN CHINA</b>	

## 2. Turbin Angin

Sebagai pengubah energi mekanis dari angin menjadi energi putar pada kincir, lalu putaran kincir digunakan untuk memutar motor dc, yang akhirnya akan menghasilkan listrik.



**Gambar3.2** Turbin Angin

### 3. Motor DC

Sebagai pengubah energi listrik menjadi energi kinetik atau gerakan *miti* yang dihasilkan dari putaran turbin angin.



**Gambar 3.3** Motor DC

### 4. Control Aktuator

Sebagai pelaralatan mekanis untuk menggerakkan atau mengontrol sebuah mekanisme atau sistem.



**Gambar 3.4** Control Aktuator

### 5. Maximun Power Point Tracker

Sebagai mengatur arus searah yang diisi ke baterai dan diambil dari baterai ke beban.



**Gambar 3.5** Maximun Power Point Tracker

#### 6. Solar Charge Controller

Sebagaimengontrol proses pengisian muatan listrik dari panel surya kedalam baterai (aki) dan juga pengosongan muatan listrik dari baterai pada beban seperti inverter, lampu, TV dan lain – lain.



**Gambar 3.6** Solar Charge Controller

#### 7. Inverter

Sebagai perangkat yang digunakan untuk mengubah arus DC dari sel surya dan baterai menjadi arus AC dengan tegangan 200 Volt yangkemudian akan digunakan pada listrik komersial seperti lampu dan televisi.



**Gambar 3.7** Inverter

#### 8. MCB DC

Sebagai breaker dari solar panel ke controller, dari controller ke aki, dari aki ke inverter dan dari controller ke inverter. Untuk menghindari terjadinya hubungan singkat/ konslet.



**Gambar 3.8** MCB DC

#### 9. Baterai

Sebagai untuk menyimpan muatan energi listrik



**Gambar 3.9** Baterai

## 10. Kabel Penghubung

Sebagai penghubung antara alat satu dengan yang lainnya pada rangkaian pengukuran panel surya. Kabel yang digunakan yaitu NYAF 1,5 SQMM 450/750.



**Gambar 3.10** Kabel Penghubung

## 3.3 Metode Penelitian

### 3.3.1 Pengambilan Data

Pengambilan data dimaksudkan untuk mempelajari berbagai sumber referensi atau teori dari jurnal atau internet yang berkaitan dengan penelitian berdasarkan pengujian performa kerja PLTS dan PLTB menggunakan parameter suhu dan kecepatan angin. Proses pengambilan data yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Merangkai alat dan bahan percobaan penelitian.
2. Mengukur tegangan, arus keluaran pada PLTS dan PLTB, setelah itu mencatat data dari hasil pengukuran panel sel surya.
3. Mengamati alat ukur lux meter dan thermometer untuk mengetahui berapa intensitas dan temperatur terhadap panel surya.

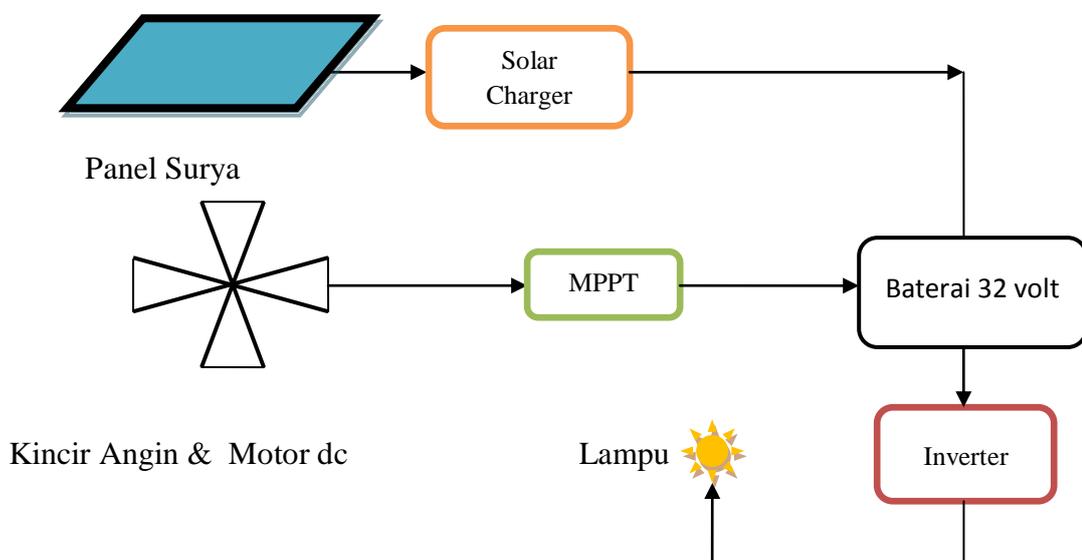
4. Mengamati alat ukur anemometer untuk mengetahui kecepatan angin terhadap putaran motor.

### 3.4 Diagram Penelitian

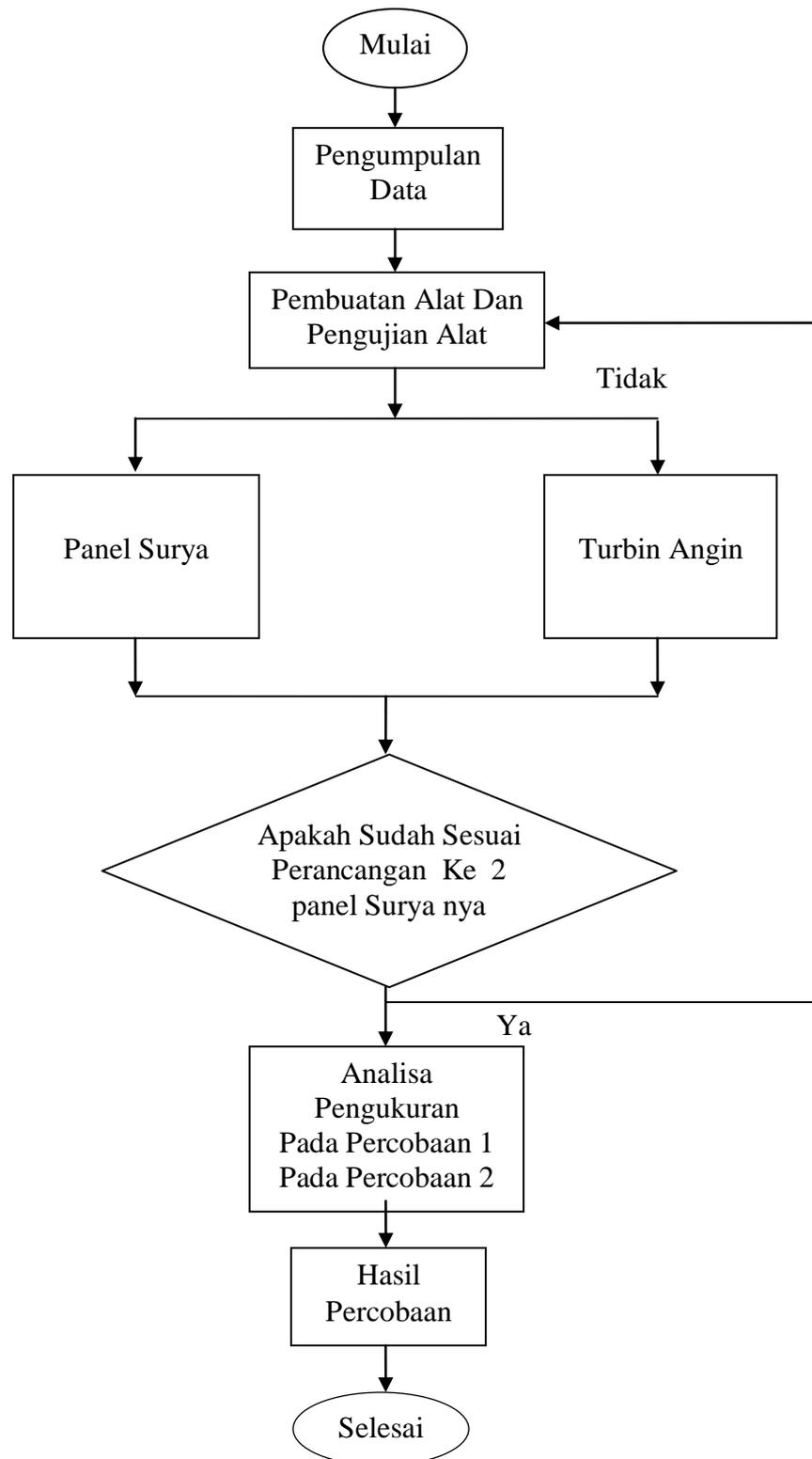
#### 3.4.1 Urutan Penelitian

Urutan penelitian dan analisa data dituangkan dalam alur diagram seperti 3.1 yakni penelitian diawali dari waktu dan tempat, 3.1 peralatan dan bahan panel surya 1, 2, pada saat di pasang dapat kita ketahui bahwa perbandingan pengujian performa kerja PLTS dan PLTB menggunakan parameter suhu dan kecepatan angin. Pengujian sendiri dilakukan dengan mengamati tegangan (voltage), arus (ampera) dan daya output (Watt). Kemudian dapat diketahui juga intensitas, temperatur dan kecepatan putaran motor dc yang akan di ukur menggunakan luxmeter, thermometer dan anemo meter dan tachmeter. Setelah semua data terkumpul dan dirasa cukup, penelitian mulai menyusun laporan penelitian.

#### 3.4.2 Diagram Blok Pengukuran



**Gambar 3.11** Diagram Blok Pengukuran PLTS dan PLTB



**Gambar 3.12** Diagram Alur

## BAB 4

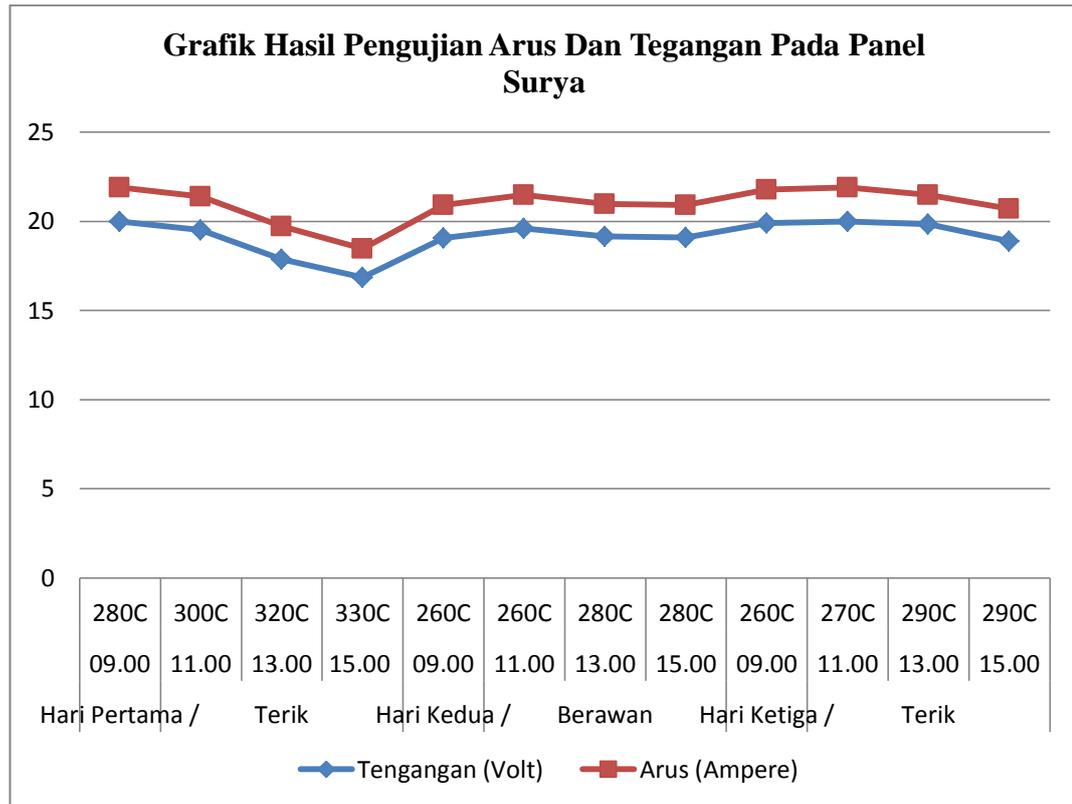
### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Data Hasil Pengujian Arus dan Tegangan Yang dihasilkan oleh PLTS

Pengujian arus dan tegangan pada pembangkit listrik tenaga surya ini adalah untuk mengetahui daya keluaran yang dihasilkan oleh sel surya. Pengujian dilakukan dalam waktu tiga hari dan dilakukan pengambilan data setiap dua jam sekali.

**Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Arus Dan Tegangan Pada Panel Surya**

<b>Hari / Kondisi Cuaca</b>	<b>Waktu Pengujian</b>	<b>Suhu</b>	<b>Tegangan (Volt)</b>	<b>Arus (Ampere)</b>
Hari Pertama / Terik	09.00	28 <sup>0</sup> C	19,99	1,92
	11.00	30 <sup>0</sup> C	19,51	1,89
	13.00	32 <sup>0</sup> C	17,88	1,85
	15.00	33 <sup>0</sup> C	16,85	1,60
Hari Kedua / Berawan	09.00	26 <sup>0</sup> C	19,07	1,83
	11.00	26 <sup>0</sup> C	19,61	1,88
	13.00	28 <sup>0</sup> C	19,14	1,83
	15.00	28 <sup>0</sup> C	19,09	1,82
Hari Ketiga / Terik	09.00	26 <sup>0</sup> C	19,91	1,87
	11.00	27 <sup>0</sup> C	19,99	1,92
	13.00	29 <sup>0</sup> C	19,85	1,62
	15.00	29 <sup>0</sup> C	18,87	1,84



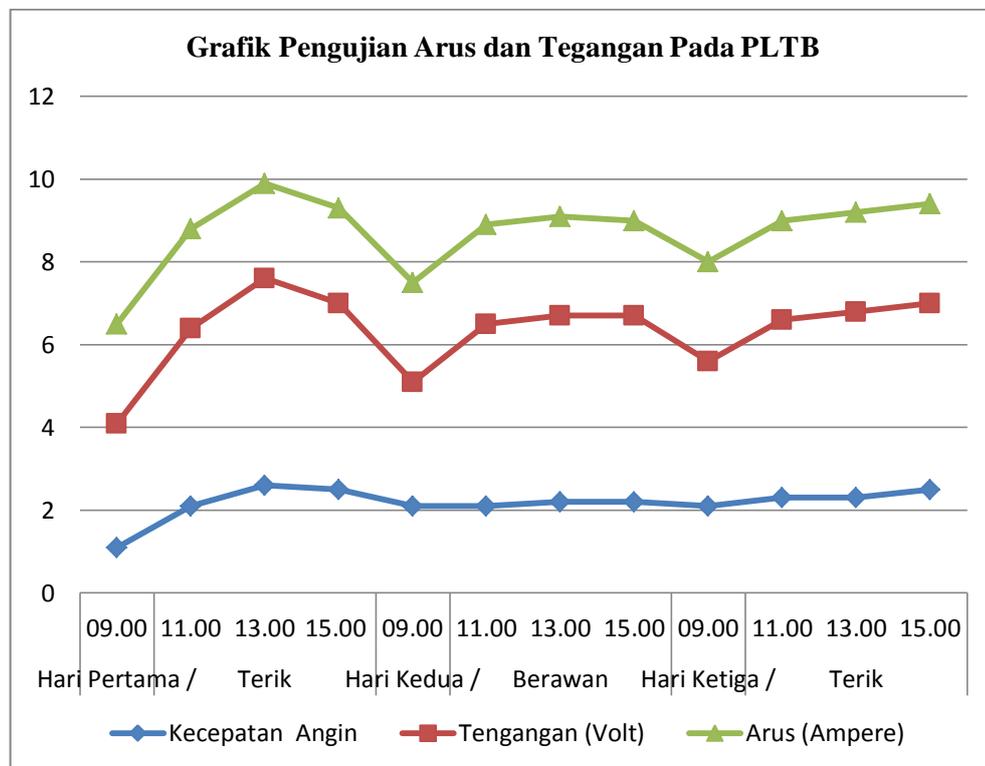
Gambar 4.1 Grafik Hasil Pengujian Arus Dan Tegangan Pada Panel Surya

#### 4.2 Data Hasil Pengujian Arus dan Tegangan Yang dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

Data Hasil Pengujian Arus dan Tegangan Yang dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Angin adalah data hasil keseluruhan yang diteliti dan dicatat pada pembangkit listrik tenaga angin. Dapat dilihat dalam bentuk tabel dan grafik pada waktu-waktu tertentu pengaruh akibat kecepatan angin yang dapat memutar turbin angin (rpm) hasilnya sangat bervariasi, sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar tekanan angin semakin cepat pula putaran turbin angin yang berputar selama rotasi permenit.

**Tabel 4.2 Hasil Pengujian Arus dan Tegangan Pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu**

Hari / Kondisi Cuaca	Waktu Pengujian	Kecepatan Angin	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)
Hari Pertama / Terik	09.00	1,1	3	2,4
	11.00	2,1	4,3	2,4
	13.00	2,6	5	2,3
	15.00	2,5	4,5	2,3
Hari Kedua / Berawan	09.00	2,1	3	2,4
	11.00	2,1	4,4	2,4
	13.00	2,2	4,5	2,4
	15.00	2,2	4,5	2,3
Hari Ketiga / Terik	09.00	2,1	3,5	2,4
	11.00	2,3	4,3	2,4
	13.00	2,3	4,5	2,4
	15.00	2,5	4,5	2,4



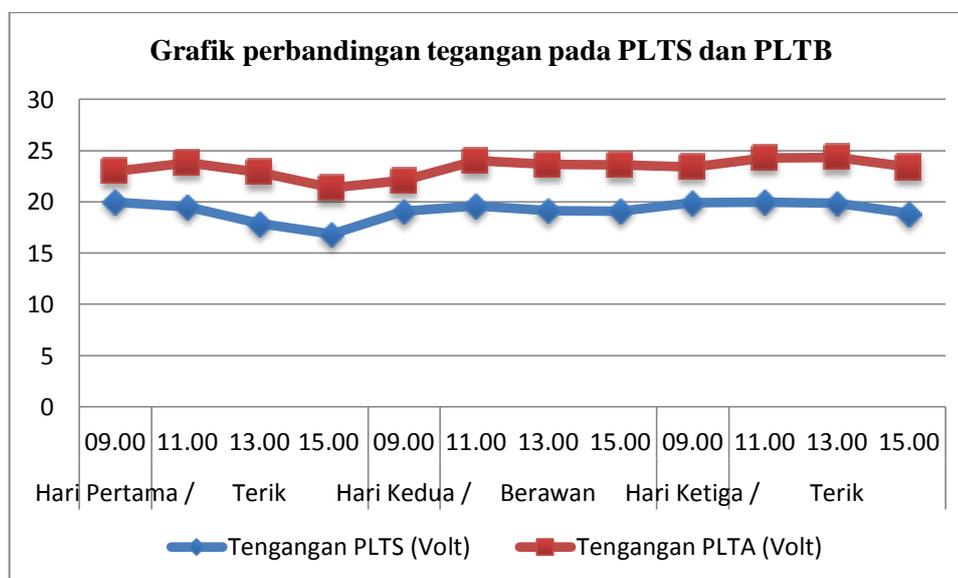
**Gambar 4.2 Grafik Pengujian Arus dan Tegangan Pada PLTB**

### 4.3 Hasil perbandingan tegangan pada pembangkit listrik tenaga bayu dan pembangkit listrik tenaga surya.

Adapun hasil perbandingan tegangan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel data dan grafik percobaan dibawah ini :

**Tabel 4.3. Hasil perbandingan tegangan pada pembangkit listrik tenaga angin dan pembangkit listrik tenaga surya.**

Hari / Kondisi Cuaca	Waktu Pengujian	Tegangan PLTS (Volt)	Tegangan PLTB (Volt)
Hari Pertama / Terik	09.00	19,99	3
	11.00	19,51	4,3
	13.00	17,88	5
	15.00	16,85	4,5
Hari Kedua / Berawan	09.00	19,07	3
	11.00	19,61	4,4
	13.00	19,14	4,5
	15.00	19,09	4,5
Hari Ketiga / Terik	09.00	19,91	3,5
	11.00	19,99	4,3
	13.00	19,85	4,5
	15.00	18,87	4,5



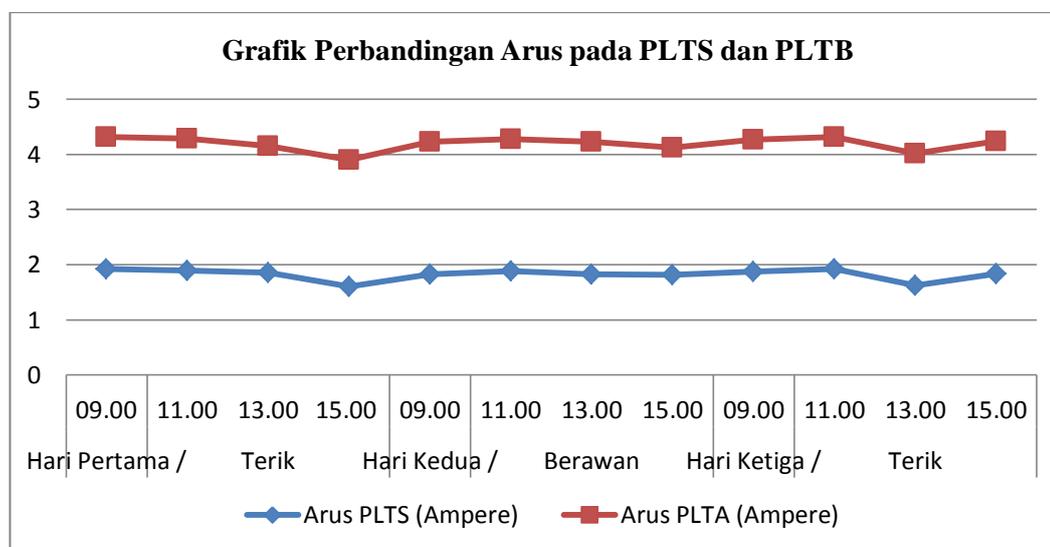
**Gambar 4. 3 Grafik perbandingan tegangan pada PLTS dan PLTB**

#### 4.4 Hasil perbandingan arus pada pembangkit listrik tenaga bayu dan pembangkit listrik tenaga surya.

Adapun hasil perbandingan Arus pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel data dan grafik percobaan dibawah ini :

Tabel 4.4. Hasil perbandingan arus pada pembangkit listrik tenaga angin dan pembangkit listrik tenaga surya.

Hari / Kondisi Cuaca	Waktu Pengujian	Arus PLTS (Ampere)	Arus PLTB (Ampere)
Hari Pertama / Terik	09.00	1,92	2,4
	11.00	1,89	2,4
	13.00	1,85	2,3
	15.00	1,60	2,3
Hari Kedua / Berawan	09.00	1,83	2,4
	11.00	1,88	2,4
	13.00	1,83	2,4
	15.00	1,82	2,3
Hari Ketiga / Terik	09.00	1,87	2,4
	11.00	1,92	2,4
	13.00	1,62	2,4
	15.00	1,84	2,4



**Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Arus pada PLTS dan PLTB**

Pada Grafik 4.5 diatas dapat dilihat bahwa perbandingan tegangan yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga surya lebih kecil dari pembangkit listrik tenaga bayu yang dibandingkan. Sedangkan pada Grafik 4.5 dapat dilihat bahwa perbandingan arus yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga angin lebih besar dari pembangkit listrik tenaga surya yang dibandingkan.

#### **4.5 Menentukan tegangan dan arus rata-rata yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga surya.**

Dari data-data pada tabel diatas dibuatlah perhitungan tegangan rata-rata yang dihasilkan pembangkit listrik tenaga surya adalah :

$$V_{\text{rata-rata}} = \frac{V_{\text{Total}}}{n}$$

Maka

$$V_{\text{rata-rata}} = \frac{229,76}{12} = 19,1 \text{ Volt}$$

Tegangan rata-rata yang dihasilkan pembangkit listrik tenaga angin adalah :

$$V_{\text{rata-rata}} = \frac{V_{\text{Total}}}{n}$$

Maka

$$V_{\text{rata-rata}} = \frac{50}{12} = 4,2 \text{ Volt}$$

Tegangan rata-rata yang dihasilkan oleh PLTS sebesar 19,1 Volt Sedangkan tegangan rata-rata pada PLTA adalah 4,2 Volt

Sedangan pada Arus rata-rata yang dihasilkan pembangkit listrik tenaga angin adalah :

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{I_{\text{Total}}}{n}$$

Maka

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{21,87}{12} = 1,82 \text{ Amper}$$

Tegangan rata-rata yang dihasilkan pembangkit listrik tenaga angin adalah :

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{I_{\text{Total}}}{n}$$

Maka

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{28,5}{12} = 2,4 \text{ Amper}$$

Arus rata-rata yang dihasilkan oleh PLTS sebesar 1,82 Amper sedangkan arus rata-rata pada PLTB adalah 2,4 Amper

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan perhitungan dan analisis data yang dilakukan pada Tugas Akhir ini, maka penulis mengambil beberapa kesimpulan bahwa:

1. Pada hasil yang telah diperoleh dari penelitian ini dapat diketahui bahwa pembangkit listrik tenaga angin lebih besar menghasilkan arus dan tegangan di bandingkan pembangkit listrik tenaga surya. Pada pukul 11.00 di hari ketiga pembangkit listrik tenaga surya hanya menghasilkan arus sebesar 1.92 ampere di bandingkan dengan pembangkit listrik tenaga angin pada pukul 11.00 mampu menghasilkan arus sebesar 2.4 ampere dengan kecepatan angin 2.3 m/d.
2. Perbandingan daya output yang di hasilkan pada penelitian kali ini terlihat sangat jelas data yang dituangkan pada bab IV. Arus rata – rata yang di hasilkan oleh pembangkit listrik tenaga surya hanya sebesar 1.82 ampere sedangkan arus rata-rata yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga angin mencapai 2.4 ampere.

#### **5.2 Saran**

Untuk pengembangan tugas akhir ini dapat di kaji lebih rinci lagi tentang sistem pembangkit listrik tenaga surya dan pembangkit listrik tenaga angin dan agar bisa mendapatkan hasil yang efisien dan lebih maksimal. Di harapkan penelitian seperti ini bisa mendapatkan dukungan dari partisipasi dan berbagai pihak yang lebih kompeten di bidang nya.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Teknik and E. Fakultas, “Analisis pengaruh penambahan reflector terhadap tegangan keluaran modul solar cell publikasi ilmiah,” 2016.
- [2] M. Jurusan *et al.*, “Analisis Perbandingan Output Daya Listrik Panel Surya Sistem Tracking Dengan Solar Reflector”
- [3] S. Ilyas *et al.*, “Peningkatan Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dengan Reflektor Parabola,” vol. 14, pp. 67–80, 2017.
- [4] A. E. Febtiwiyanti and S. Sidopekso, “Studi Peningkatan Output Modul Surya dengan menggunakan Reflektor,” *J. Fis. dan Apl.*, vol. 6, no. 2, p. 100202, 2016.
- [5] R. A. Nugroho and M. Facta, “Memaksimalkan Daya Keluaran Sel Surya Dengan Menggunakan Cermin Pemantul Sinar Matahari ( Reflector ),” *Transient*, vol. 3, no. 3, pp. 409–411, 2014.
- [6] M. Sucipta, F. Ahmad, and K. Astawa, “Analisis Performa Modul Solar Cell Dengan Penambahan Reflector Cermin Datar,” no. Snttm Xiv, pp. 7–8, 2015.
- [7] “Plts Sebagai Salah Satu Energi Alternatif Soehardi,” no. 71.
- [8] Rusman, “Pengaruh Variasi Beban Terhadap Efisiensi Solar Cell,” *Turbo*, vol. 4, no. 2, p. 84, 2015.
- [9] K. Ali, “Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sebagai Sumber Listrik Pada Shelter Di Masjid Muhajirin Pasir Putih Tabing Padang,” 2016.
- [10] M. Irwansyah, D. Istardi, and M. Sc, “Pompa Air Aquarium Menggunakan Solar Panel,” vol. 5, no. 1, pp. 85–90, 2013.
- [11] “Karakterisasi Panel Surya Model Sr-156p-100 Berdasarkan Intensitas Cahaya Matahari Pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung
- [12] D. F. Alifyanti, J. M. Tambunan, J. T. Elektro, and J. T. Elektro, “1) 2) 1) 2),” vol. 1, no. 1, pp. 79–95.
- [13] A. T. Soelistio, “Paper Pembangkit Listrik Tenaga Surya ( PLTS ).”
- [14] S. Yuliananda, G. Sarya, F. Teknik, and F. Teknik, “Pengaruh perubahan intensitas matahari terhadap daya keluaran panel surya,” vol. 01, no. 02, pp. 193–202, 2015.
- [15] V. Yumanda, “Pengaruh Penggunaan Cermin Datar dalam Ruang Tertutup pada Sel Surya Silikon,” vol. 1, no. 3, pp. 1–4, 2010.