

## **TUGAS AKHIR**

# **ANALISA PERBANDINGAN ARUS DAN TEGANGAN PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN DAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik Elektro Pada Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

**Disusun Oleh :**

**MUHAMMAD MURDANI**

**1507220037**



# **UMSU**

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2019**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : MUHAMMAD MURDANI  
NPM : 1507220037  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Skripsi : Analisa Perbandingan Arus dan Tegangan pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya

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, 21 Maret 2019

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji



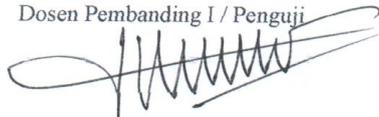
Partoanan Harahap, S.T., M.T

Dosen Pembimbing II / Peguji



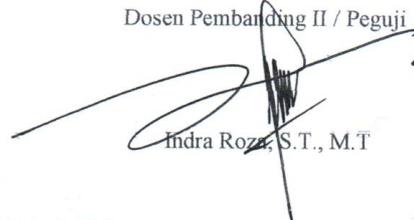
Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T

Dosen Pembanding I / Penguji



Zulfikar, S.T., M.T

Dosen Pembanding II / Peguji



Indra Rozza, S.T., M.T



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 MURDANI  
Tempat /Tanggal Lahir : Silo Bonto/21 April 1997  
NPM : 1507220037  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Elektro

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

**“Analisa Perbandingan Arus dan Tegangan pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya”,**

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 Elektro/Mesin/Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 21 Maret 2019



Saya yang menyatakan,

MUHAMMAD MURDANI

## **ABSTRAK**

*Permintaan energi akan listrik tumbuh dengan rata-rata mencapai 6,5% setiap tahun sampai pada tahun 2020. Kondisi tersebut akan menimbulkan masalah jika dalam penyediaan energi listrik lebih kecil dari kapasitas yang dibutuhkan. Pemanfaatan pembangkit dengan energi primer yang bersifat terbarukan memiliki posisi yang sangat penting dalam mengatasi permasalahan kekurangan energi listrik, Selain itu penggunaan energi terbarukan, dalam hal ini kincir angin dan panel surya merupakan jenis pembangkit listrik yang ramah lingkungan dan tidak menimbulkan polusi udara, suara seperti pada pembangkit konvensional, seperti pembangkit listrik tenaga uap. Dalam hal ini telah banyak penelitian mengenai pembangkit energi listrik dengan memanfaatkan energi angin dan panas matahari. Perbandingan besaran arus dan tegangan yang dihasilkan oleh kedua pembangkit energi listrik ini merupakan tujuan dari penelitian ini. Penelitian ini menggunakan generator dc dengan kapasitas 12Vdc, panel surya kapasitas 20 Wattpeak, controller 12/24 Vdc kapasitas 60 A, inverter kapasitas 500 watt, dan lampu Led 5 watt. Selama pengujian didapatkan hasil tegangan rata-rata yang dibangkitkan oleh generator dc sebesar 4,4Vdc dan arus rata-rata sebesar 2,3Adc. Sedangkan hasil tegangan rata-rata yang dibangkitkan oleh panel surya sebesar 20,2Vdc dan arus rata-rata sebesar 1,24Adc.*

**Kata kunci :** Energi terbarukan; Kincir angin; Panel surya; Perbandingan hasil.

## **KATA PENGANTAR**

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisa Perbandingan Arus dan Tegangan pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Partaonan Harahap, ST, MT selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, ST, MT, selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Sekaligus sebagai Ketua Prodi Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Zulfikar, S.T, MT, selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Dosen Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

4. Bapak Indra Roza, ST, MT, selaku Dosen Pembanding II dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Dosen Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Munawar Alfansury Siregar, ST, MT selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ketekniksipilan kepada penulis.
7. Orang tua penulis: Anto dan Juniati, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.
8. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Sahabat-sahabat penulis: Irwansyah, Dedi Setiawan, Purnomo, Imam Rizki dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi teknik Elektro/sipil/Mesin.

Medan, 21 Maret 2019

MUHAMMAD MURDANI

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>x</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Batasan masalah	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.6. Sistematika Penyusunan	4
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>6</b>
2.1. Tinjauan Pustaka Relevan	6
2.2. Teori Dasar	7
2.1 Energi Angin	7
2.2 Energi Kinetik Angin	8
2.3 Turbin Angin	10
2.4 Prinsip Kerja dan Kontruksi Turbin Angin	11
2.5 Jenis Turbin Angin	13
2.2.5.1 Turbin Angin Sumbu Horizontal	13
2.2.5.2 Turbin Angin Sumbu Vertikal	14
2.2.6 Efisiensi Rotor	15
2.2.7 Diameter Rotor	16
2.2.8 Tip Speed Ratio	17
2.3. Modifikasi Kincir Angin	18
2.4. Kelebihan dan Kekurangan Turbin Angin Sebagai PLTA	21
2.5. Generator Arus Searah (DC)	25
2.6 Karakteristik Generator DC Penguatan Kompon dan Efisiensi Generator DC	25
2.7 Energi Surya	27
2.8 Sel Surya	29
2.9 Jenis-jenis Sel Surya	30
2.10 Energi Listrik	32
2.11 Faktor Pengoperasian Sel Surya	33

2.12	Arus dan Tegangan	34
2.13	Daya Listrik	36
2.14	Struktur Sel Surya	37
2.15	Solar Charger Controler	39
2.16	Baterai Sebagai Penyimpan Energi	40
2.17	Inverter DC ke AC	40
<b>BAB 3</b>	<b>METODOLOGI PENELITIAN</b>	<b>43</b>
3.1	Waktu dan Tempat	43
3.1.1	Waktu	43
3.1.2	Tempat	43
3.2	Peralatan dan Bahan	43
3.2.1	Peralatan	44
3.2.2	Bahan Penelitian	44
3.3	Tahapan Percobaan	45
3.4	Diagram Blok Alat	46
3.5	Diagram Alur Penelitian	47
<b>BAB 4</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>50</b>
4.1	Hasil Pengukuran Pembangkit Listrik Tenaga Angin	50
4.2	Hasil Pengukuran Pembangkit Listrik Tenaga Surya	52
4.3	Hasil Perbandingan Arus dan Tegangan Pada PLTA dan PLTS	54
4.4	Menentukan Tegangan dan Arus rata-rata yang dihasilkan Pembangkit Listrik Tenaga Angin	55
4.5	Menentukan Tegangan dan Arus rata-rata yang dihasilkan Pembangkit Listrik Tenaga Surya	56
4.6	Menentukan Daya Listrik yang dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Angin	57
4.7	Menentukan Daya Listrik yang dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Surya	58
4.8	Optimalisasi perbandingan hasil prototype Pembangkit Listrik Tenaga Angin dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya	60
<b>BAB 5</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>62</b>
5.1.	Kesimpulan	62
5.2.	Saran	63
	<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>64</b>
	<b>LAMPIRAN</b>	<b>66</b>
	<b>LEMBAR ASISTENSI</b>	<b>67</b>



## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
4.1. Hasil Pengukuran Pembangkit Listrik Tenaga Angin	51
4.2. Hasil Pengukuran Pembangkit Listrik Tenaga Surya	52
4.3. Hasil perbandingan arus dan tegangan pada pembangkit listrik tenaga angin dan pembangkit listrik tenaga surya	54

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1. Teori momentum dengan mempertimbangkan bangun rotor berputar	8
2.2. Struktur turbin/kincir angin	12
2.3. Prinsip kerja PLTB	13
2.4. Turbin angin sumbu horizontal	14
2.5. Turbin angin sumbu vertikal	15
2.6. Efisiensi rotor dan soliditas rotor	15
2.7. Efisiensi rotor untuk berbagai tipe turbin angin	16
2.8. Variasi tip speed ratio dan koefisien daya pada berbagai jenis turbin angin	18
2.9. Karakteristik berbeban generator kompon secara teoritis	26
2.10. Diagram aliran daya generator dc	26
2.11. Grafik distribusi penyinaran di Indonesia	28
2.12. Potensi solar energi di Indonesia	29
2.13. Skema sistem solar fhotovoltaic	30
2.14. Monokristal (mono-crystalline)	31
2.15. Polikristal (poly-crystalline)	31
2.16. Thin film photovoltaic	32
2.17. Struktur sel surya	37
3.1. Diagram blok pltb	46
3.2. Diagram blok plts	46
3.3. Diagram alur penelitian	49
4.1. Grafik pengaruh kecepatan angin terhadap tegangan keluaran generator dc	51
4.2. Grafik pengaruh kecepatan angin terhadap arus keluaran generator dc	52
4.3. Grafik pengaruh intensitas cahaya terhadap tegangan keluaran panel surya	53

4.4. Grafik pengaruh intensitas cahaya terhadap arus keluaran panel surya	53
4.5. Grafik perbandingan arus pada pembangkit listrik tenaga angin dan pembangkit listrik tenaga surya	54
4.6. Grafik perbandingan tegangan yang dihasilkan pembangkit listrik tenaga angin dan pembangkit listrik tenaga surya	55

61

4.7. Grafik perbandingan tegangan pada PLTB dan PLTS	62
4.8. Grafik perbandingan daya listrik yang dihasilkan PLTB dan PLTS	64

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang Masalah**

Permintaan energi listrik akan tumbuh dengan rerata mencapai 6,5% setiap tahun sampai pada tahun 2020. Kondisi tersebut dapat terlihat dari data konsumsi setiap tahun selalu mengalami peningkatan sejalan dengan pertumbuhan ekonomi nasional. Penggunaan energi listrik di Indonesia terus mengalami peningkatan, kondisi tersebut akan menimbulkan masalah jika dalam penyediaan energi listrik lebih kecil dari kapasitas yang dibutuhkan. Kebijakan yang diambil PLN (Perusahaan Listrik Negara) yang memiliki tanggung jawab dalam hal menyediakan energi listrik semakin menunjukkan bahwa energi listrik yang disediakan oleh PLN hanya memiliki kelebihan sekitar 3 GW. Jika PLN tidak segera menambah atau membangun pembangkit baru maka akan berdampak terhadap pelayanan energy listrik kepada konsumen, hal ini dapat mempengaruhi pertumbuhan ekonomi mengingat energi listrik merupakan kebutuhan vital dalam menjalankan kegiatan industri besar, menengah, maupun industri kecil dan sebagian peralatan rumah tangga.

Pemanfaatan pembangkit dengan energi primer yang bersifat terbarukan memiliki posisi yang sangat penting dalam mengatasi permasalahan kekurangan energi listrik, karena potensi energi terbarukan keberadaanya sangat besar sekali atau tidak terbatas. Selain itu penggunaan energi terbarukan, dalam hal ini kincir angin dan panel surya merupakan jenis pembangkit listrik yang ramah lingkungan

dan tidak menimbulkan polusi udara, suara seperti pada pembangkit konvensional, seperti pembangkit listrik tenaga uap [1].

Dalam hal ini telah banyak penelitian mengenai pembangkit energi listrik dengan memanfaatkan energi angin dan panas matahari. Diantaranya penelitian pembangkit listrik tenaga angin dengan turbin ventilator sebagai penggerak generator yang mampu berputar dengan kecepatan angin minimal 2 m/s. Energi listrik yang dihasilkan dengan kecepatan angin 6 m/s adalah 0,13 Ampere dengan tegangan 7,46 Volt. Dan penelitian pengujian modul surya (photovoltaic) terlihat bahwa hasil daya keluaran rata-rata mencapai 38,24 watt, arus yang didapatkan sebesar 2,49 ampere, dan tegangan rata-rata rangkaian terbuka 18,27 Volt.

Dari uraian tersebut di atas maka mendorong penulis untuk mencoba **Menganalisa Perbandingan Arus dan Tegangan pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya**. Yang mana nantinya hasil dari penelitian ini dapat dijadikan kajian dalam menentukan perencanaan pembuatan pembangkit energi listrik alternatif yang lebih baik dan efektif.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Berapa keluaran arus yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga angin dan Pembangkit listrik tenaga surya.
2. Berapa keluaran tegangan yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga angin dan pembangkit listrik tenaga surya.
3. Manakah pembangkit energi listrik yang paling optimal dan efisien dalam menghasilkan energi listrik.

### **1.3 Tujuan Penelitian.**

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui berapa keluaran arus yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga angin dan pembangkit listrik tenaga surya.
2. Untuk mengetahui berapa tegangan yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga angin dan pembangkit listrik tenaga surya.
3. Untuk mengetahui pembangkit energi listrik yang paling optimal dan efisien dalam menghasilkan energi listrik.

### **1.4 Batasan Masalah.**

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Pengukuran keluaran arus yang dihasilkan Pembangkit Listrik Tenaga Angin dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya.
2. Pengukuran Tegangan yang dihasilkan Pembangkit Listrik Tenaga Angin dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya.
3. Membandingkan Pembangkit Listrik Tenaga Angin dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya.

### **1.5 Manfaat Penelitian.**

Pembuatan pembangkit listrik tenaga angin dan pembangkit listrik tenaga surya dapat digunakan sebagai pensuplai tambahan energi listrik yang kemudian diterapkan disuatu daerah yang berpotensi memiliki angin dan sinar matahari yang baik.

Adapun manfaat penelitian ini adalah :

1. Memberikan solusi terhadap masalah penyediaan energi yang ramah lingkungan.
2. Hasil dari penelitian ini dapat dijadikan referensi bagi mahasiswa yang melakukan kajian terhadap penelitian yang sama.

## **1.6 Sistematika Penyusunan**

Untuk memperoleh gambaran tentang isi tugas akhir ini maka akan dikemukakan sistematika penulisan sebagai berikut :

### **BAB 1 PENDAHULUAN**

Dalam bab ini penulis menguraikan Latar Belakang Pemilihan Judul, Perumusan Masalah, Batasan Masalah, Tujuan Penelitian, Manfaat Penelitian, dan Sistematika Penulisan.

### **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

Dalam bab ini penulis menguraikan penjelasan yang terdiri dari landasan teori relevan, teori – teori mengenai energi angin, turbin angin, sel surya dan penjelasan – penjelasan lainnya yang berkaitan dengan pembahasan di bab 2 ini.

### **BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN**

Dalam bab ini akan menerangkan mengenai Alat, bahan dan lokasi dilakukan penelitian, pengujian alat, jadwal pengujian, serta jalannya alat.

### **BAB 4 ANALISA DAN HASIL PEMBAHASAN**

Dalam bab ini membahas analisa dan hasil pembahasan dalam penelitian ini.

## BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam bab ini memuat tentang kesimpulan dari seluruh hasil pengujian tegangan dan arus yang dihasilkan PLTA dan PLTS, serta saran-saran yang berhubungan dengan tugas akhir.

## DAFTAR PUSTAKA

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka Relevan**

Penelitian mengenai PLTA dilakukan oleh Andini (2018) melakukan penelitian tentang Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Generator Drillini Terhadap Empat Sumbu Horizontal. Dari hasil penelitian satu kincir angin diperoleh Tegangan 0,76 Volt dengan kecepatan Kincir angin High. Kemudian dilakukan penelitian dengan menambah empat kincir angin dihubungkan secara seri yang bertujuan untuk menambah tegangan yang dicapai. Hasil pengukuran dari empat buah kincir angin menghasilkan Tegangan sebesar 2,46 Volt dengan kecepatan kipas angin High.

Penelitian selanjutnya oleh Made Padmika, I Made Satriya Wibawa & Ni Lu Putu Trisnawati (2017).Melakukan penelitian tentang Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin Dengan Menggunakan Turbin Ventilator sebagai Penggerak Generator yang memanfaatkan kecepatan angin sebagai penggeraknya.Dari hasil penelitian yang dilakukan menghasilkan tegangan dc antara 0 sampai dengan 7,46 Volt. Kecepatan angin yang dipakai dari kecepatan angin 0 m/s sampai dengan 6 m/s. Keluaran maksimal alat ini dari kecepatan angin 6 m/s adalah 7,46 Volt.

Kemudian penelitian mengenai PLTS dilakukan oleh Bambang Hari Purwoto, Jatmiko, Muhammad Aliful, Ilham Fahmi Huda (2018).Melakukan penelitian tentang Efisiensi Penggunaan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Alternatif.Penelitian ini bertujuan memberikan gambaran yang jelas mengenai

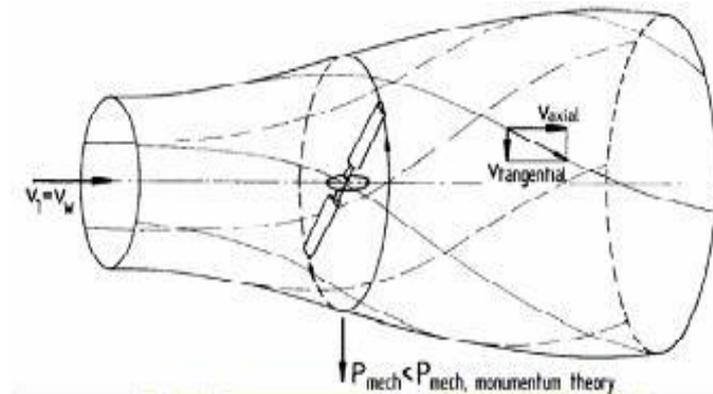
efisiensi penggunaan Panel Surya sebagai sumber energi alternatif jika dibandingkan dengan penggunaan generator/genset sebagai sumber energi untuk peralatan listrik. Dalam penelitian ini digunakan Panel Surya dengan kapasitas 100 WP, kemudian disimpan dalam baterai berkapasitas 12 Volt 70 Ah. Menggunakan inverter berkapasitas 2000 Watt untuk mengubah tegangan DC 12 Volt ke AC 220 Volt, yang kemudian akan digunakan sebagai sumber energi listrik untuk peralatan listrik berupa blender dan lampu listrik.

## **2.2 Teori Dasar**

### **2.2.1 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 [2].

Aplikasi dari momentum dan energi diperlihatkan pada gambar berikut :



**Gambar 2.1** : Teori Momentum dengan mempertimbangkan Bangun Rotor Berputar.

Sumber : ( Firman Aryanto, 2013).

### 2.2.2 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 [5] :

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \dots\dots\dots(2.1)$$

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 :

$$m = A \cdot v \cdot \rho \dots\dots\dots(2.2)$$

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 (2.1) dan (2.2) dapat dihitung besar daya yang dihasilkan energi angin yaitu :

$$P = \frac{1}{2}A \cdot v^3 \cdot \rho \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

P : Daya yaitu energi per satuan waktu (watt)

A : Luas Penampang ( $m^2$ )

v : Kecepatan Angin (m/det)

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

### 2.2.3 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.

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 :

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \cdot C_p \cdot A \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana :

- P : Daya (watt)
- $\rho$  : Kerapatan udara ( $\text{kg/m}^3$ )
- v : Kecepatan angin (m/s)
- $C_p$  : Power constant
- A : Jari-jari (m)

$C_p$  (Power Constant) merupakan besaran yang dimiliki oleh motor dan berbeda-beda setiap tipe yang berbeda.  $C_p$  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  $C_p$  yang besar untuk turbin angin, maka daya yang akan dihasilkan akan lebih besar bila dibandingkan dengan generator yang memiliki nilai  $C_p$  yang lebih rendah [6].

#### **2.2.4 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..

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 sudu. Semakin besar diameter, maka daya yang dihasilkan semakin besar.



**Gambar 2.2** :Struktur turbin/kincir angin.

Sumber : (Widyanto, 2018).

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.



**Gambar 2.3** :Prinsip kerja PLTB.

Sumber : (Widyanto, 2018).

### 2.2.5 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 :

#### 2.2.5.1 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 2.4** :Turbin Angin Sumbu Horizontal.

Sumber : (Widyanto, 2018).

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 :[2].

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 \text{ (m}^2\text{)} \dots\dots\dots(2.5)$$

### 2.2.5.2 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 [7].

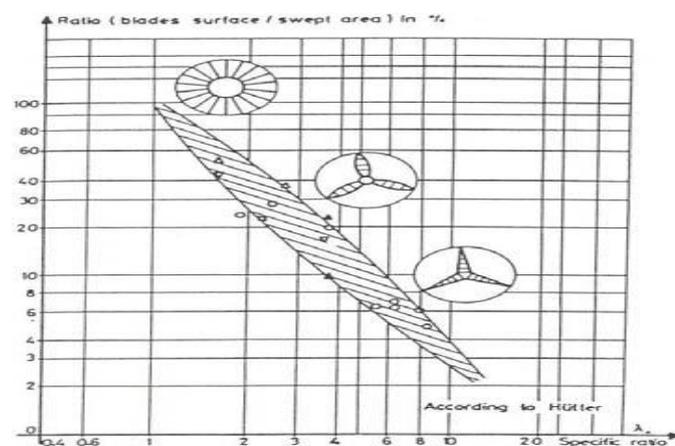


**Gambar 2.5** :Turbin Angin Sumbu Vertikal.

Sumber : (Widyanto, 2018).

### 2.2.6 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.

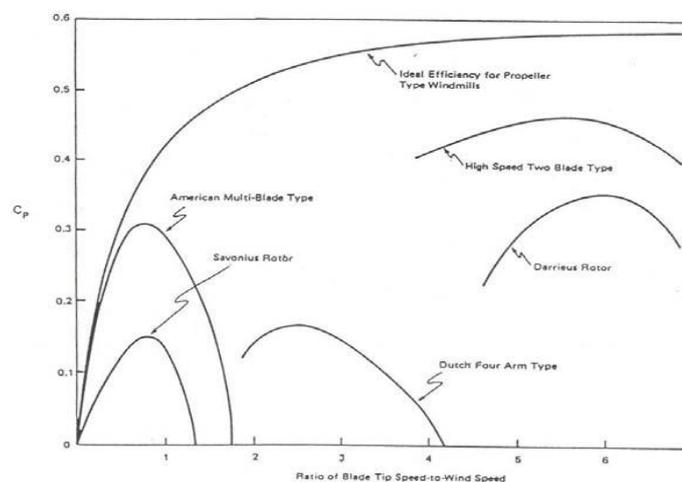


**Gambar 2.6** : Efisiensi rotor dan soliditas rotor.

Sumber : (Y. Daryanto, 2007).

Gambar 2.6 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.

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 2.7 :** Efisiensi rotor untuk berbagai tipe turbin angin.

Sumber : (Y. Daryanto, 2007).

### 2.2.7 Diameter Rotor

Diameter rotor ditentukan berdasarkan pemenuhan kebutuhan energi oleh angin yang tersedia, baik itu untuk kegunaan mekanikal maupun elektrikal, 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.

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.

### 2.2.8 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.

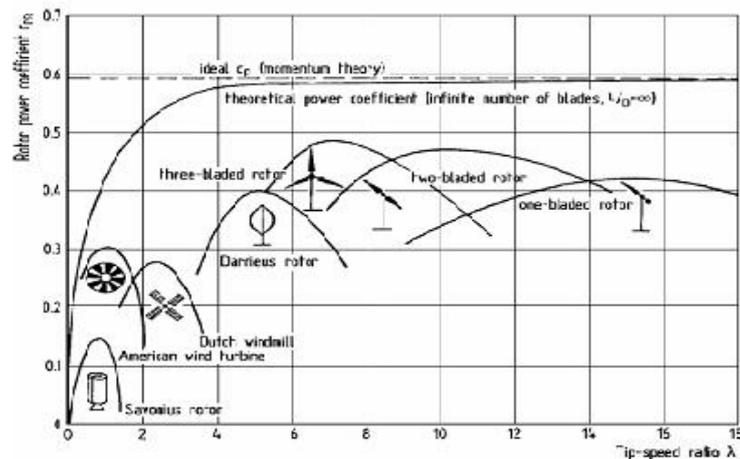
Tip speed ratio dihitung dengan persamaan :

$$\lambda = \frac{2 \pi n r}{60.v} \dots\dots\dots(2.6)$$

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.



**Gambar 2.8** :Variasi tip speed ratio dan koefisien daya pada berbagai jenis turbin angin.

Sumber : (Firman Aryanto, 2013).

### 2.3 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:

#### 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 sudu tidak dapat

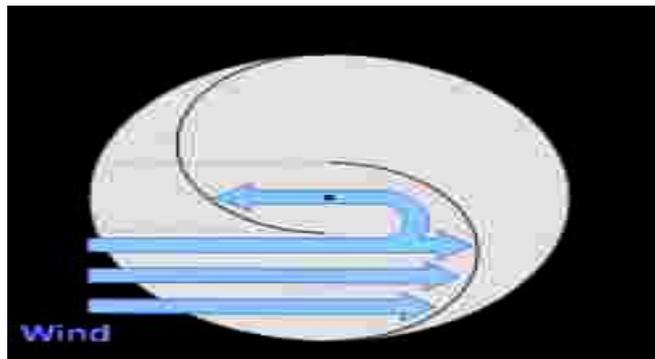
melebihi kecepatan angin yang melaluinya. Pada dasarnya savonius dua bucket memilikitiga variasi lagi yakni :

1) Konfigurasi Tanpa Overlap



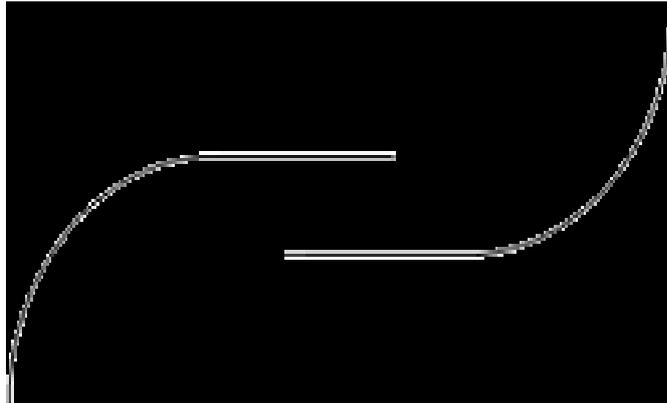
Rotor ini memiliki kekuatan yang tinggi karena letak porosnya yang tepat berada ditengah kedua bucket nya. Rotor ini memiliki efisiensi yang paling rendah.

2) Konfigurasi dengan overlap



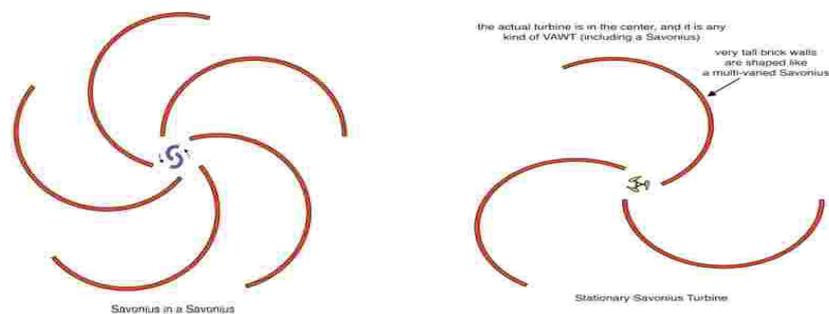
Konfigurasi rotor seperti ini sering dijumpai jenis ini memiliki celah antara bucket sehingga membuat arah angin yang dapat meningkatkan putaran dan dapat mengurangi getaran. Efisiensi pada rotor ini memiliki efisiensi yang lebih tinggi dari pada jenis konfigurasi tanpa overlap.

### 3) Konfigurasi dengan bucket didefleksi



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.

### 2. 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.

### 3. 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.

#### 2.4 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.

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.

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 sudu-sudu turbin angin dengan frekuensi konstan lebih mengganggu daripada suara angin pada ranting pohon. Selain derau dari sudu-sudu 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.

Penentuan ketinggian dari turbin angin dilakukan dengan menganalisa data turbulensi angin dan kekuatan angin. Derau aerodinamis merupakan fungsi dari banyak faktor seperti desain sudu, 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 sudu-sudu 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.

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 sudu-sudu 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.

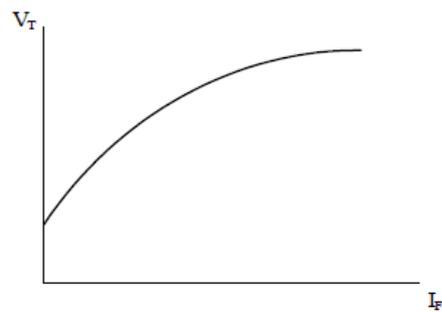
Meskipun dampak-dampak lingkungan ini menjadi ancaman dalam pembangunan pembangkit listrik tenaga angin, namun jika dibandingkan dengan penggunaan energi fosil, dampaknya masih jauh lebih kecil. Selain itu penggunaan energi angin dalam kelistrikan telah turut serta dalam mengurangi emisi gas buang.

## 2.5 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 [13].

## 2.6 Karakteristik Generator DC Penguatan Kompon dan Efisiensi Generator DC

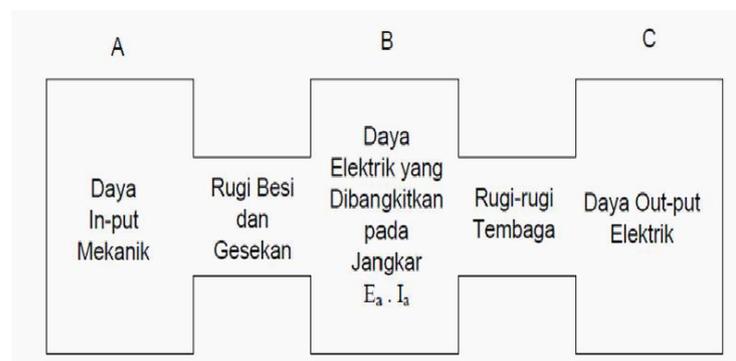
Karakteristik berbeban sebuah generator DC kompon menunjukkan bagaimana hubungan antara tegangan terminal  $V_t$  dan arus medan  $I_f$  ketika generator dibebani. Bentuk karakteristik berbeban generator DC kompon adalah mirip karakteristik generator DC shunt, tetapi letaknya agak lebih tinggi karena generator ini mempunyai lilitan penguat magnet seri.



**Gambar 2.9 :** 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 pada gambar 2.10 :



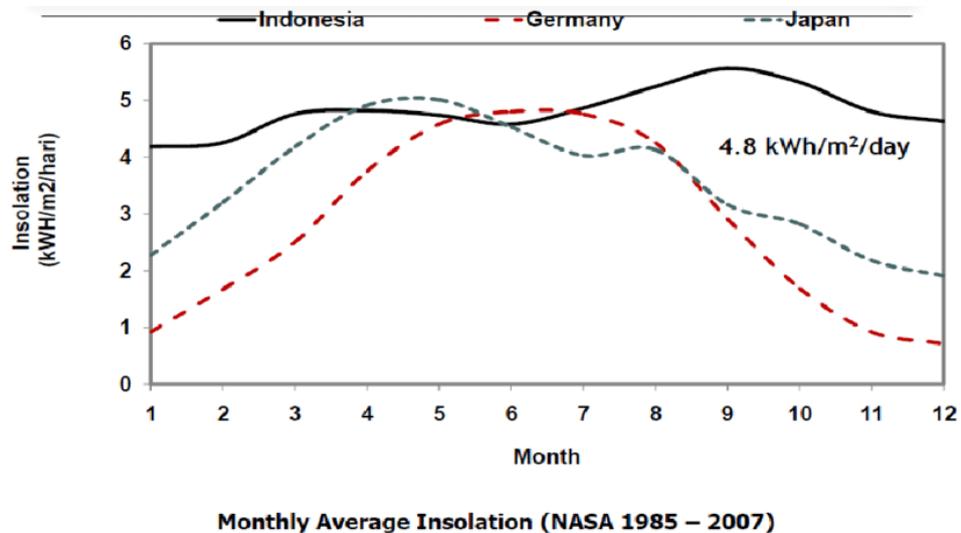
**Gambar 2.10 :** Diagram Aliran Daya Generator DC

## 2.7 Energi Surya

Energi surya merupakan salah satu energi yang sedang giat dikembangkan saat ini oleh pemerintah Indonesia karena sebagai negara teropis, Indonesia mempunyai potensi energi surya yang cukup besar. Berdasarkan data penyinaran matahari yang dihimpun dari 18 lokasi di Indonesia, radiasi surya dapat di klasifikasikan berturut-turut sebagai berikut : untuk kawasan barat dan timur Indonesia dengan distribusi penyinaran di Kawasan Barat Indonesia (KBI) sekitar 4,5 kWh/m<sup>2</sup> /hari dengan variasi bulanan sekitar 10%, dan di Kawasan Timur Indonesia (KTI) sekitar 5,1 kWh/m<sup>2</sup> /hari dengan variasi bulanan sekitar 9%. Dengan demikian, potensi penyinaran matahari rata-rata Indonesia sekitar 4,8 kWh/m<sup>2</sup> /hari dengan variasi bulanan sekitar 9%.

Matahari adalah sumber energi utama yang memancarkan energi yang luar biasa besarnya ke permukaan bumi. Pada saat keadaan cuaca cerah, permukaan bumi menerima sekitar 1000 watt energi matahari per-meter persegi. Kurang dari 30% energi tersebut dipantulkan kembali ke angkasa, 47% dikonversikan menjadi panas, 23% digunakan untuk seluruh sirkulasi kerja yang terdapat di atas permukaan bumi, sebagian kecil 0,25% ditampung angin, gelombang dan arus dan masih ada bagian yang sangat kecil 0,025% disimpan melalui proses fotosintesis didalam tumbuh-tumbuhan yang akhirnya digunakan dalam proses pembentukan batu bara dan minyak bumi (bahan bakar fosil, proses fotosintesis yang memakan jutaan tahun) yang saat ini digunakan secara ekstensi dan eksploratif bukan hanya untuk bahan bakar tetapi juga untuk bahan pembuatan plastik, formika, bahan sintesis lainnya. Sehingga dapat dikatakan bahwa sumber segala energi adalah energi surya.

Energi surya adalah sangat luar biasa karena tidak bersifat polutif, tidak dapat habis, dapat dipercaya dan tidak membeli. Kejelekan dari energi surya ini adalah sangat halus dan tidak konstan. Arus energi surya yang rendah mengakibatkan dipakainya sistem dan kolektor yang luas permukaannya besar untuk mengumpulkan dan mengkonsentrasikan energi itu. Sistem kolektor ini berharga cukup mahal dan ada masalah lagi bahwa system-system di bumi tidak dapat diharapkan akan menerima persediaan yang terus menerus dari energi surya [9].

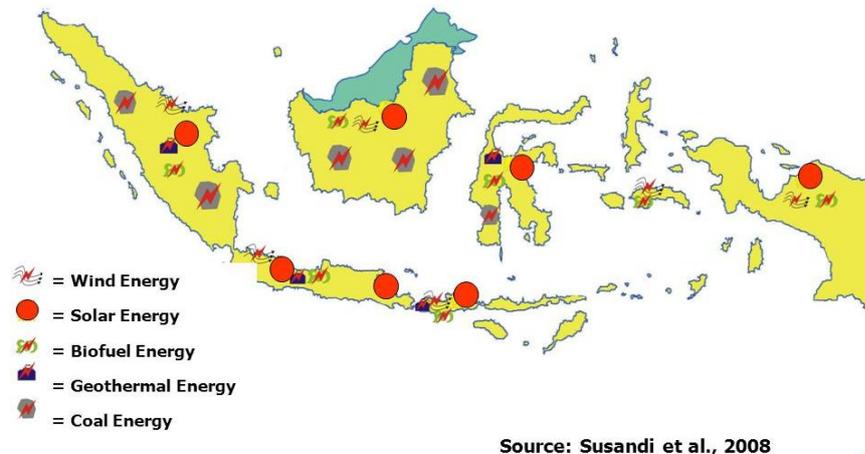


**Gambar 2.11** : Grafik Distribusi Penyinaran di Indonesia.

Sumber : (Gede Widayana, 2012).

Energi surya atau matahari telah dimanfaatkan di banyak belahan dunia dan jika dieksploitasi dengan tepat, energi ini berpotensi mampu menyediakan kebutuhan konsumsi energi dunia saat ini dalam waktu yang lebih lama. Matahari dapat digunakan secara langsung untuk memproduksi listrik atau untuk

memanaskan bahkan untuk mendinginkan. Potensi masa depan energi surya hanya dibatasi oleh keinginan kita untuk menangkap kesempatan.



**Gambar 2.12** :Potensi Solar Energi di Indonesia.

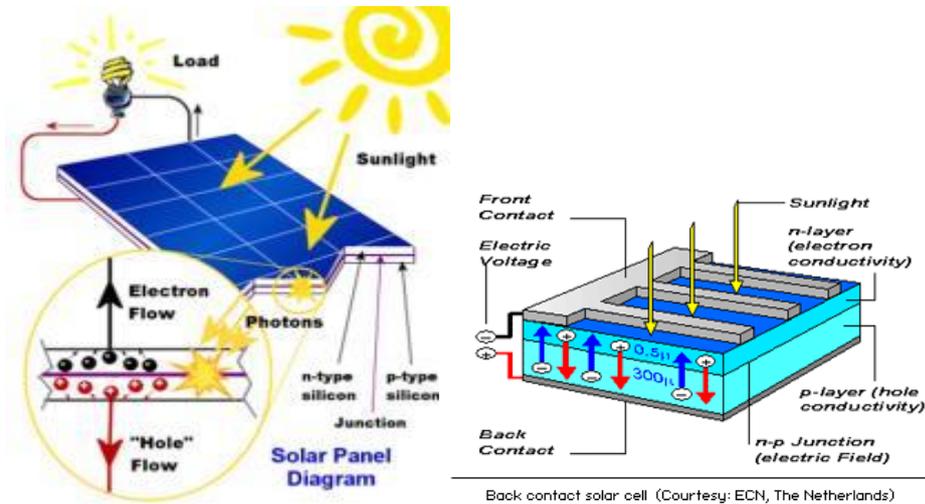
Sumber : (Gede Widayana, 2012).

## 2.8 Sel Surya

Sel surya merupakan sebuah perangkat yang mengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik dengan proses efek fotovoltaiic, oleh karenanya dinamakan juga sel fotovoltaiic (Photovoltaiic cell – disingkat PV). Tegangan listrik yang dihasilkan oleh sebuah sel surya sangat kecil, sekitar 0,6 V tanpa beban atau 0,45 V dengan beban. Untuk mendapatkan tegangan listrik yang besar sesuai keinginan diperlukan beberapa sel surya yang tersusun secara seri. jika 36 keping sel surya tersusun seri, akan menghasilkan tegangan sekitar 16 V.

Tegangan ini cukup untuk digunakan untuk mensuplai aki 12 V. Untuk mendapatkan tegangan keluaran yang lebih besar lagi maka diperlukan lebih banyak lagi sel surya. Gabungan dari beberapa sel surya ini disebut Panel Surya

atau Modul Surya. Susunan sekitar 10 – 20 atau lebih panel surya akan dapat menghasilkan arus dan tegangan tinggi yang cukup kebutuhan sehari-hari [10].



**Gambar 2.13 :** Skema Sistem Solar Fotovoltaic .

Sumber : (Gede Widayana, 2012).

## 2.9 Jenis-jenis Sel Surya

### 1. Monokristal (Mono-crystalline)

Merupakan panel yang paling efisien yang dihasilkan oleh teknologi terkini dan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Monokristal dirancang untuk penggunaan yang memerlukan konsumsi listrik besar pada tempat-tempat yang beriklim ekstrem dan dengan kondisi alam yang sangat ganas. Memiliki efisiensi sampai dengan 15%. Kelemahan dari jenis panel ini adalah tidak akan berfungsi baik ditempat yang cahaya matahari kurang (teduh), efisiensinya akan turun drastis dalam kondisi berawan [10].



**Gambar 2.14 :** Monokristal (mono-crystalline)

## 2. Polikristal (Poly-crystalline)

Merupakan panel surya yang memiliki susunan kristal acak karena dipabrikasi dengan proses pengecoran. Tipe ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama. Panel surya jenis ini memiliki efisiensi lebih rendah dibandingkan tipe monokristal, sehingga memiliki harga yang cukup mahal [10].



**Gambar 2.15 :** Polikristal (Poly-crystalline)

### 3. Thin Film Photovoltaic

Merupakan panel surya (dua lapisan) dengan struktur lapisan tipis mikrokrystal-silikon dan amorphous dengan efisiensi modul hingga 8.5% sehingga untuk luas permukaan yang diperlukan per watt daya yang dihasilkan lebih besar dari pada monokristal dan polykristal. Inovasi terbaru dari Thin Film Triple Junction Photovoltaic (dengan tiga lapisan) sangat berfungsi sangat efisien dalam udara yang sangat berawan dan dapat menghasilkan daya listrik sampai 45% lebih tinggi dari jenis panel lain dengan daya yang ditera setara [10].



**Gambar 2.16** :Thin Film Photovoltaic

#### 2.10 Energi Listrik

Sinar matahari dapat menghasilkan energi listrik (energi sinar matahari menjadi foton) 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 (I) sekitar  $30 \text{ mA/cm}^2$  per sel surya [11].

## 2.11 Faktor Pengoperasian Sel Surya

Pada pengoperasian sel surya pastinya terdapat komponen yang terjadi faktor X agar sel surya dapat beroperasi secara maksimal, faktor X tersebut adalah:

### a. Ambien Air Temperature

Sel surya dapat dapat beroperasi secara maksimal jika temperatur sel tetap normal pada 25 derajat celcius. Kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal sel surya akan melemahkan Voc.

### b. Radiasi Matahari

Radiasi matahari di bumi pada lokasi yang berbeda akan bervariasi dan sangat tergantung dengan keadaan spektrum matahari ke bumi. Insolasion matahari akan banyak berpengaruh terhadap arus ( I ) dan sedikit terhadap tegangan ( V ).

### c. Atmosfir Bumi

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

### d. Tiupan Angin

Kecepatan tiupan angin disekitar lokasi sel surya sangat membantu terhadap pendinginan temperatur permukaan sel surya sehingga temperature dapat terjaga dikisaran 25 derajat celcius.

### e. Orientasi Panel

Orientasi dari rangkaian panel kearah matahari secara optimal memiliki efek yang sangat besar untuk menghasilkan energi yang maksimum. Selain arah

orientasi sudut, orientasi (tiltangle) dari panel juga sangat mempengaruhi hasil energi yang maksimum. Untuk lokasi yang terletak di belahan utara latitude, maka panel sebaiknya diorientasikan ke selatan. Begitu juga yang letaknya di belahan selatan latitude, maka panel sebaiknya diorientasikan ke utara. Ketika panel di letakkan ke barat atau ke timur sebenarnya akan tetap menghasilkan energi, namun energi yang dihasilkan tidak akan maksimal.

#### f. Posisi Letak Sel Surya terhadap Matahari

Mempertahankan sinar matahari jatuh 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 pengaturan posisi modul surya, karena sun attitude akan berubah setiap jam dalam sehari.

### 2.12 Arus dan Tegangan

Atom ialah sebuah materi yang disusun berdasarkan partikel – partikel yang sangat kecil. Atom terdiri dalam berbagai gabungan yang terdiri dari partikel – partikel sub – atom, susunan tersebut diantaranya adalah elektron, proton, dan neutron dalam berbagai gabungan. Elektron merupakan muatan listrik negatif (-) yang paling mendasar. Elektron dalam cangkang keluar suatu atom dinamakan dengan elektron valensi.

Apabila energi kalor, cahaya, atau listrik yang merupakan energi eksternal diberikan pada materi, maka elektron valensinya akan mendapatkan energi dan bisa berpindah ketinggian energi yang lebih tinggi. Ketika energi yang diperoleh telah cukup, sebagian dari elektron valensi terluar akan meninggalkan atomnya,

sehingga statusnya berubah menjadi elektron bebas. Dalam hal ini maka gerakan elektron – elektron bebas tersebut yang akan menjadi arus listrik dalam konduktor logam. Aliran elektron biasa disebut dengan arus (I), dan memiliki satuan ampere.

Ketika sebagian atom kehilangan elektron dan sebagian lainnya memperoleh elektron akan memungkinkan terjadinya perpindahan elektron antar objek. Apabila perpindahan tersebut terjadi, distribusi muatan positif dan negatif pada setiap objek akan berbeda. Objek yang memiliki jumlah elektron yang lebih akan memiliki polaritas listrik negatif (-), sedangkan objek yang kekurangan elektron akan memiliki polaritas listrik positif (+). Besaran muatan listrik akan ditentukan oleh jumlah elektron dibandingkan dengan jumlah proton dalam suatu objek. Simbol untuk besaran muatan elektron adalah (Q) dan memiliki satuan coulomb. Besarnya muatan  $1C = 6,25 \times 10^{18}$  elektron.

Suatu muatan listrik memiliki kemampuan untuk bekerja akibat dari suatu tarikan ataupun suatu tolakan yang disebabkan oleh gaya medan elektrostatik. Kemampuan melakukan kerja ini dinamakan potensial. Satuan dasar beda potensial adalah *volt* (V). Satuan inilah yang menyebabkan beda potensial V sering dinamakan sebagai *voltage* atau tegangan. Pada suatu rangkaian terdapat suatu resistansi atau hambatan (R) oleh karena itu pada rangkaian tersebut akan muncul hukum ohm. Hukum ohm mendefinisikan hubungan antara arus (I), tegangan (V), dan resistansi atau hambatan (R) [11].

Berikut merupakan rumus persamaan dari ketiganya :

$$I = \frac{V}{R} \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan :

I : Arus (Ampere)

V : Tegangan (Volt)

R : Hambatan (Ohm)

### 2.13 Daya

Daya listrik sering diartikan sebagai laju hantaran energi listrik pada sirkuit listrik. Satuan standar internasional daya listrik adalah watt yang menyatakan banyaknya tenaga listrik yang mengalir dalam satuan waktu (joule/detik). Daya listrik dilambangkan huruf P. Pada rangkaian arus DC, daya listrik sesaat dihitung menggunakan hukum Joule. Daya pada sumber DC dinyatakan sebagai berikut [11] :

$$P = V \cdot I \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan :

P : Daya (watt)

V : Tegangan (volt)

I : Arus (ampere)

$$P(\text{rata - rata}) = \frac{P_1 + P_2 + P_n}{n}$$

Keterangan :

Prata-rata : Daya rata-rata (Watt)

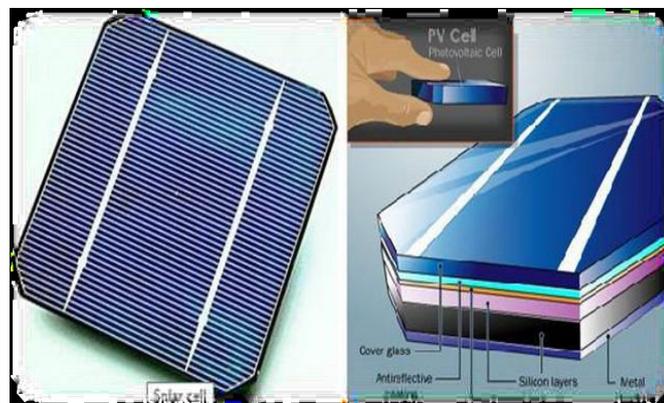
P1 : Daya pada titik pengujian ke satu

P2 : Daya pada titik pengujian ke dua

Pn : Daya pada titik pengujian ke n

## 2.14 Struktur Sel Surya

Sesuai dengan perkembangan sains & 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 (Jenis-jenis teknologi surya akan dibahas di tulisan “Sel Surya : Jenis-jenis teknologi”). Dalam tulisan ini akan dibahas struktur dan cara kerja dari sel surya yang umum berada dipasaran saat ini yaitu sel surya berbasis material silikon yang juga secara umum mencakup struktur dan cara kerja sel surya generasi pertama (sel surya silikon) dan kedua (thin film/lapisan tipis).



**Gambar 2.17** : Struktur Sel Surya.

Sumber : (Reza Fahlevi, 2014).

Ada lima tipe umum struktur panel sel surya sebagai berikut[11] :

### a. Substrat/Metal backing

Substrat adalah material yang menopang seluruh komponen sel surya. Material substrat juga harus mempunyai konduktifitas listrik yang baik karena juga berfungsi sebagai kontak terminal positif sel surya, sehingga umumnya

digunakan material metal atau logam seperti aluminium atau molybdenum. Untuk sel surya dye-sensitized (DSSC) dan sel surya organik, substrat juga berfungsi sebagai tempat masuknya cahaya sehingga material yang digunakan yaitu material yang konduktif tapi juga transparan seperti indium tin oxide (ITO) dan fluorine doped tin oxide (FTO).

#### b. Material Semi Konduktor

Material semikonduktor merupakan bagian inti dari sel surya yang biasanya mempunyai tebal sampai beberapa ratus mikrometer untuk sel surya generasi pertama (silikon), dan 1-3 mikrometer untuk sel surya lapisan tipis. Material semikonduktor inilah yang berfungsi menyerap cahaya dari sinar matahari. Untuk kasus gambar diatas, semikonduktor yang digunakan adalah material silikon, yang umum diaplikasikan di industri elektronik. Sedangkan untuk sel surya lapisan tipis, material semikonduktor yang umum digunakan dan telah masuk pasaran yaitu contohnya material  $\text{Cu(In,Ga)(S,Se)}_2$  (CIGS), CdTe (kadmium telluride), dan amorphous silikon, disamping material-material semikonduktor potensial lain yang dalam sedang dalam penelitian intensif seperti  $\text{Cu}_2\text{ZnSn(S,Se)}_4$  (CZTS) dan  $\text{Cu}_2\text{O}$  (copper oxide).

Bagian semikonduktor tersebut terdiri dari junction atau gabungan dari dua material semikonduktor yaitu semikonduktor tipe-p (material-material yang disebutkan diatas) dan tipe-n (silikon tipe-n, CdS, dll) yang membentuk p-n junction. P-n junction ini menjadi kunci dari prinsip kerja sel surya.

c. Kontak metal/contact grid

Selain substrat sebagai kontak positif, diatas sebagian besar semi konduktor biasanya di lapisikan material metal atau material konduktif transparan sebagai kontak negatif.

d. Lapisan Antireflektif

Refleksi cahaya harus diminimalisir agar mengoptimalkan cahaya yang terserap oleh semikonduktor. Oleh karena itu biasanya sel surya dilapisi oleh lapisan anti-refleksi. Material anti-refleksi ini adalah lapisan tipis material dengan besar indeks refraktif optik antara semikonduktor dan udara yang menyebabkan cahaya dibelokkan ke arah semikonduktor sehingga meminimumkan cahaya yang dipantulkan kembali.

e. Enkapsulasi/cover glass

Bagian ini berfungsi sebagai enkapsulasi untuk melindungi modul surya dari hujan atau kotoran.

## **2.15 Solar Charge Controller**

Solar Charge Controller adalah salah satu komponen di dalam sistem pembangkit listrik tenaga surya, berfungsi sebagai pengatur arus listrik baik terhadap arus yang masuk dari Panel Surya maupun arus beban keluar atau yang digunakan. Bekerja untuk menjaga baterai dari pengisian yang berlebihan.

Solar Charge Controller mengatur tegangan dan arus dari Panel Surya ke baterai. Sebagian besar Panel Surya 12 Volt menghasilkan tegangan keluaran sekitar 16 sampai 20 volt DC, jadi jika tidak ada pengaturan, baterai akan rusak dari pengisian tegangan yang berlebihan. Pada umumnya baterai 12 Volt

membutuhkan tegangan pengisian sekitar 13-14,8 volt (tergantung tipe baterai) untuk dapat terisi penuh.

### **2.16 Baterai Sebagai Penyimpan Energi**

Baterai akan di isi oleh tenaga listrik yang berasal dari sistem sel surya dan sistem energi angin. pada saat pelepasan muatan, arus searah yang berasal dari baterai akan dirubah menjadi arus bolak-balik oleh inverter dan kemudian dialirkan menuju beban. Untuk menjaga agar baterai tidak mengalami kelebihan muatan (over charge) dan kekurangan muatan (under charge) maka pengoperasian baterai dan inverter perlu diawasi dan dikontrol oleh suatu sistem kontrol.

Dalam pemilihan baterai yang akan digunakan haruslah memperhatikan hal-hal berikut ini [12] :

1. Mempunyai umur panjang (lebih dari 3 tahun).
2. Mempunyai kondisi charge yang stabil.
3. Mempunyai self discharge yang rendah.
4. Kestabilan depth of discharge (DOD)
5. Mempunyai efisiensi pengisian (chargin) yang tinggi.
6. Mudah untuk dibongkar pasang dengan menggunakan peralatan sederhana untuk keperluan transportasi ke daerah terpencil.

### **2.17 Inverter DC ke AC**

Inverter adalah rangkaian yang mengubah tegangan DC menjadi AC. Atau lebih tepatnya inverter memindahkan tegangan dari sumber DC ke beban AC.

Sumber tegangan inverter dapat berupa baterai, Panel Surya maupun sumber tegangan DC lainnya.

Berdasarkan gelombang keluaran yang dihasilkan, inverter dapat dibagi menjadi 3 macam yaitu square wave, modified sine wave, dan pure sine wave [10]:

### 1. Square Wave

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

### 2. Modified Sine Wave

Modified Sine Wave disebut juga Modified Square Wave atau Quasy Sine Wave karena gelombang modified sine wave hampir sama dengan square wave, namun pada modified sine wave outputnya menyentuh titik 0 untuk beberapa saat sebelum pindah ke positif atau negatif. Selain itu karena modified sine wave mempunyai *harmonic distortion* yang lebih sedikit dibanding *square wave* maka dapat dipakai untuk beberapa alat listrik seperti komputer, tv dan lampu. Namun tidak bisa untuk beban-beban yang lebih sensitif.

### 3. Pure Sine Wave

Pure Sine Wave atau true sine wave merupakan gelombang inverter yang hampir menyerupai gelombang sinusoida sempurna, Dengan total harmonic distortion (THD)  $< 3\%$ . Sehingga cocok untuk semua alat elektronika. Oleh sebab itu inverter ini juga disebut clean power supply. Teknologi yang digunakan

inverter jenis ini umumnya disebut pulse width modulation (PWM) yang dapat mengubah tegangan DC menjadi AC dengan bentuk gelombang yang hampir sama dengan gelombang sinusoida.

## **BAB 3**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

Prosedurpenelitiandimaksudkan agar penelitian berjalan dengan baik dan berurutan. Dengan adanya prosedur penelitian diharapkan penelitian dapat berjalan dengan lancar dan mendapatkan hasil yang maksimal.

#### **3.1 Waktu dan Tempat.**

##### **3.1.1 Waktu**

Penelitian dan pengujian arus dan tegangan pada pembangkit listrik tenaga angin dan pembangkit listrik tenaga surya dilakukan pada tanggal 15 dan 16 Januari 2019.

##### **3.1.2 Tempat**

Bertempat di Laboratorium Fakultas Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Jalan Kapten Muchtar Basri no. 3 Medan.

#### **3.2 Peralatan dan Bahan.**

Peralatan dan Bahan yang akan digunakan sebagai pendukung penelitian ini adalah sebagai berikut :

### **3.2.1 Peralatan.**

Adapun Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Anemometer. Berfungsi sebagai alat yang digunakan dalam mengukur kecepatan angin dan suhu udara.
2. Luxmeter. Berfungsi sebagai alat yang digunakan dalam mengukur intensitas cahaya matahari.
3. Multimeter. Berfungsi sebagai alat yang akan digunakan dalam mengukur Tegangan, Arus, serta Hambatan listrik.
4. Tang Ampere. Berfungsi sebagai alat yang akan digunakan dalam mengukur Tegangan, Arus, serta Hambatan tanpa harus memotong kabel listrik.
5. Tool Kit. Berisikan alat-alat pendukung seperti : Tang kombinasi, Tang potong, Tang buaya, Obeng plus minus, Tang pengupas kabel, Tang skun kabel, dan lain sebagainya.

### **3.2.2 Bahan Penelitian.**

1. PLTB dengan baling-baling berbentuk vertikal berfungsi untuk menangkap datangnya laju angin dan mengubah hembusan angin menjadi energi gerak yang akan memutar generator.
2. Generator DC berfungsi mengubah energi gerak menjadi energi listrik dalam bentuk tegangan DC yang akan mensuplai kebutuhan listrik.

3. Panel Surya yang berfungsi sebagai alat yang akan merubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip efek photovoltaic.
4. Charge Controller berfungsi sebagai alat yang mengontrol arus untuk pengisian kebaterai sehingga tidak terjadi overcharging (kelebihan pengisian daya karena baterai sudah penuh) dan kelebihan voltase dari generator dan panelsurya.
5. Baterai (aki) berfungsi sebagai alat untuk menyimpan energi listrik dalam bentuk energi kimia.
6. Inverter berfungsi sebagai alat yang akan mengubah tegangan dc menjadi tegangan ac yang akan disuplai ke beban.
7. Kabel listrik jenis NYAF 1 x 2.5 mm<sup>2</sup> berfungsi untuk menghantarkan aliran listrik dari sumber listrik menuju beban percobaan.
8. Kabel Duck sebagai tempat instalasi kabel-kabel listrik yang akan dihubungkan pada komponen.
9. Papan Triplek berfungsi sebagai tempat penempatan komponen listrik.
10. Lampu LED 5 watt sebagai beban percobaan.

### **3.3 Tahapan Percobaan**

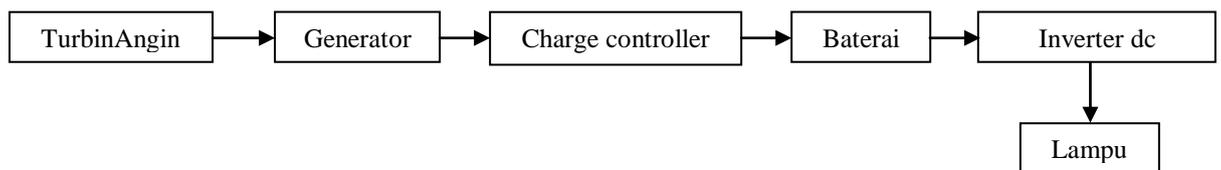
Tahap yang dilakukan pada penelitian ini adalah studi literatur, menganalisa perbandingan tegangan dan arus pada PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Angin) dan PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya).

Studi Literatur dimaksudkan untuk mempelajari berbagai sumber referensi atau teori dari (jurnal dan internet) yang berkaitan dengan menganalisa

perbandingan tegangan dan arus pada PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Angin) dan PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya).

### 3.4 Diagram Blok Alat

Diagram blok dari pembangkit listrik tenaga angin dan pembangkit listrik tenaga surya dapat dilihat pada gambar 3.1 dan 3.2 berikut :



**Gambar3.1** :Diagram Blok Pltb



**Gambar3.2** :Diagram Blok Plts.

Pada perancangan ini terdapat 5 alat utama guna menghasilkan listrik diantaranya turbin angin, solar sel, generator, rangkaian charger yang digunakan untuk mengisi sebuah aki 12 volt, dan inverter yang akan merubah tegangan dc menjadi tegangan ac yang akan disuplai pada beban percobaan.

### 3.5 Diagram Alur Penelitian

#### a. Studi literatur

Dalam studi literatur dilakukan pencarian informasi atau bahan materi baik dari internet, jurnal, maupun sumber-sumber lain yang berkaitan dengan penelitian ini. Materi tersebut diantaranya mengenai penelitian turbin angin sebagai penggerak mula generator dc yang menghasilkan energi listrik serta pembangkit listrik tenaga surya.

#### b. Persiapan peralatan

Setelah melakukan studi literatur, kemudian menyiapkan segala sesuatu yang berkaitan dengan penelitian ini. Beberapa persiapan yang dilakukan seperti turbin angin itu sendiri, solar sel, generator, charge controller, accu, inverter dan beban lampu 5 watt.

#### c. Perancangan alat

Setelah melakukan persiapan bahan-bahan maka selanjutnya melakukan perancangan pembangkit listrik tenaga angin dan pembangkit listrik tenaga surya.

#### d. Pengukuran tegangan dan arus pada masing-masing pembangkit listrik.

Pengukuran tegangan dan arus pada pembangkit listrik tenaga angin dilakukan pada tanggal 15 januari 2019. Tahap pengambilan data berjarak dua jam, untuk menentukan kecepatan angin dan suhu rata-rata, sehingga dapat diambil nilai dari pengukuran tersebut. Pengukuran tegangan dan arus pada pembangkit listrik tenaga surya dilakukan pada tanggal 16 januari 2019. Tahap pengambilan data sama dengan tahapan pertama. Lokasi percobaan ini bertempat di Laboratorium Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

e. Analisa data

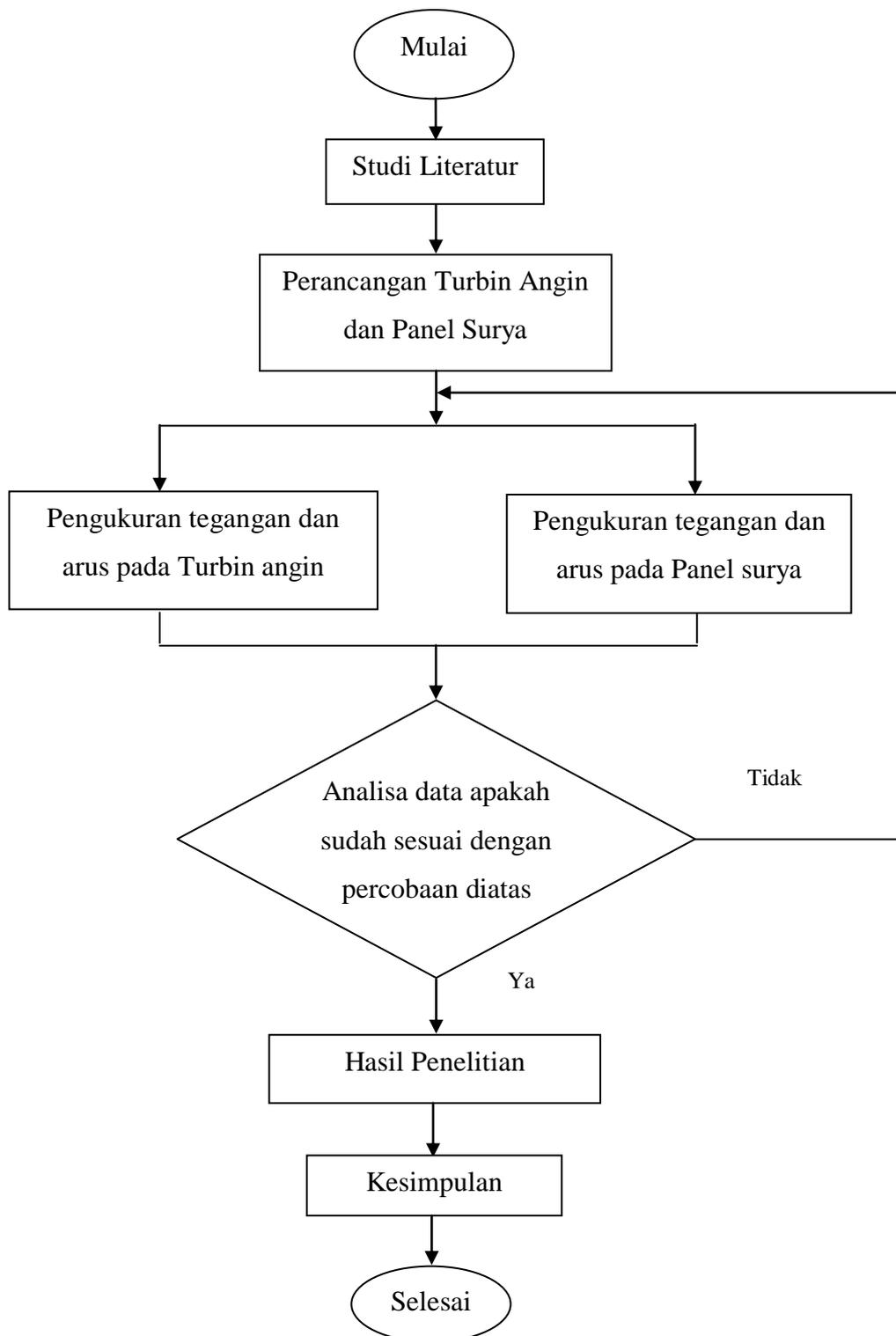
Setelah dilakukanya pengukuran tegangan dan arus pada masing-masing pembangkit energi listrik, kemudian dilakukan analisa data sehingga dapat di tentukan berapa besar tegangan, arus dan daya listrik yang dihasilkan oleh masing-masing pembangkit energi listrik.

f. Hasil Percobaan

Setelah mendapatkan hasil dari analisa data tersebut kemudian dimasukan kedalam lembar kerja berupa tabel data dan grafik perbandingan sehingga memudahkan dalam membuat suatu kesimpulan.

g. Kesimpulan

Dari data yang sudah diolah dalam bentuk tabel dapat diambil beberapa kesimpulan. Seperti berapa tegangan dan arus maksimum yang dapat dihasilkan oleh turbin angin dan berapa tegangan dan arus maksimum yang dapat dihasilkan oleh panel surya yang di peroleh dilokasi percobaan tersebut. Maka dari hasil tersebut dapat dilakukan perbandingan pembangkit energi listrik mana yang lebih baik.



**Gambar 3.3:**Diagram Alur Penelitian

## **BAB 4**

### **HASIL PENELITIAN DAN ANALISA**

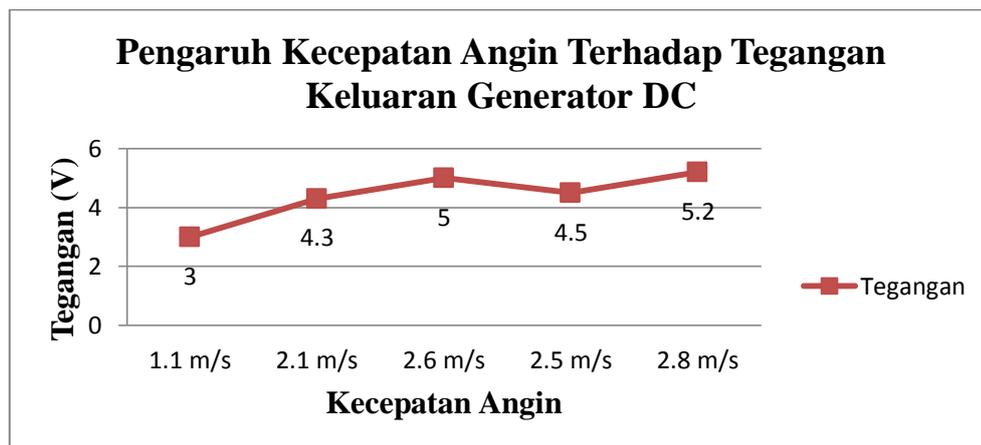
Skripsi ini bertujuan untuk melihat perbedaan hasil pengukuran yang didapat dengan menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Angin dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Perbandingan yang di lihat adalah perbandingan Arus, Tegangan, Daya listrik dan Optimalisasi Alat yang di dapat dari pengujian alat Pembangkit Listrik Tenaga Angin dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Hasil pengukuran diperoleh dengan mengamati hasil pengukuran tegangan output dan arus yang mengalir pada beban lampu yang dihasilkan dari putaran Turbin Angin. Kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran tegangan output dan arus yang mengalir pada beban yang sama yang dihasilkan dari Panel Surya. Dan melihat optimalisasi penggunaan kedua pembangkit energi listrik mana yang lebih baik dan efisien dalam menghasilkan energi listrik.

#### **4.1 Hasil pengukuran pembangkit listrik tenaga angin**

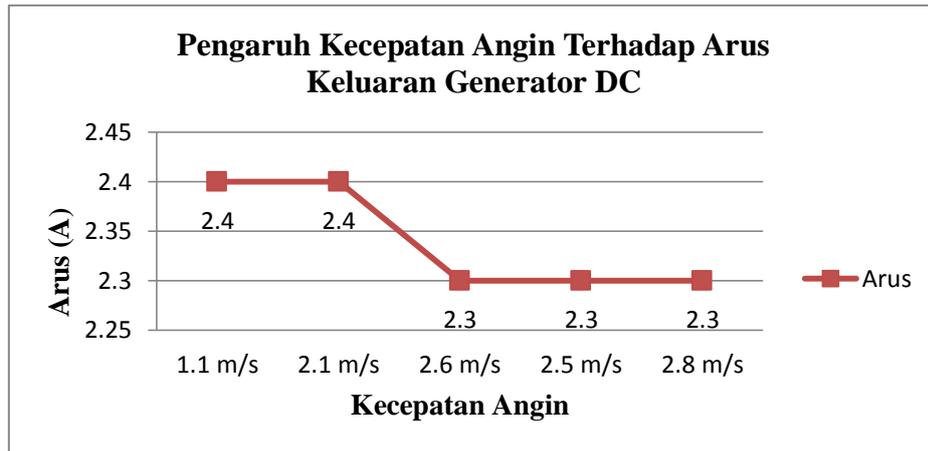
Dalam pengukuran pembangkit listrik tenaga angin membutuhkan energi angin sebagai penggerak mula turbin angin sehingga generator dapat berputar dan menghasilkan energi listrik. Data dalam pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 4.1. Dalam data ini tercantum suhu, kecepatan angin, tegangan dan arus generator dc.

Tabel 4.1. Hasil pengukuran pembangkit listrik tenaga angin

No	Waktu Percobaan	Kecepatan Angin (m/s)	Generator DC	
			Tegangan (V)	Arus (A)
1	07:00 – 09:00	1,1	3	2,4
2	09:00 – 11:00	2,1	4,3	2,4
3	11:00 – 13:00	2,6	5	2,3
4	13:00 – 15:00	2,5	4,5	2,3
5	15:00 – 17:00	2,8	5,2	2,3



**Gambar 4.1** : Grafik pengaruh kecepatan angin terhadap tegangan keluaran generator dc.



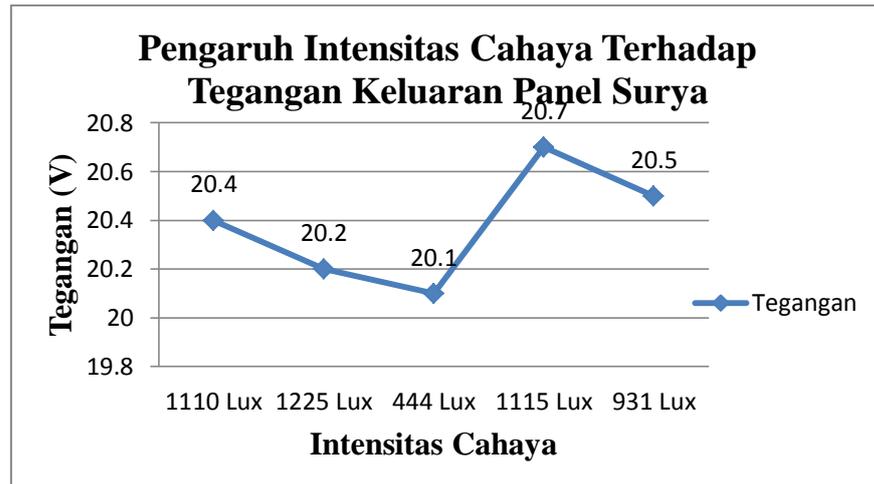
**Gambar 4.2 :** Grafik pengaruh kecepatan angin terhadap arus keluaran generator dc.

#### 4.2 Hasil pengukuran pembangkit listrik tenaga surya

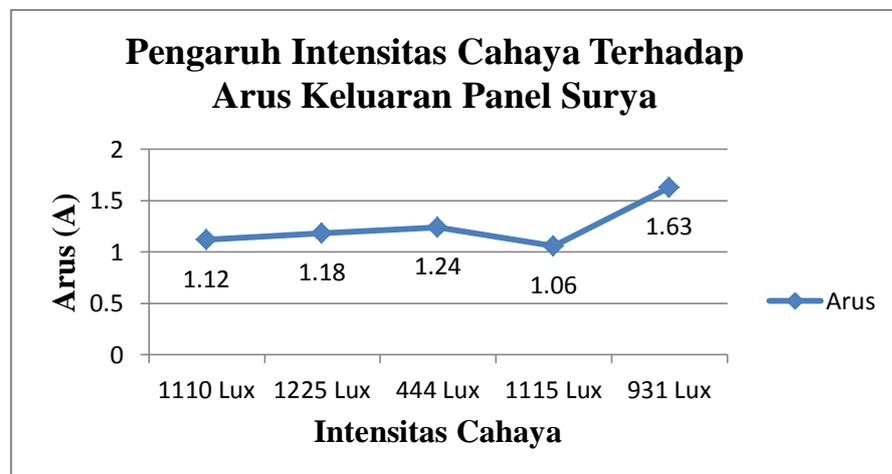
Dalam pengukuran pembangkit listrik tenaga surya membutuhkan energi sinar matahari yang akan mengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik. Data dalam percobaan ini tertera dalam Tabel 4.2. Dalam data ini tercantum suhu, intensitas cahaya, tegangan dan arus panel surya.

Tabel 4.2. Hasil pengukuran pembangkit listrik tenaga surya

No	Waktu Percobaan	Intensitas Cahaya (Lux)	Panel Surya	
			Tegangan (V)	Arus (A)
1	07:00 – 09:00	1110	20,4	1,12
2	09:00 – 11:00	1225	20,2	1,18
3	11:00 – 13:00	444	20,1	1,24
4	13:00 – 15:00	1115	20,7	1,06
5	15:00 – 17:00	931	20,5	1,63



**Gambar 4.3 :** Grafik pengaruh intensitas cahaya terhadap tegangan keluaran panel surya.



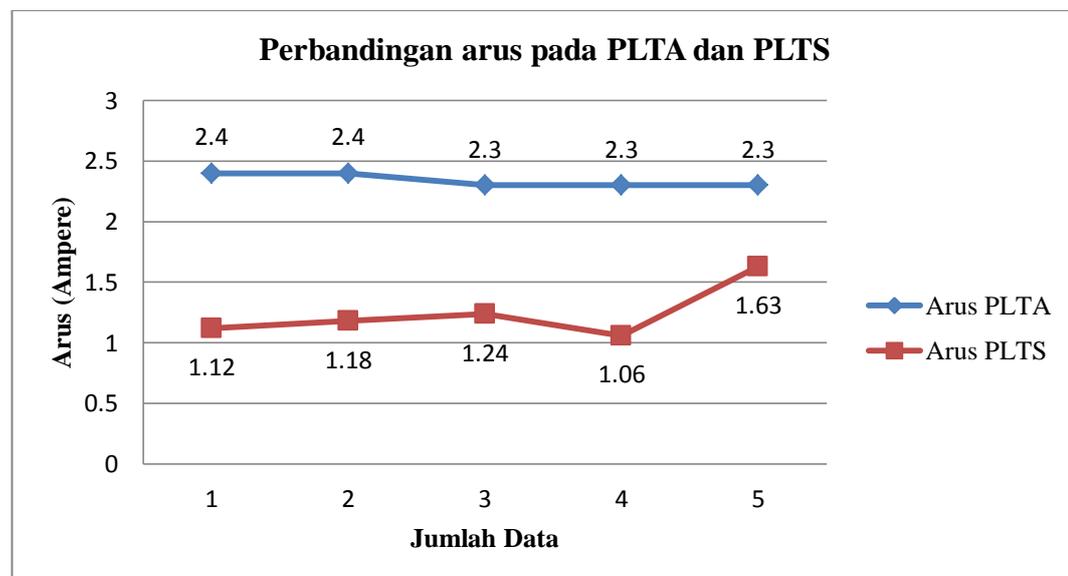
**Gambar 4.4 :** Grafik pengaruh intensitas cahaya terhadap arus keluaran panel

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

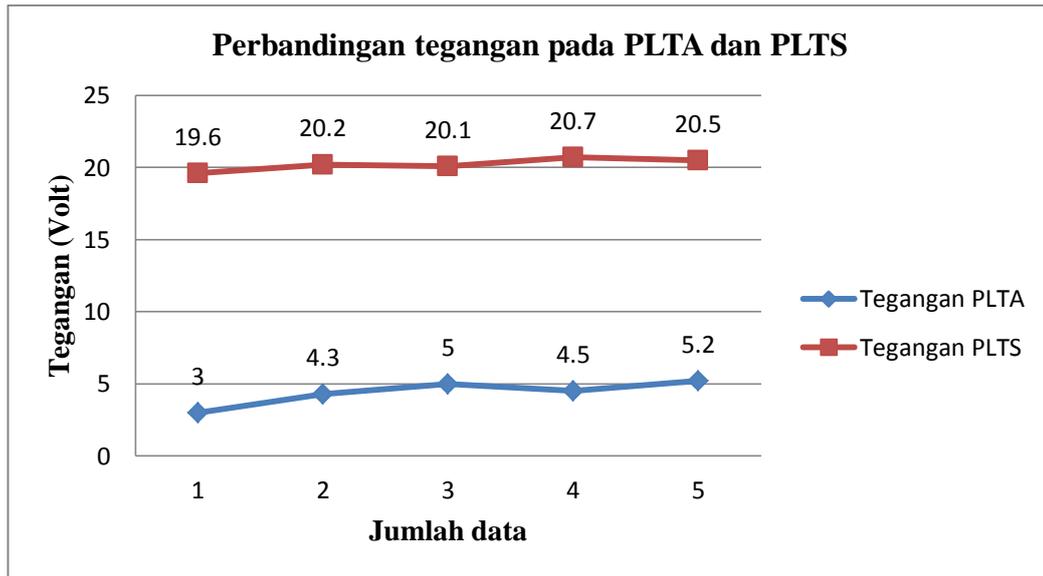
Adapun hasil perbandingan arus dan tegangan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel data dan grafik percobaan dibawah ini :

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

No	PLTA Arus (ADC)	PLTS Arus (ADC)	No	PLTA Tegangan (VDC)	PLTS Tegangan (VDC)
1	2,4	1,12	1	3	19,6
2	2,4	1,18	2	4,3	20,2
3	2,3	1,24	3	5	20,1
4	2,3	1,06	4	4,5	20,7
5	2,3	1,63	5	5,2	20,5



**Gambar 4.5** : Grafik perbandingan arus pada pembangkit listrik tenaga angin dan pembangkit listrik tenaga surya.



**Gambar 4.6 :** Grafik perbandingan tegangan yang dihasilkan pembangkit listrik tenaga angin dan pembangkit listrik tenaga surya.

Pada grafik 4.5 diatas dapat dilihat bahwa perbandingan arus yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga angin lebih besar dari pembangkit listrik tenaga surya yang dibandingkan. Dan pada Grafik 4.6 dapat dilihat bahwa perbandingan tegangan yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga surya jauh lebih besar dari pembangkit listrik tenaga angin yang dibandingkan.

#### **4.4 Menentukan tegangan dan arus rata-rata yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga angin.**

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

$$V(\text{rata - rata}) = \frac{V_{\text{total}}}{n}$$

$$= \frac{3 + 4,3 + 5 + 4,5 + 5,2}{5}$$

$$= 4,4 \text{ Vdc.}$$

Tegangan rata-rata yang dihasilkan oleh PLTA sebesar 4,4 Vdc.

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

$$I(\text{rata} - \text{rata}) = \frac{I_{\text{total}}}{n}$$

$$= \frac{2,4 + 2,4 + 2,3 + 2,3 + 2,3}{5}$$

$$= 2,3 \text{ Adc.}$$

Arus rata-rata yang dihasilkan oleh PLTA sebesar 2,3 Adc.

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

Dari data-data dari hasil percobaan diatas dibuatlah perhitungan tegangan rata-rata yang dihasilkan pembangkit listrik tenaga surya adalah:

$$V(\text{rata} - \text{rata}) = \frac{V_{\text{total}}}{n}$$

$$= \frac{19,6 + 20,2 + 20,1 + 20,7 + 20,5}{5}$$

$$= 20,2 \text{ Vdc}$$

Tegangan rata-rata yang dihasilkan oleh PLTS sebesar 20,2 Vdc.

Arus rata-rata yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga surya adalah :

$$I(\text{rata} - \text{rata}) = \frac{I_{\text{total}}}{n}$$

$$= \frac{1,12 + 1,18 + 1,24 + 1,06 + 1,63}{5}$$

$$= 1,24 \text{ Adc}$$

Arus rata-rata yang dihasilkan oleh PLTS sebesar 1,24 Adc.

#### 4.6 Menentukan Daya Listrik Yang Dihasilkan Oleh Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Menghitung daya listrik yang dihasilkan :

1. Diketahui :  $V = 3 \text{ Vdc}$

$$I = 2,4 \text{ Adc}$$

Ditanya :  $P \dots?$

$$P = V \times I$$

$$P = 3 \times 2,4$$

$$= 7,2 \text{ Watt}$$

2. Diketahui :  $V = 4,3 \text{ Vdc}$

$$I = 2,4 \text{ Adc}$$

Ditanya :  $P \dots?$

$$P = V \times I$$

$$P = 4,3 \times 2,4$$

$$= 10,3 \text{ Watt.}$$

3. Diketahui :  $V = 3 \text{ Vdc}$

$$I = 2,3 \text{ Adc}$$

Ditanya :  $P \dots?$

$$P = V \times I$$

$$P = 3 \times 2,3$$

$$= 6,9 \text{ Watt}$$

4. Diketahui :  $V = 4,5 \text{ Vdc}$   
 $I = 2,3 \text{ Adc}$

Ditanya :  $P \dots?$

$$P = V \times I$$

$$P = 4,5 \times 2,3$$

$$= 10,3 \text{ Watt}$$

5. Diketahui :  $V = 5,2 \text{ Vdc}$   
 $I = 2,3 \text{ Adc}$

Ditanya :  $P \dots?$

$$P = V \times I$$

$$P = 5,2 \times 2,3$$

$$= 11,9 \text{ Watt}$$

#### **4.7 Menentukan daya listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga surya.**

Menghitung daya listrik yang dihasilkan :

1. Diketahui :  $V = 19,6 \text{ Vdc}$   
 $I = 1,12 \text{ Adc}$

Ditanya :  $P \dots?$

$$P = V \times I$$

$$P = 19,6 \times 1,12$$

$$= 21,9 \text{ Watt}$$

2. Diketahui :  $V = 20,2 \text{ Vdc}$

$$I = 1,18 \text{ Adc}$$

Ditanya :  $P \dots?$

$$P = V \times I$$

$$P = 20,2 \times 1,18$$

$$= 23,8 \text{ Watt}$$

3. Diketahui :  $V = 20,1 \text{ Vdc}$

$$I = 1,24 \text{ Adc}$$

Ditanya :  $P \dots?$

$$P = V \times I$$

$$P = 20,1 \times 1,24$$

$$= 24,9 \text{ Watt}$$

4. Diketahui :  $V = 20,7 \text{ Vdc}$

$$I = 1,06 \text{ Adc}$$

Ditanya :  $P \dots?$

$$P = V \times I$$

$$P = 20,7 \times 1,06$$

$$= 21,9 \text{ Watt}$$

5. Diketahui :  $V = 20,5 \text{ Vdc}$

$$I = 1,63 \text{ Adc}$$

Ditanya :  $P \dots?$

$$P = V \times I$$

$$P = 20,5 \times 1,63$$

$$= 33,4 \text{ Watt}$$

#### **4.8 Optimalisasi perbandingan hasil prototype pembangkit listrik tenaga angin dan pembangkit listrik tenaga surya.**

Dalam penelitaian ini didapat beberapa data yang dihasilkan oleh kedua prototype pembangkit energi listrik yang memanfaatkan energi angin dan energi sinar matahari. Percobaan menggunakan pembangkit listrik tenaga angin didapatkan hasil tegangan rata-rata sebesar 4,4Vdc serta arus rata-rata sebesar 2,3Adc. Dari hasil pengujian yang didapatkan bahwasanya energi angin mempengaruhi hasil dari tegangan keluaran serta arus yang dihasilkan oleh generator dc. Energi angin hanya mampu memutar turbin angin dengan kecepatan tertinggi sebesar 2,8 m/s di lokasi penelitian hal ini menyebabkan generator dc tidak berputar secara penuh dan konstan menyebabkan tegangan yang dihasilkan begitu kecil.

Dengan tegangan yang hanya sebesar 5,2 Vdc generator dc tidak mampu mengisi batere accu 12V sampai benar-benar penuh. Faktor angin pada saat pengujian tidak memenuhi syarat agar generator dapat berputar secara penuh dan menghasilkan voltase yang lebih besar untuk mengisi batere accu 12V tersebut. Hal ini yang menyebabkan pada pembangkit listrik tenaga angin kurang optimal penggunaannya apabila angin pada lokasi percobaan tidak memenuhi syarat untuk memutar generator secara penuh.

Sedangkan pada pembangkit listrik tenaga surya tegangan rata-rata yang dihasilkan sebesar 20,2Vdc dan arus rata-rata yang dihasilkan sebesar 1,23Adc. Pada pengujian pembangkit listrik tenaga surya ini, panel surya mampu mensupply tegangan untuk mengisi baterai acc 12V. Panel surya jenis Polycrystalline dapat menghasilkan tegangan listrik sebesar 21,6V pada saat open

circuit voltage. Panel surya mampu menghasilkan tegangan listrik yang cukup besar dan baterai dapat mensupply daya menuju inverter untuk dirobah menjadi tegangan arus bolak balik 220V.

Pada beban percobaan lampu led 5 watt dapat hidup dan dapat mencharger handphone. Panel surya mampu mensupply tegangan dengan optimal sampai ke beban percobaan. Dengan besarnya tegangan yang dihasilkan panel surya sebesar 20,2Vdc untuk mengisi baterai 12V digunakan solar charger controller untuk mengontrol tegangan yang dihasilkan oleh panel surya apabila baterai sudah penuh maka solar charger controller akan memutus tegangan yang masuk pada baterai accu 12V tersebut, sehingga baterai dapat berusia panjang dan tidak rusak.

Dari hasil ini dapat dilihat bahwa pembangkit listrik tenaga surya lebih optimal mengisi daya pada baterai accu 12V dari pada pembangkit energi listrik tenaga angin yang dibandingkan.

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari rangkaian penelitian yang telah dilakukan bisa ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil perbandingan arus antara PLTA dan PLTS menunjukkan bahwa arus yang dihasilkan oleh PLTA lebih besar dengan arus keluran rata-rata generator dc sebesar 2,3 Adc, sedangkan arus yang dihasilkan PLTS lebih kecil dengan arus keluaran rata-rata panel surya sebesar 1,24 Adc.
2. Hasil perbandingan tegangan antara PLTA dan PLTS menunjukkan bahwa tegangan yang dihasilkan oleh PLTS lebih besar dengan tegangan rata-rata panel surya sebesar 20,2Vdc, sedangkan tegangan yang dihasilkan PLTA lebih kecil dengan tegangan rata-rata generator dc sebesar 4,4 Vdc. Hal ini menunjukkan bahwa panel surya lebih efisien digunakan sebagai Pembangkit Energi Listrik Alternatif yang ramah lingkungan dan mampu menghasilkan voltase yang lebih besar dari Pembangkit Listrik Tenaga Angin.
3. Hasil perbandingan antara pembangkit listrik tenaga angin dengan pembangkit listrik tenaga surya menunjukkan bahwa panel surya lebih optimal dalam mengisi batrai accu 12V secara efisien.

## 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian perbandingan arus dan tegangan pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya, maka saran yang dapat disampaikan adalah sebagai berikut :

1. Dalam penelitian ini turbin angin yang digunakan adalah turbin angin poros vertikal dengan menggunakan blade terbuat dari pipa paralon. Perlu dilakukan beberapa modifikasi dari bentuk blade agar lebih efisien dalam menangkap laju angin, dan untuk pemilihan generator sebaiknya dipilih generator yang mampu mengeluarkan arus dan tegangan yang besar pada kecepatan angin rendah sehingga mampu meningkatkan performansi dari turbin angin tersebut.
2. Perlu diadakan penelitian lanjutan mengenai pemanfaatan energi angin dan energi surya agar energi terbaru kan ini dapat dikembangkan menjadi pembangkit energi listrik hybrid sehingga mampu menjadi pembangkit energi alternatif yang lebih efisien untuk berbagai keperluan manusia yang tidak tersupply listrik PLN.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Asy'ari, Hasyim. Abdul Rozak dan Feri Setia Putra. 2014. *Pemanfaatan Solar Cell Dengan PLN Sebagai Sumber Energi Listrik Rumah Tinggal*. Jurusan Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [2]. Aryanto, Firman. I Made Mara dan Made Nuarsa. 2013. *Pengaruh Kecepatan Turbin dan Variasi Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Poros Horizontal*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mataram.
- [3]. Santoso, Ari Wibawa Budi. Imam Pujo Mulyatno. 2014. *Pemanfaatan Tenaga Angin dan Surya Sebagai Alat Pembangkit Listrik Pada Bagan Perahu*. Universitas Diponegoro: Indonesia.
- [4]. Padmika, Made. I Made Satriya Wibawa dan Ni Luh Putu Trisnawati. 2017. *Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin Dengan Turbin Ventilator Sebagai Penggerak Generator*. Jurusan Fisika, Universitas Udayana: Bandung.
- [5]. Ramadhan, Anwar Ilmar. Ery Diniardi dan Sony Hari Mukti. 2016. *Analisis Disain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 50 Wp*. Jurusan Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- [6]. Yunginger, Raghel. Nawir dan N Sune. 2015. *Analisis Energi Angin Sebagai Energi Alternatif Pembangkit Listrik di Kota Gorontalo*. Universitas Gorontalo.
- [7]. Muttaqin, Zaidid. Dedet C Riawan dan Heri Suryoatmojo. 2012. *Desain dan Implementasi Tech Bench Turbin Angin Untuk Mengetahui*

*Karakteristik Turbin Angin*. Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh November: Surabaya.

- [8]. Widyanto, Wisnugroho dan Agus. 2018. *Pemanfaatan Energi Angin Sebagai Pelapis Energi Surya Pada Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid di Pulau Wangi-wangi*. Loka Perencanaan Teknologi Kelautan, Badan Riset dan Sumber Daya Manusia Kelautan dan Perikanan, Kementerian Kelautan dan Perikanan: Wakatobi.
- [9]. Daryanto, Y. 2007. *Kajian Potensi Angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu*. Balai PPTAGG-UPT-LAG: Yogyakarta.
- [10]. Widayana, Gede. 2012. *Pemanfaatan Energi Surya*. Jurusan Pendidikan Teknik Mesin, FTK, UNDIKSHA.
- [11]. Purwoto, Bambang Hari. Muhammad Alimul F dan Ilham Fahmi Huda. 2018. *Efisiensi Penggunaan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Alternatif*. Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta: Surakarta.
- [12]. Fahlevi, Reza. 2014. *Pengujian Karakteristik Panel Surya Berdasarkan Intensitas Tenaga Surya*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [13]. Effendi, Asnal. 2012. *Pembangkit Listrik Sel Surya Pada Daerah Pedesaan*. Dosen Teknik Elektro Fakultas Teknologi Padang, Institut Teknologi Padang: Padang.

# LAMPIRAN

## Pembangkit Listrik Tenaga Surya



Panel surya	: SURYA Polycrystalline Solar Module
Mode Type	: SSPP 20WP/ 12V
Rate Maximum Power [Pmax]	: 20W
Voltage at Pmp [Vmp]	: 18V
Current at Pmp [Imp]	: 1.11A
Open Circuit Voltage [Voc]	: 21.6V
Weight	: 2.0 kg
Dimension [mm]	: 486*360*25mm
Charge Controller	: 12/24 Vdc Kapasitas 60 A
Baterai	: 12 V
Inverter	: In 12/24V Out 220V Kapasitas 500 W
Lampu Led	: 5 W.

## Pembangkit Listrik Tenaga Angin



Tinggi Kincir Angin	: 235 cm
Panjang Pipa	: 99 cm
Lebar Pipa	: 11 cm
Jarak Antar Lingkar	: 102,5 cm
Diameter Lingkar	: 58 cm
Generator DC	: 12 V
Charge Controller	: 12/24 Vdc Kapasitas 60 A
Baterai	: 12 V
Inverter	: In 12/24V Out 220V Kapasitas 500 W
Lampu Led	: 5 W



LEMBAR ASISTENSI

NAMA : Muhammad Murdani  
NPM : 1507220037  
JUDUL : Analisa Perbandingan Arus dan Tegangan pada PLTA Angin dan PLTS  
ASISTENSI : Dosen Pembimbing I

No	Tanggal	Uraian	Paraf
1.	5/1/2019	Buat Bab 1 latar belakang, Rumusan masalah, Tujuan dan Batasan masalah.	
2.	10/1/2019	Lanjut lanjut lagi BAB 2 Tinjau pustaka	
3.	15/1/2019	Buat diagram blok pengujian pada Bab 3.	
4.	20/1/2019	Lanjut pengujian pd BAB 4.	
5.	10/2/2019	Ulangi pengukuran	
6.	15/2/2019	catat hasil pengukurannya	
7.	2/3/2019	buat analisa data lanjut kepribing 2	
8.	6/3/2019	Ace seminar	

Dosen Pembimbing I

(Partoan Harahap, ST. MT)



TUGAS AKHIR  
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
Kampus Utama Umsu, Jln Kapt. Mochtar Basri No.3 Medan - 20238, Telp. (061) 661059

LEMBAR ASISTENSI

NAMA : Muhammad Murdani  
NPM : 1507220037  
JUDUL : Analisa Perbandingan Arus dan Tegangan pada PLTA Angin dan PLTS  
ASISTENSI : Dosen Pembimbing II

No	Tanggal	Uraian	Paraf
1.	3-1-2019	Latur belakang dan kekeliruan dengan Rumus masalah dan batasan masalah	
2.	17-1-2019	Lanjut Bab 11 Cari teori tentang PLTB dan PLTS	
3.	22-2-2019	Centrasi keada' buat nomor	
4.	25-2-2019	Lanjut Bab 11	
5.	28-2-2019	Flow Chart lanjut perbaikan Lanjut bab 11	
7.	5-3-2019	Buat tabel pengujian grafik Pengujian	
8.	6-3-2019	Ke simpulan, abstract, daftar pustaka	
9.	8-3-2019	Ace untuk seminar hasil	

Dosen Pembimbing II

( Faisal Irsan Pasaribu, ST. MT )