# BAB I

# PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Tenaga listrik merupakan kebutuhan vital untuk pembangunan ekonomi dan pembangunan sosial. Ketersediaan tenaga listrik yang mencukupi, andal, aman dan dengan harga yang terjangkau merupakan faktor penting dalam rangka menggerakkan perekonomian rakyat yang dapat meningkatkan taraf hidup masyarakat. Penyediaan tenaga listrik ini juga bisa bersumber dari pemanfaatan energi aki yang merupakan sumber energi listrik *portable* yang bisa digunakan dimana saja dan kapan saja.

Akumulator atau aki adalah sumber tagangan listrik DC yang bersifat *portable* dan bisa dipakai dimana saja dan kapan saja tanpa harus berada di daerah atau tempat yang mendapatkan pasokan energi listrik seperti PLN. Pemakaian aki juga bisa habis. Aki mempunyai batas pemakaian dan tidak akan bisa dipakai lagi jika energinya sudah habis, artinya tidak ada lagi perbedaan potensial antara kutub anoda dan katodanya.

Aki yang telah habis ini bisa dipergunakan lagi setelah aki tersebut diisi ulang dengan cara memberikan tegangan dengan potensial yang sama pada kutub positif dan negatifnya, artinya kutub positif aki diberikan input potensial positif dan kutub negatif aki diberikan input potensial negatif juga. Namun dibalik ini, kita tidak bisa melakukan pengisian (*charging*) pada Aki di sembarang tempat jika tidak terdapatnya pasokan listrik seperti PLN, karena belum semua tempat mendapatkan pasokan listrik PLN secara merata.

Untuk mengatasi kendala tersebut, maka perlu dilirik beberapa upaya baru dalam pembangkitan tenaga listrik seperti dengan memanfaatkan energi terbarui yang ramah lingkungan dan terjamin ketersediannya, diantaranya adalah energi angin.

Beberapa tahun belakangan ini, pembangkit listrik tenaga angin telah banyak dikembangkan dibeberapa negara maju. Pada masa awal perkembangannya, teknologi energi angin lebih banyak dimanfaatkan oleh manusia dalam bidang pertanian dan manufaktur, maka kini dengan teknologi dan bahan yang baru, manusia membuat turbin angin untuk membangkitkan energi listrik yang bersih, baik untuk penerangan, sumber panas atau tenaga pembangkit untuk alat-alat rumah tangga.

Menurut data dari *American Wind Energy Association* (AWEA), hingga saat ini telah ada sekitar 20.000 turbin angin diseluruh dunia yang dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik, baik itu dalam skala kecil hingga berskala besar.

Dengan adanya Pembangkit Energi Terbaharukan ini, diantaranya adalah energi angin, kita bisa memanfaatkan energi alam yang merupakan sumber energi yang tak akan pernah habis dengan mengkonversikannya menjadi energi listrik dan menyimpan energi listrik tersebut dalam bentuk *portable* seperti Akumulator (aki) yang bisa dipergunakan nanti dimana saja dan kapan saja.

Penelitian yang sejenis juga telah dilakukan sebelumnya oleh Yonggi Puriza dengan Judul Penelitian "*Perancangan dan Pembuatan Prototipe Turbin Angin Sumbu Horizontal*". Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya adalah penelitian ini berfokus dan membahas proses *charging*, sedangkan penelitian sebelumnya membahas konversi energi secara langsung dari prototipe turbin angin sumbu horizontal ke beban (lampu LED).

## 1.2 Perumusan Masalah

Secara garis besar perumusan masalah yang dibahas adalah :

a. Bagaimana cara menyimpan energi listrik ke Akumulator (Aki) dari Prototipe Turbin Angin Sumbu Horizontal.
b. Faktor apa saja yang diperhatikan dalam melakukan proses *Charging* pada Akumulator.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Beberapa tujuan penelitian yang ingin dicapai adalah :

a. Mengetahui proses penyimpanan energi listrik ke Akumulator dari Prototipe Turbin Angin Sumbu Horizontal.
b. Mengetahui faktor – faktor yang harus diperhatikan dalam melakukan *Charging* pada Akumulator (Aki).
c. Bisa melakukan *charging* pada Akumulator dari Prototipe Turbin Angin Sumbu Horizontal.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki manfaat antara lain :

1. Dapat memanfaatkan energi terbarukan dengan baik terutama memanfaatkan dan mengkonversikan energi angin menjadi energi listrik.
2. Dapat diaplikasikan untuk penyimpanan atau *charging* energi listrik ke Akumulator dari sumber energi terbarukan diantaranya adalah energi angin.

## 1.5 Batasan Masalah

a. Turbin angin yang digunakan adalah Turbin Angin Sumbu Horizontal.
b. Hanya membahas tentang proses pengisian (charging) energi listrik ke akumulator dari Prototipe Turbin Angin Sumbu Horizontal.
c. Generator yang digunakan adalah generator sinkron Magnet Permanen 3fasa.
d. Lokasi penelitian difokuskan di daerah Pantai Purus, Padang.
e. Tidak membahas sistem proteksi, baik itu proteksi pada Akumulator, Generator, dan Turbin Angin.
f. Tidak membahas rugi-rugi daya dan drop tegangan ($V_{drop}$) yang terjadi selama proses *charging* terjadi.

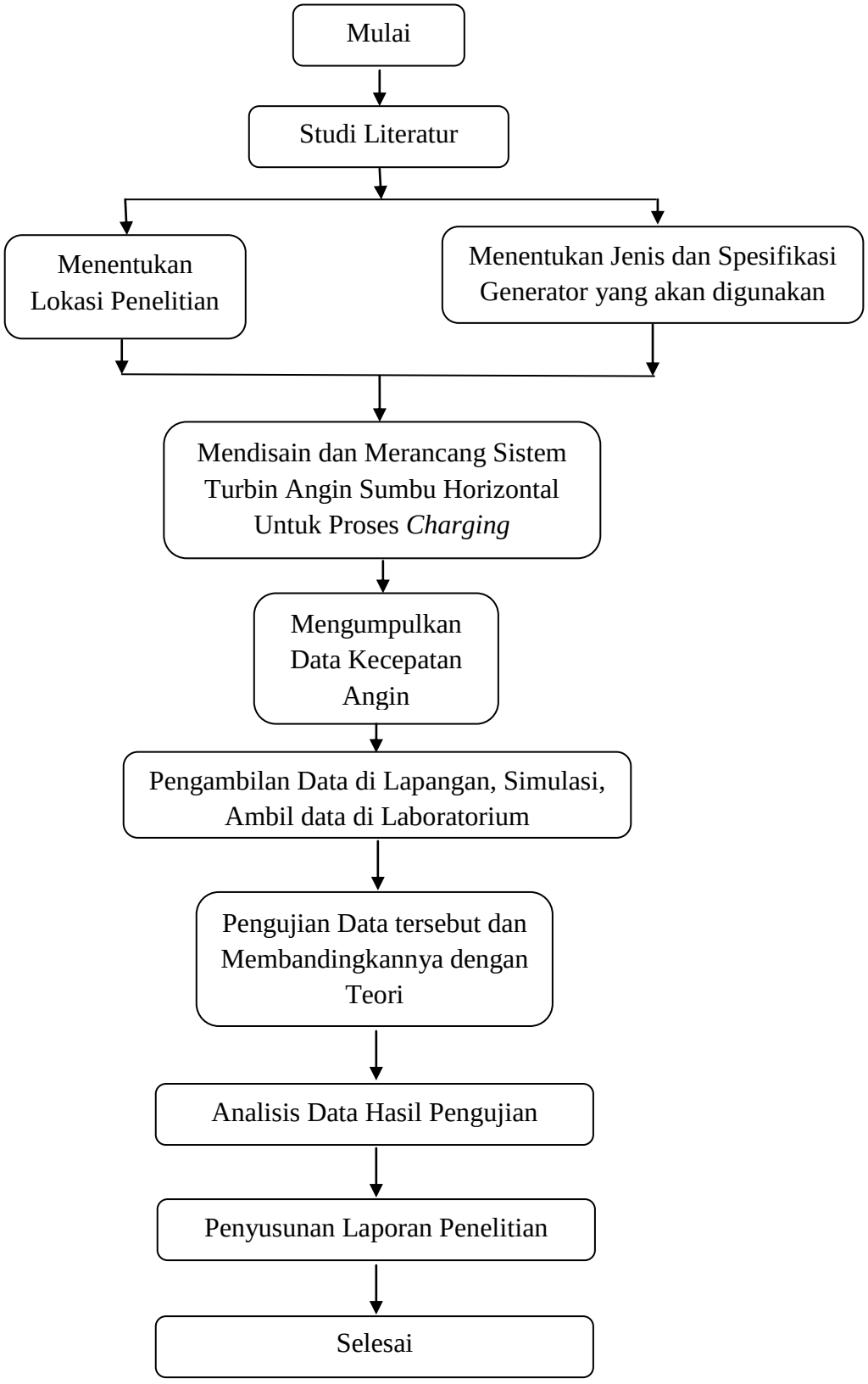
g. Jenis akumulator (aki) yang di *charging* adalah 1 unit aki sepeda motor GS ASTRA Premium 12 Volt DC dengan kapasitas 5 Ah.
h. Arus charging tidak konstan, namun yang diambil adalah arus rata-rata selama 1 jam proses *charging*.
i. Akumulator yang akan di *charging* adalah akumulator dengan kapasitas 80%.
j. Analisa proses *charging* hanya diambil dari sampel data yang ada dan *charging* tidak dilakukan sampai akumulator terisi penuh.
k. Program yang digunakan adalah Multism 11.0.

## 1.6 Metodologi Penelitian

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Studi literatur, yaitu dengan mempelajari prinsip kerja dan karakteristik turbin angin sumbu horizontal, karakteristik generator yang akan digunakan, hingga proses terjadinya *charging* pada akumulator.
2. Menerapkan dan menguji percobaan dengan menggunakan simulasi (program Multism 11.0).
3. Perencanaan, yaitu menentukan lokasi, pengumpulan data angin dan menentukan jenis serta spesifikasi generator yang akan digunakan.
4. Pengujian serta pengambilan data di lapangan (pantai) dan di Laboratorium Konversi Energi Elektrik (LKEE) Jurusan Teknik Elektro Universitas Andalas dengan menggunakan generator yang sama.
5. Analisa data, yaitu membandingkan antara hasil data simulasi (program Multism 11.0), data Lapangan (pantai), dan data dari percobaan di Laboratorium Konversi Energi Elektrik LKEE (dengan menggunakan generator yang sama).

6. Penyusunan laporan penelitian bisa dilihat dari flowchart berikut ini.




Gambar 1.1. Flowchart Penelitian

## 1.7 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini dilakukan dengan sistematika sebagai berikut:

**BAB I PENDAHULUAN**

Meliputi latar belakang yang mendasari dilakukannya penelitian ini, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian dan sistematika penulisan.

**BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Berisi ringkasan kerangka teoritis yang digunakan oleh penulis untuk menganalisis permasalahan dan parameter seputar analisa proses *charging* pada akumulator.

**BAB III PERANCANGAN TURBIN ANGIN SUMBU HORIZONTAL**

Berisi tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini terkait dengan pemakaian turbin, desain peralatan yang digunakan hingga proses perubahan energi sampai energi tersebut bisa digunakan untuk *charging* pada akumulator.

**BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISIS**

Berisikan analisa dari apa yang telah dikerjakan pada pengujian turbin angin, baik itu data yang berasal dari Laboratorium, Lapangan (pantai) dan data hasil simulasi Software Multism 11.0.

**BAB V PENUTUP**

Terdiri dari kesimpulan dan saran. Kesimpulan meliputi hasil akhir yang diambil dari hasil analisa yang telah dilakukan dari data yang telah didapatkan, sedangkan saran berisi saran penulis untuk memperbaiki dan menyempurnakan penelitian yang telah dilakukan untuk memperoleh hasil yang lebih baik dan lebih bermanfaat.

# BAB II

# TINJAUAN PUSTAKA

## 2.1 Angin

Angin adalah udara yang bergerak dari tekanan udara yang lebih tinggi ke tekanan udara yang lebih rendah. Perbedaan tekanan udara disebabkan oleh perbedaan suhu udara akibat pemanasan atmosfir yang tidak merata oleh sinar matahari. Karena bergerak angin memiliki energi dan energi angin ini bisa dimanfaatkan untuk berbagai macam kebutuhan manusia, diantaranya adalah mengkonversikan energi angin tersebut ke energi listrik.

Energi angin dapat dikonversi atau ditransfer ke dalam bentuk energi lain seperti energi listrik, energi mekanik dan energi lainnya dengan menggunakan kincir atau turbin angin. Oleh karena itu, kincir atau turbin angin sering disebut sebagai Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) [1].

Kecepatan angin tidaklah sama antara daerah satu dengan daerah lainnya. Kecepatan angin dapat dibagi dalam beberapa kelas seperti terlihat pada tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1 Tabel Kondisi Angin

| Kelas Angin | Kecepatan Angin (m/s) | Kecepatan Angin (Km/jam) |
|---|---|---|
| 1 | 0.3 – 1.5 | 1.0 – 5.4 |
| 2 | 1.6 – 3.3 | 5.5 – 11.9 |
| 3 | 3.4 – 5.4 | 12.0 – 19.5 |
| 4 | 5.5 – 7.9 | 19.6 – 28.5 |
| 5 | 8.0 – 10.7 | 28.6 – 38.5 |
| 6 | 10.8 – 13.8 | 38.6 – 49.7 |
| 7 | 13.9 – 17.1 | 49.8 – 61.5 |
| 8 | 17.2 – 20.7 | 61.6 – 74.5 |
| 9 | 20.8 – 24.4 | 74.6 – 87.9 |
| 10 | 24.5 – 28.4 | 88.0 – 102.3 |
| 11 | 28.5 – 32.6 | 102.4 – 117.0 |
| 12 | >32.6 | > 118 |

Dari tabel 2.1 dapat kita lihat bahwa semakin tinggi kelas angin, semakin besar kecepatan angin. Semakin besar kecepatan angin semakin besar energi yang akan bisa dimanfaatkan untuk membangkitkan energi listrik tenaga angin. Namun tidak semua angin yang bisa dimanfaatkan oleh manusia, ada juga angin yang justru berbahaya bagi manusia.

Tabel 2.2 berikut menggambarkan perbandingan antara kelas angin, kecepatan serta kondisi daerah yang terjadi di daratan tersebut.

Tabel 2.2 Tingkatan kecepatan Angin

| Kelas Angin | Kecepatan Angin (m/s) | Kondisi Alam di daratan |
|---|---|---|
| 1 | 0.3 – 1.5 | Angin tenang, asap lurus keatas |
| 2 | 1.6 – 3.3 | Asap bergerak mengikuti arah angin |
| 3 | 3.4 – 5.4 | Wajah terasa ada angin, daun – daun bergerak, penunjuk arah angin bergerak |
| 4 | 5.5 – 7.9 | Kertas dan debu jalan beterbangan, ranting pohon bergoyang |
| 5 | 8.0 – 10.7 | Bendera berkibar |
| 6 | 10.8 - 13.8 | Ranting pohon besar bergoyang, air plumpang berombak kecil |
| 7 | 13.9 - 17.1 | Ujung pohon melengkung, hembusan angin terasa ditelinga |
| 8 | 17.2 - 20.7 | Dapat mematahkan ranting pohon, jalan berat melawan arah angin |
| 9 | 20.8 - 24.4 | Dapat mematahkan batang pohon, rumah roboh |
| 10 | 24.5 - 28.4 | Dapat merubuhkan pohon, menimbulkan kerusakan |
| 11 | 28.5 - 32.6 | Menimbulkan kerusakan parah |
| 12 | 32.7 - 36.9 | Tornado |

Dari tabel 2.2 dapat kita ketahui bahwa kecepatan angin diatas 17,2 m/s akan berbahaya bagi manusia karena bisa menyebabkan kerusakan. Sehingga setiap *engineer* jika ingin membuat pembangkit energi listrik tenaga angin, *engineer* tersebut harus memperhatikan faktor alam terutama adalah kecepatan angin.

## 2.2 Turbin Angin

### 2.2.1 Jenis Turbin Angin

Dalam perkembangannya, turbin angin dibagi menjadi dua jenis turbin angin *Propeller* dan turbin angin *Darrieus*. Pemanfaatannya yang umum adalah untuk memompa air dan pembangkit tenaga listrik. Berikut penjelasan tentang turbin angin tersebut :

**a.** 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 datangnya angin. Berikut adalah salah satu gambar dari turbin angin propeller yang paling banyak digunakan yang ditunjukkan oleh gambar 2.1 berikut ini.

Gambar 2.1. Turbin Angin Propeller [1,2].

Gambar 2.1 diatas adalah gambar Turbin Angin Propeller yang paling banyak digunakan di Negara Belanda. Penggunaan turbin angin ini didukung oleh faktor geografis wilayah Belanda yang mempunyai kecepatan angin yang kencang

**b.** Turbin angin Darrieus merupakan suatu sistem konversi energi angin yang digolongkan dalam jenis turbin angin berporos tegak. Turbin angin ini pertama kali ditemukan oleh GJM Darrieus tahun 1920. Keuntungan dari turbin jenis Darrieus adalah tidak memerlukan mekanisme orientasi pada arah angin (tidak perlu mendeteksi arah angin yang paling tinggi kecepatannya) seperti pada turbin angin propeller [1,2]

### 2.2.2 Daya Angin

Daya angin adalah besarnya daya yang diterima dari energi angin. Besarnya Daya Angin adalah sebagai berikut [3]

$$W = \frac{1}{2}\rho A v^3 \quad \text{.....(2.1)}$$

Dimana :

W = Energi Angin (Watt) A = Area Penangkapan Angin ($m^2$)

v = Kecepatan Angin (m/s) $\rho$ = Kerapatan Udara ($kg/m^3$)

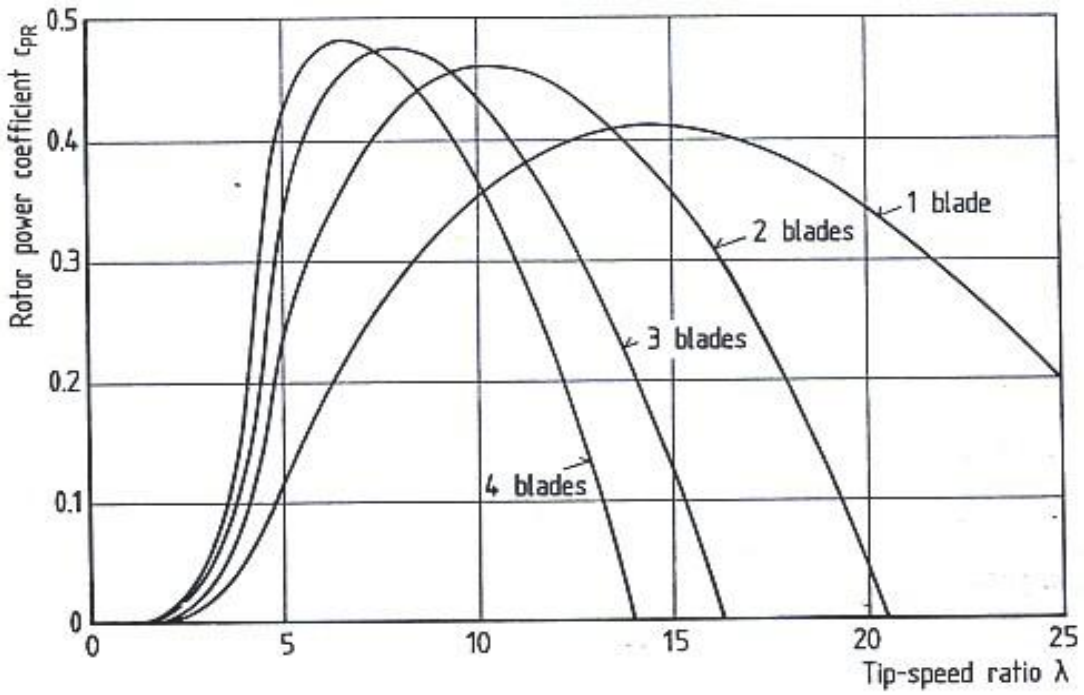
Dari persamaan 2.1 dapat diketahui bahwa Daya Angin berbanding lurus dengan kecepatan angin, luas area penangkapan dan kerapatan udara. Semakin besar kecepatan angin dan semakin besar luas area penangkapan angin, maka akan semakin besar daya angin yang diterima. Sedangkan untuk kerapatan udara, besarnya kerapatan udara dipengaruhi oleh temperatur, kerapatan udara pada 1 atm pada berbagai keadaan temperatur dapat dilihat pada Lampiran C.

### 2.2.3 Tip Speed Ratio

Tip Speed Ratio adalah besar perbandingan antara kecepatan ujung putar sudu terhadap kecepatan putar angin. Tip Speed Ratio bisa didapatkan dari persamaan 2.2 berikut ini [4]

$$TSR = \frac{\text{Kecepatan Putar rotor (rps) x Rotor sudu (m)}}{\text{Kecepatan angin (m/s)}} \quad \text{..... (2.2)}$$

Tip speed ratio ini adalah indikator utama yang menentukan besar atau kecilnya daya turbin angin karena koefisien turbin angin tidak sama ketika TSRnya juga berbeda. Berikut adalah gambar perbandingan antara besar TSR dan Cp (koefisien daya) seperti pada gambar 2.2 berikut ini.




Gambar 2.2 Perbandingan TSR dan Cp dengan jumlah sudu yang berbeda-beda.

Dari gambar 2.2 dapat diketahui bahwa TSR sangat berpengaruh kepada Cp (koefisien daya).

### 2.2.4 Daya Turbin Angin

Besarnya daya turbin angin dapat diketahui dari persamaan berikut 2.3 ini [4]

$$P_R = C_P \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad \text{..... (2.3)}$$

Dimana :

$P_R$ = Daya rotor (Watt) Cp = koefisien daya

A = Area Penangkapan Angin ($m^2$) v = Kecepatan Angin (m/s)

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

Dari persamaan 2.3 dapat diketahui bahwa koefisien daya, kecepatan angin, kerapatan udara dan luas area penangkapan angin berbanding lurus dengan daya yang dihasilkan. Semakin besar veriabel – variabel tersebut, maka akan semakin besar daya yang dihasilkan dan sebaliknya.

## 2.3 Generator Sinkron

### 2.3.1 Konsep Dasar Generator Sinkron

Generator adalah suatu mesin yang menggunakan magnet untuk mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Prinsip generator secara sederhana dapat dikatakan bahwa tegangan ggl berasal dari hasil induksi pada konduktor apabila konduktor tersebut bergerak pada medan magnet sehingga memotong garis-garis gaya magnet.

Besarnya tegangan ggl yang dihasilkan oleh suatu generator bisa diketahui dari persamaan berikut ini [5,6] :

e = b *lv*…….....…(2.4)

dimana :

e = Tegangan ggl (volt) b = Kuat Medan Magnet

*l* = Panjang Kumparan v = Kecepatan Putar (rpm)

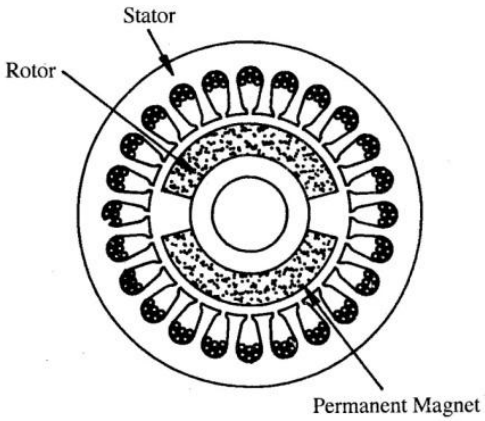
Persamaan ini berlaku apabila magnet sebagai pengganti penghantar yang digerakkan. Dari persamaan 2.4 diatas dapat diketahui bahwa tegangan ggl yang dihasilkan adalah berbanding lurus dengan B (kuat medan magnet), *l* (panjang kumparan), dan *v* (besarnya kecepatan putar). Atau dalam penjelasan lain, jumlah tegangan yang diinduksikan pada penghantar saat penghantar bergerak pada medan magnet tergantung pada :

1. Kekuatan medan magnet, semakin kuat medan magnet maka semakin besar pula tegangan yang diinduksikan.
2. Kecepatan penghantar dalam memotong fluks, makin kecepatan putar maka semakin besar tegangan yang diinduksikan.
3. Panjang penghantar pada medan magnet, semakin panjang kawat penghantar, maka semakin besar pula tegangan ggl yang bisa dihasilkan [5].

Generator sinkron adalah alat yang berfungsi untuk mengkonversi energi. Generator sinkron bekerja pada kecepatan dan frekuensi konstan di bawah kondisi *Steady state*. Konversi energi elektromagnetik inibisa dalam bentuk perubahan energi dari bentuk mekanik ke bentuk listrik dan bentuk listrik ke bentuk mekanik. Generator sinkron (alternator) merupakan jenis mesin listrik yang berfungsi untuk menghasilkan tegangan bolak-balik dengan cara mengubah energi mekanis menjadi energi listrik.

Generator sinkron dengan definisi sinkronnya, mempunyai makna bahwa frekuensi listrik yang dihasilkannya sinkron dengan putaran mekanis generator tersebut. Generator sinkron sering kita jumpai pada pusat-pusat pembangkit tenaga listrik dengan kapasitas yang relatif besar. Misalnya pada PLTA, PLTU, PLTD dan lain-lain.

Selain generator dengan kapasitas besar, kita mengenal juga generator dengan kapasitas yang relatif kecil, misalnya generator yang digunakan untuk penerangan darurat yang sering disebut Generator Set atau generator cadangan. Generator sinkron juga dapat memiliki sistem eksitasi dengan menggunakan magnet permanen. Generator sinkron magnet permanen seperti ini diilustrasikan seperti gambar berikut:

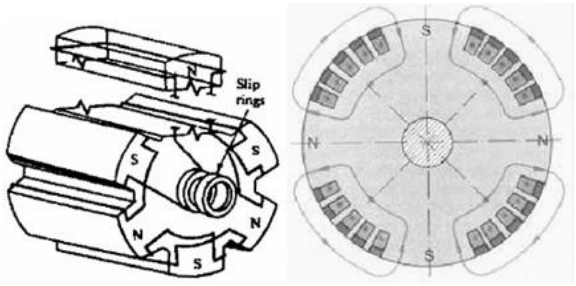



Gambar 2.3.Potongan melintang generator sinkron magnet permanen dua kutub [6].

Pada gambar 2.3 dapat diketahui bahwa bagian rotor dari generator adalah magnet permanen. Magnet permanen inilah yang diputar oleh energi dari luar, yaitu turbin angin yang mendapatkan energi dari dorongan angin. Sedangkan stator adalah bagian yang diam

(tidak bergerak) yaitu bagian lilitan (kumparan), kumparan inilah yang menerima fluks magnet yang berubah-ubah terhadap waktu sehingga menghasilkan beda potensial (tegangan listrik).

Pada generator sinkron, bentuk rotor yang digunakan dapat dibagi atas dua macam, yaitu: rotor silinder (*cylindrical-rotor*) dan rotor kutub sepatu (*salient-pole*). Kedua jenis rotor ini memiliki karakteristik yang berbeda–beda. Pada generator sinkron dengan rotor kutub sepatu (*Salient-pole*), umumnya memiliki jumlah kutub yang banyak. Karena jumlah kutub yang banyak ini mengakibatkan diameter generator menjadi besar dan generator memiliki putaran sinkron yang lambat. Sementara itu, pada generator sinkron dengan rotor silinder (*Cylindrical-rotor*) memiliki jumlah kutub yang lebih sedikit dari pada rotor kutub sepatu.Sehingga mengakibatkan generator sinkron dengan kutub silinder ini memiliki diameter yang lebih kecil dan putaran sinkron yang tinggi. Berikut adalah gambar 2.4 (a) dan 2.4 (b) yang menggambarkan bentuk rotor dari generator yaitu rotor kutub sepatu dan rotor selinder.




(a) (b)

Gambar 2.4.Bentuk rotor generator sinkron: (a) Rotor kutub sepatu, (b) Rotor silinder [6].

Dari gambar 2.4 (a) dan 2.4 (b) dapat dilihat jelas perbedaan antara kedua rotor tersebut. Pada penelitian ini, jenis rotor yang digunakan pada penelitian ini adalah rotor silinder.

### 2.3.2 Kecepatan Putar Generator Sinkron

Frekuensi elektrik yang dihasilkan generator sinkron adalah berbanding lurus dengan kecepatan putar generator. Hubungan antara kecepatan putar medan magnet pada mesin dengan frekuensi elektrik pada stator ditunjukkan oleh persamaan 2.5 berikut ini [6].

$$f_e = \frac{n_r . p}{120} \quad \text{.....(2.5)}$$

Dimana:

$f_e$ = frekuensi listrik (Hz)

$n_r$ = kecepatan putar rotor = kecepatan medan magnet (rpm)

$p$ = jumlah kutub magnet

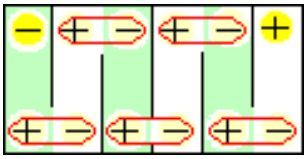
Dari persamaan 2.5 tersebut, dapat diketahui bahwa frekuensi yang dihasilkan berbanding lurus dengan jumlah kutub magnet yang digunakan dan kecepatan putar generator. Semakin banyak kutub magnet yang digunakan dan semakin cepat kecepatan putar generator, maka semakin besar frekuensi yang dihasilkan.

Agar tegangan listrik dibangkitkan tetap dan frekuensi yang dihasilkan sesuai dengan yang diinginkan, maka generator harus berputar pada kecepatan konstan dengan jumlah kutub mesin yang telah ditentukan. Sebagai contoh untuk membangkitkan tegangan AC dengan frekuensi 60 Hz pada mesin dua kutub, rotor harus berputar dengan kecepatan 3600 rpm. Sedangkan untuk tegangan AC dengan frekuensi 50 Hz pada mesin empat kutub, rotor harus berputar pada kecepatan 1500 rpm.

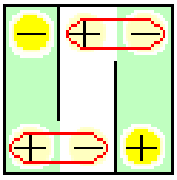
## 2.4 Akumulator (Aki)

Akumulator atau aki adalah suatu proses kimia listrik, dimana pada saat pengisian (*charge)* energi listrik diubah menjadi kimia dan saat pengeluaran (*discharge)* energi kimia diubah menjadi energi listrik. Aki ini sama fungsinya dengan Baterai.

Baterai terdiri dari sel-sel dimana tiap sel memiliki tegangan sebesar 2 V, artinya aki mobil dan aki motor yang memiliki tegangan 12 V terdiri dari 6 sel yang dipasang secara seri seperti pada gambar 2.5, sedangkan aki yang memiliki tegangan 6 V memiliki 3 sel yang dipasang secaraseri seperti pada gambar 2.6.



**Gambar 2.5.** *Baterai 12 Volt*



**Gambar 2.6** *Baterai 6 Volt*[7]

Dari gambar 2.5 dan 2.6 diketahui bahwa jumlah sel baterai 12 Volt adalah 2 kali lebih banyak dibandingkan dengan jumlah sel pada baterai 6 volt. Antara satu sel dengan sel lainnya dipisahkan oleh dinding penyekat yang terdapat dalam baterai, artinya tiap ruang pada sel tidak berhubungan karena itu cairan elektrolit pada tiap sel juga tidak berhubungan (dinding pemisah antar sel tidak boleh ada yang bocor atau merembes).

Di dalam satu sel terdapat susunan pelat pelat yaitu beberapa pelat untuk kutub positif (antar pelat dipisahkan oleh kayu, ebonit atau plastik, tergantung teknologi yang digunakan) dan beberapa pelat untuk kutub negatif. Bahan aktif dari plat positif terbuat dari oksida timah coklat ($PbO_2$) sedangkan bahan aktif dari plat negatif adalah timah (Pb).

Pelat-pelat tersebut terendam oleh cairan elektrolit yaitu asam sulfat ($H_2SO_4$). Saat baterai mengeluarkan arus terjadi proses pada akumulator :

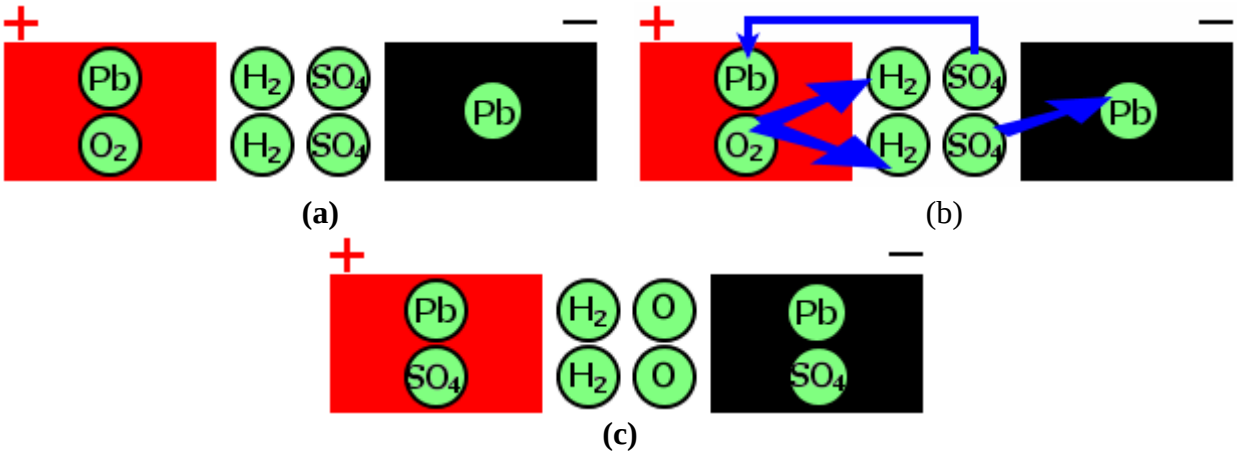
1. Oksigen ($O_2$) pada pelat positif terlepas karena bereaksi dengan hidrogen (H) pada cairan elektrolit yang secara perlahan–lahan keduanya bereaksi menjadi air ($H_20$).

2. Asam ($SO_4$) pada cairan elektrolit bergabung dengan timah (Pb) di pelat positif maupun pelat negatif sehigga menempel dikedua pelat tersebut. Reaksi ini akan berlangsung terus sampai isi (tenaga baterai) habis.

Pada saat baterai dalam keadaan *discharge* maka hampir semua asam melekat pada pelat-pelat dalam sel sehingga cairan eletrolit konsentrasinya sangat rendah dan hampir hanya terdiri dari air ($H_2O$), akibatnya berat jenis cairan menurun menjadi sekitar 1,1 kg/dm$^3$ dan ini mendekati berat jenis air yang 1 kg/dm$^3$.

Sedangkan baterai yang masih berkapasitas penuh berat jenisnya sekitar 1,285 kg/dm$^3$. Dengan perbedaan berat jenis inilah kapasitas isi baterai bisa diketahui apakah masih penuh atau sudah berkurang yaitu dengan menggunakan alat hidrometer.

Berikut adalah proses kimia saat pemakaian pada akumulator (aki) seperti terlihat pada gambar 2.7 berikut ini.




**Gambar 2.7.** Keadaan pada baterai

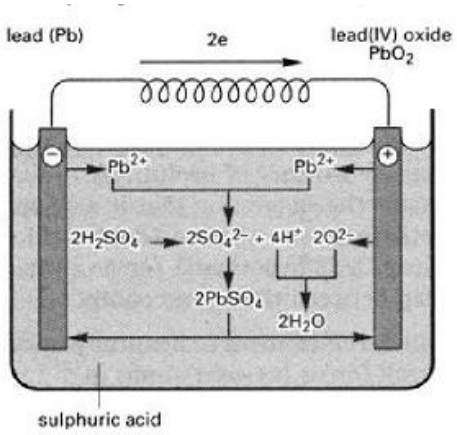
(a). Ilustrasi baterai dalam keadaan terisi penuh

(b). Ilustrasi baterai saat mengeluarkan arus

(c). Ilustrasi baterai dalam keadaan tak terisi [7,8]

Dari gambar 2.7 dapat diketahui bahwa ion $SO_4$ bereaksi saat pemakaian, terlepas dari molekul H dan bergabung dengan molekul Pb, dan saat pengisian terjadi sebaliknya, molekul $SO_4$ terlepas dari Pb dan kembali bereaksi dengan molekul H, dan terbentuk kembali molekul $H_2SO_4$.

Proses yang terjadi pada akumulator bisa juga diilustrasikan oleh gambar 2.8 berikut ini. [7]




Gambar 2.8. Ion-ion pada akumulator (aki) atau baterai.[8]

Dari gambar 2.8 dapat diketahui bahwa ketika terjadi proses pemakaian akumulator (aki), baik itu pemakaian energi ataupun *charging* aki, terjadi perubahan ion-ion dalam aki tersebut, saat pemakaian terjadi proses kimia yang menghasilkan $H_2O$, itulah sebabnya kenapa setelah pemakaian aki massa jenisnya adalah sama dengan air ($H_2O$) karena proses kimia aki tersebut menghasilkan $H_2O$, dan tidak ada lagi beda potensial antara kutub anoda dan katodanya.

Aki yang sudah habis, massa jenisnya sama dengan air yaitu dengan massa jenis 1 $kg/dm^3$ (1 kg per 1000 $cm^3$ atau 1 liter) dan asam sulfat memiliki massa jenis 1,285 $kg/dm^3$ pada suhu 20$^oC$.

Berikut merupakan hal-hal yang perlu diketahui tentang akumulator atau baterai, diantaranya adalah :

**a. Saat akumulator (Aki) menerima arus**

Aki yang menerima arus adalah aki yang sedang disetrum atau dicas dengan cara dialirkan listrik tegangan searah (DC), dimana kutub positif Aki dihubungkan dengan arus listrik positif dan kutub negatif dihubungkan dengan arus listrik negatif. Tegangan yang dialiri adalah sama dengan tegangan total yang dimiliki aki, artinya aki 12V dialiri tegangan 12 V DC, dan jika tegangan aki atau baterainya 6 V maka harus dialiri tegangan 6 V DC juga,

dan dua aki 12 V yang dihubungkan secara seri sebanyak 2 unit maka harus dialiri tegangan 24 V DC (aki yang duhubungkan seri total tegangannya adalah jumlah dari masing-masing tegangan baterai ($Voltase_1 + Voltase_2 = Voltase_{total}$).

Proses penerimaan arus ini berlawanan dengan proses pengeluaran arus, yaitu :

1. Oksigen ($O_2$) dalam air ($H_2O$) terlepas karena bereaksi dengan timah (Pb) pada pelat positif dan secara perlahan-lahan kembali menjadi oksida timah colat ($PbO_2$).
2. Asam ($SO_4$) yang menempel pada kedua pelat (pelat positif maupun negatif) terlepas dan bergabung dengan hidrogen (H) pada air ($H_2O$) di dalam cairan elektrolit dan kembali terbentuk menjadi asam sulfat ($H_2SO_4$) sebagai cairan elektrolit. Akibatnya berat jenis cairan elektrolit bertambah menjadi sekitar 1,285 (pada saat aki terisi penuh).

**b. Cairan elektrolit**

Pelat-pelat aki harus selalu terendam cairan elektrolit, tinggi cairan elektrolit sesuai dengan standar dan takaran dari pabrik produsen aki. Setiap aki sudah diberikan takaran berapa banyak minimum dan maksimum jumlah dari cairan elektrolit pada aki tersebut jadi kita bisa mengontrol keadaan larutan elektrolt aki. Oleh karena itu kita harus memeriksa tinggi cairan elektrolit dalam aki setidaknya 1 bulan sekali karena senyawa dari cairan elektrolit bisa menguap terutama akibat panas yang terjadi pada proses pengisian (*charging*).

Jika cairan terlalu tinggi, hal ini akan memberikan dampak buruk karena cairan elektrolit bisa tumpah melalui lubang-lubang sel (misalnya pada saat terjadi pengisian) dan dapat merusak benda-benda yang ada disekitar aki akibat korosi, misalnya sepatu kabel, penyangga atau dudukan baterai, dan bisa menyebabkan korosi, selain itu proses pendinginan dari panasnya cairan elektrolit aki oleh udara yang ada dalam sel tidak efisien akibat kurangnya udara yang terdapat di dalam sel, dan juga asam sulfat akan berkurang karena tumpah keluar.

Bila asam sulfat berkurang dari volume yang seharusnya maka kapasitas baterai tidak akan maksimal karena proses kimia yang terjadi tidak dalam keadaan optimal sehingga tenaga atau kapasitas yang bisa diberikan oleh aki akan berkurang, yang sebelumnya bisa menyuplai 7 Ampere dalam satu jam menjadi kurang dari 7 Ampere dalam satu jam, yang sebelumnya bisa memberikan pasokan tenaga hingga 1 jam kini kurang dari 1 jam isi atau tenaga aki sudah habis.

**c. Kapasitas Aki**

Kapasitas aki adalah jumlah Ampere-hours (Ah = kuat arus dalam satuan Ampere x waktu dalam satuan jam atau hours), misalnya kapasitas aki 10 Ah, artinya aki dapat memberikan atau menyuplai energi listrik sebesar 10 Ampere dalam satu jam, atau menyuplai energi listrik 5 Ampere dalam 2 jam sesuai dengan hasil perkaliannya.

**d. Jumlah bahan aktif**

Makin besar ukuran pelat yang bersentuhan dengan cairan elektrolit maka makin besar kapasitasnya, makin banyak pelat yang bersentuhan dengan cairan elektrolit maka makin besar kapasitasnya. Jadi untuk mendapatkan kapasitas yang besar maka luas pelat dan banyaknya pelat haruslah ditingkatkan, dengan catatan bahwa pelat haruslah terendam oleh cairan elektrolit.

**e. Temperatur**

Makin rendah suhu (makin dingin) maka makin kecil kapasitas baterai saat digunakan karena proses reaksi kimia akan semakin lambat terjadi pada saat suhu semakin rendah. Kapasitas baterai lebih baik diukur pada suhu kamar atau suhu ruangan, yaitu suhu yang berkisar antara 20-25$^{o}$ C.

**f. Efisiensi charging pada Akumulator (Aki)**

Efisiensi pada akumulator bisa didapatkan dari hasil perhitungan perbandingan antara daya output terhadap daya input. Rumus efisiensi pada akumulator ini dapat dihitung dengan rumus berikut ini :

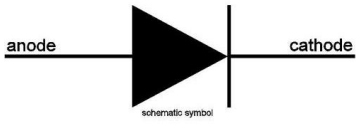
$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{Pout}}{\text{Pin}} \times 100\% \quad (2.6)$$

Dimana daya input adalah daya yang dihasilkan oleh turbin angin dan daya output adalah daya yang dihasilkan saat proses *charging* terjadi pada akumulator.

## 2.5 Rectifier

### 2.5.1 Dioda Sebagai Penyearah

Bahan dasar yang banyak digunakan untuk membuat piranti elektronik adalah bahan semikonduktor germanium (Ge) dan silikon (Si), yang mana kedua bahan ini mempunyai elektron valensi yang sama. Sambungan bahan semikonduktor P dan N mendasari suatu piranti elektronik aktif yang disebut sebagai Dioda. Dioda mempunyai elektroda Anoda yang berkutub positif dan elektroda Katoda yang berkutub negatif.Simbol dioda diperlihatkan seperti pada gambar 2.9 berikut ini.

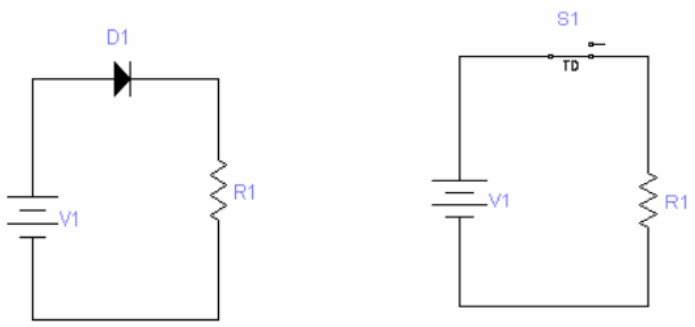



Gambar 2.9. Simbol Dioda [9].

Dari gambar 2.9 dapat diketahui bahwa anoda berada disebelah kiri simbol dan katoda berada di sebelah kanan simbol, arus listrik mengalir dari anoda ke katoda saat forward bias dan tidak akan mengalirkan arus pada arah yang berlawanan yaitu dari katoda ke anoda.

#### 2.5.1.1 Bias Maju (Forward Bias)

Jika anoda dihubungkan pada polaritas positif, sedangkan katoda pada polaritas negatif seperti gambar 2.10, maka keadaan dioda tersebut adalah bias maju (forward-bias) aliran arus dari anoda menuju katoda, dan aksinya sama dengan rangkaian tertutup.



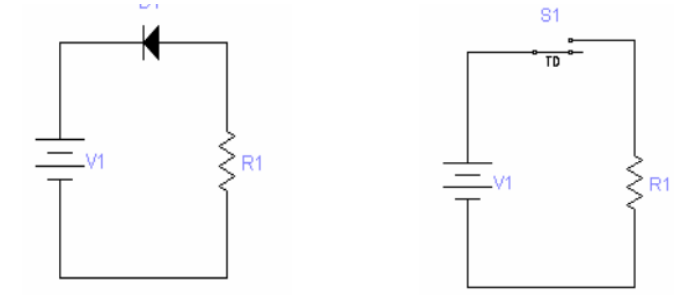

(a) (b)

Gambar 2.10 Forward Bias : (a) Dioda dalam rangkaian,
(b) Ilustrasi dioda diganti dengan saklar (Rangkaian Tertutup) [9]

Dari gambar 2.10 dapat dilihat bahwa ketika keadaan forward bias, dioda yang digunakan bisa diilustrasikan dengan saklar dalam keadaan tertutup pada sebuah rangkaian sehingga arus mengalir dalam rangkaian tertutup tersebut.

### 2.5.1.2 Bias Mundur (Reverse Bias)

Jika katoda dihubungkan pada polaritas positif, sedangkan anoda pada polaritas negatif, maka keadaan dioda tersebut adalah bias mundur (reverse-bias) dan aksinya sama dengan rangkaian terbuka seperti yang diilustrasikan pada gambar 2.11 berikut ini.



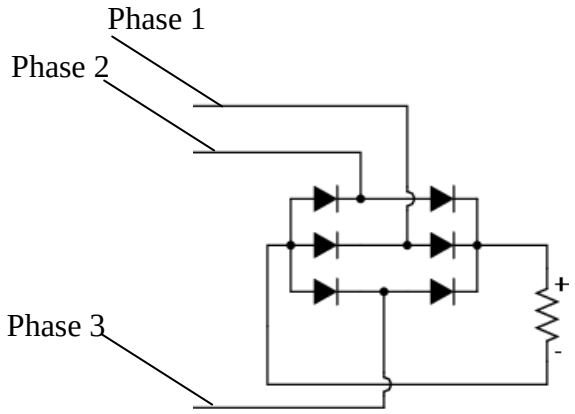

(a) (b)

Gambar 2.11 Reverse Bias : (a) Dioda dalam rangkaian,
(b) Ilustrasi dioda diganti dengan saklar (Rangkaian Terbuka) [9]

Dari gambar 2.11 ini dapat dilihat bahwa rangkaian (a) adalah pemasangan dioda dalam sebuah rangkaian dan gambar (b) adalah ilustrasi dioda dengan sebuah saklar. Dari gambar 2.11 ini, bisa diketahui saat terjadi reverse bias, perumpamaannya adalah dengan saklar terbuka, sehingga arus listrik tidak mengalir atau open circuit.

### 2.5.2 Rectifier 3 Fasa

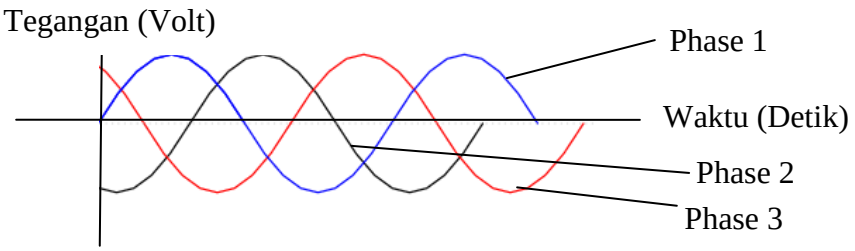
Rectifier 3 fasa adalah alat yang berfungsi mengubah tegangan AC 3 Fasa menjadi tegangan DC. Rectifier 3 fasa ini prinsip kerjanya sama dengan dioda seperti pada penjelasan 2.5.1, tetapi Rectifier 3 Fasa ini mempunyai 2 buah dioda untuk masing-masing fasanya sehingga rectifier 3 fasa mempunyai 6 buah dioda. Rangkaian rectifier 3 fasa adalah seperti pada gambar 2.12 berikut ini.



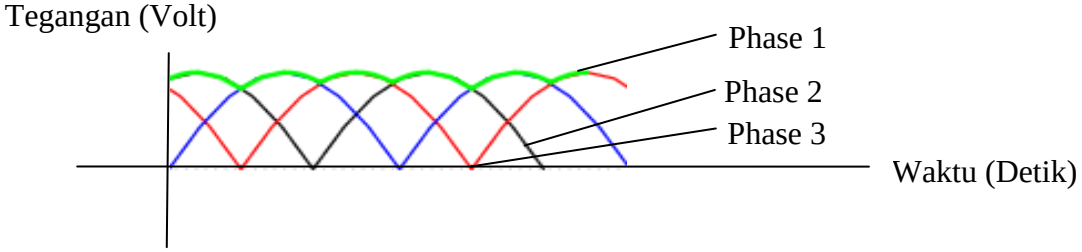

Gambar 2.12. Rangkaian Rectifier 3 Fasa [9].

Dari gambar 2.12 dapat dilihat bahwa input yang diberikan adalah tegangan AC 3 fasa dimana masing-masing fasanya terhubung diantara dua buah dioda yang berbeda yang posisi kedua dioda tersebut arahnya adalah sama.

Input dan output dari rectifier 3 fasa ini dapat dilihat pada gambar 2.13 dan 2.14 berikut ini.




Gambar 2.13 Input 3 Fasa




Gambar 2.14. Output Rectifier 3 Fasa [9].

Dari gambar 2.13 dan 2.14 dapat dilihat bagaimana gambaran dari input dan output antara tegangan AC 3 fasa dan tegangan output DC yang dihasilkan. Dimana fasa 1, fasa 2 dan fasa 3 berbeda $120^{o}$ dan masing-masing fasa tersebut bisa dilihat dari perbedaan warna fasanya.

## 2.6 Kapasitor

Kapasitor adalah alat elektronik yang salah satu fungsinya adalah menyimpan tegangan dan menyuplai tegangan ketika tegangan yang diterimanya menurun. Tegangan akan disimpan oleh kapasitor jika tegangan input naik dan kapasitor akan menyuplai tegangan ketika tegangan input menurun. Penyimpanan dan pengosongan tegangan dari kapasitor ini berfungsi untuk mengurangi riak-riak pada tegangan DC yang dihasilkan yang akan membuat tegangan DC tersebut akan mendekati garis lurus. Rumus penyimpanan tegangan pada kapasitor dapat dilihat pada rumus 2.7 berikut ini.

$$V_c(t) = V_{in}\left\{1 - e^{-t/RC}\right\} \quad \text{.....(2.7) [10]}$$

Dan rumus Pengosongan pada kapasitor adalah pada persamaan 2.8 berikut ini :

$$V_c(t) = V_{in} + \left\{\{V_c(0) - V_{in}\}e^{-t/RC}\right\} \quad \text{.....(2.8) [10]}$$

Dari rumus 2.7 dan 2.8 dapat diketahui bahwa untuk pengisian kapasitor, semakin lama atau semakin besar t, maka semakin besar tegangan yang bisa diisi atau disimpan oleh kapasitor dan mendekati besar tegangan input, sedangkan untuk rumus pengosongan kapasitor, semakin lama atau semakin besar nilai t, maka semakin kecil tegangan kapasitor tersebut dan mendekati nol (habis).

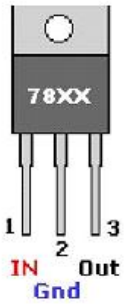
## 2.7 IC Regulator atau IC LM 7815

### 2.7.1 Definisi dan Jenis IC LM 7815

IC LM 7815 adalah suatu alat elektronika yang berfungsi membatasi tegangan maksimum suatu rangkaian. Tegangan yang dibatasi bermacam-macam tergantung jenis IC LM 78XX nya, ada beberapa jenis IC LM 78, diantaranya IC LM 7810, LM 7812, LM 7815, LM 7818 dan masih ada jenis IC LM 78XX lainnya.

### 2.7.2 Port Pada IC LM 7815

IC LM 7815 ini mempunyai 3 buah port. Port sebelah kiri adalah port input, port bagian tengah adalah ground dan port bagian kanan adalah port output. Berikut adalah gambar alat IC LM 7815.




Gambar 2.15. IC LM 78XX [11]

Dari gambar 2.15 dapat dilihat bahwa IC LM 78XX mempunyai 3 buah port, yaitu input, ground dan output. Port input berfungsi sebagai tempat input pada IC sedangkan port output adalah port tempat hasil proses atau keluaran dari IC LM 7815.

### 2.7.3 Datasheet IC LM 7815

Setiap IC LM 78XX mempunyai karakteristik yang berbeda-beda, dari datasheet tersebut bisa kita ketahui karakteristik dari suatu IC seperti input maksimal yang bisa diinputkan, output maksimal yang bisa dihasilkan, temperatur, arus dan banyak parameter lainnya. Berikut adalah datasheet dari IC LM 7815 seperti yang dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2.3. Datasheet IC LM 7815 [12]

| Parameter | Symbol | Conditions | MIN | TYP | MAX | UNIT |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Output Voltage | $V_O$ | $T_J$ = 25 °C | 14.40 | 15 | 15.60 | V |
| Line Regulation | $\Delta V_O$ | $V_I$ = 17.5V to 30V $T_J$ = 25 °C | | 12 | 300 | mV |
| | | $V_I$ = 20V to 26V $T_J$ = 25 °C | | 3 | 150 | |
| Load Regulation | $\Delta V_O$ | $I_O$ = 5mA to 1.5A, 25 °C | | 12 | 300 | mV |
| | | $I_O$ = 250mA to 750mA, 25 °C | | 4 | 150 | |
| Ripple Rejection | RR | $V_I$ = 18.5V to 28.5V, f=120Hz | 54 | 70 | | dB |
| Output Noise Voltage | $V_N$ | F= 10Hz to 100Hz TJ = 25 °C | | 90 | | µV |
| Dropout Voltage | $V_D$ | $T_J$ = 25 °C | | 2.0 | | V |
| Quiescent Current | | $T_J$ = 25 °C | | 4.3 | 8.0 | mA |
| Quiescent Current Change | $\Delta I_Q$ | $V_I$ = 17.5V to 30V, $T_J$ = 25 °C | | | 1.0 | mA |
| | | $I_O$ = 5mA to 1A, $T_J$ = 25 °C | | | 0.5 | |

Dari tabel 2.3 dapat dikatehui bahwa IC LM 78XX dapat beroperasi hingga pada suhu 25$^o$C. IC ini beroperasi maksimal pada frekuensi 120 Hz, tegangan output yang dihasilkan adalah antara 14.40 volt sampai 15.60 volt. Untuk ripple rejection yaitu pada tegangan 18.5–28.5V. Dan drop tegangan pada IC LM ini bisa mencapai 2 Volt.

# BAB III

## RANCANGAN TURBIN ANGIN SUMBU HORIZONTAL

### 3.1 Peralatan yang Digunakan Dalam Pengujian.

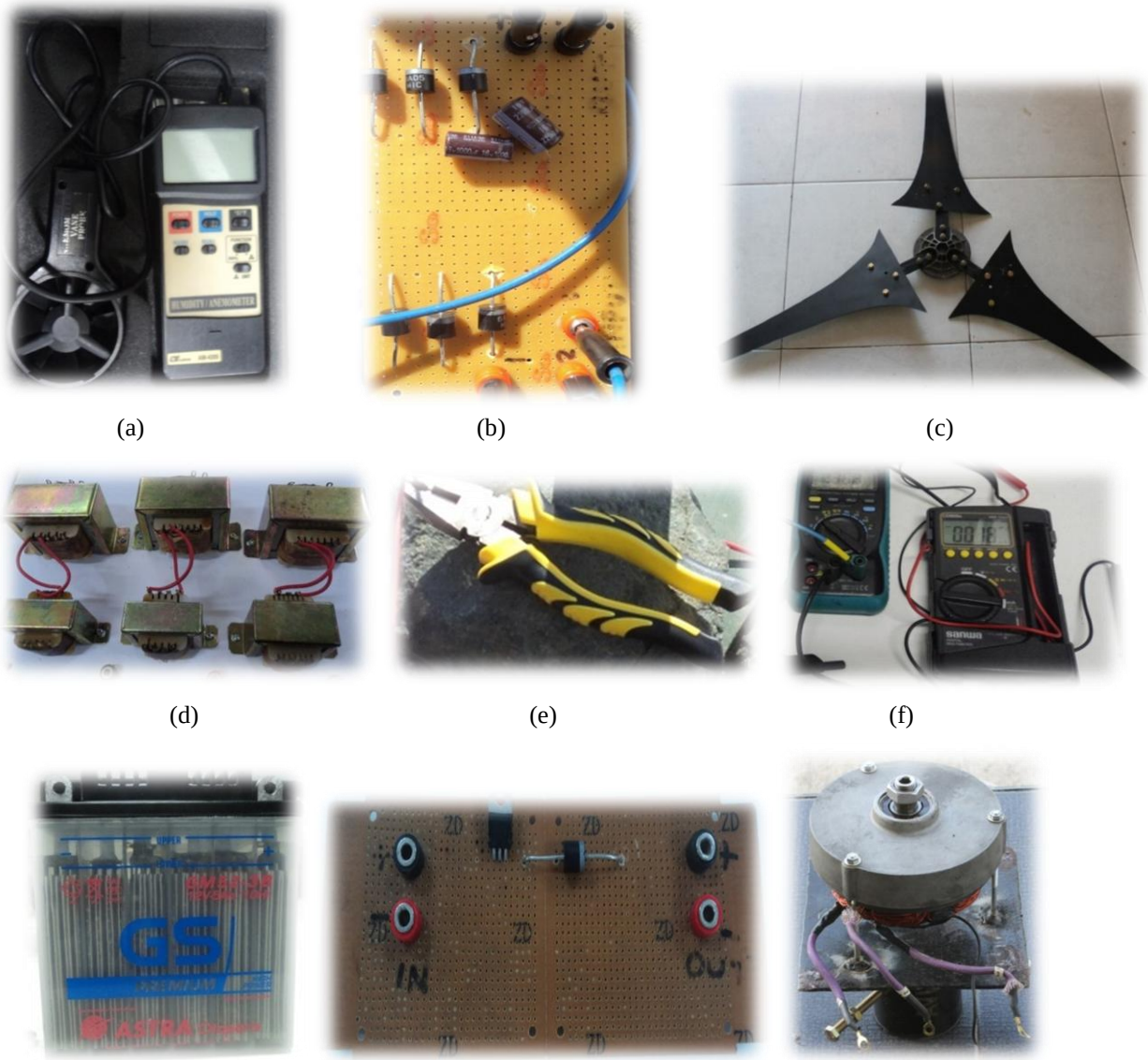
Alat yang diuji adalah turbin angin sumbu horizontal yang dipasang pada ketinggian sekitar 1.5 m dari permukaan tanah. Daerah pemasangan turbin angin ini adalah daerah tepi Pantai Purus dibelakang Pangeran Beach Hotel, Padang, Sumatera Barat. Pemilihan daerah melalui proses survey lokasi selama beberapa hari ini memiliki tiupan angin yang relatif konstan sepanjang hari dan lokasi yang mudah dijangkau. Peralatan yang digunakan pada pengujian bisa dilihat dari tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3.1. Perlengkapan Pengujian

| No. | Alat | Jumlah |
|---|---|---|
| 1. | Generator Sinkron 3 fasa | 1 unit |
| 2. | Turbin Angin | 3 Sudu |
| **3.** | Jumper dan Kabel secukupnya | ± 6 m |
| 4. | Kunci Pas | 1 unit |
| 5. | Tang | 1 unit |
| 6. | Anemometer “Lutron AM-4205” | 1 unit |
| 7. | Rectifier 3 Fasa + kapasitor + IC LM 7815 | 1 unit |
| 8. | Akumulator (Aki) 12V DC 5 AH | 1 unit |
| 9. | Tiang besi | 1.5 m |
| 10. | Transformator (Trafo) | 6 unit |
| 11. | Multimeter “Sanwa CD800a” | 1 unit |
| 12. | Tempat dudukan generator | 1 unit |

Dari tabel 3.1 dapat diketahui perangkat alat apa saja yang diperlukan dan digunakan dalam penelitian ini, masing-masing alat mempunyai fungsi dan peranan yang

berbeda beda. Diantaranya adalah generator yang berfungsi menghasilkan tegangan output, transformator yang berfungsi menaikkan tegangan output sesuai dengan kebutuhan, turbin angin yang berfungsi menerima energi angin sehingga turbin bisa memutarkan generator, rectifier sebagai penyearah, dan multimeter yang digunakan adalah sebagai alat ukur. Gambar 3.1 menunjukkan alat yang digunakan dalam penelitian ini, diantaranya adalah sebagai berikut.




(a) (b) (c)

(d) (e) (f)

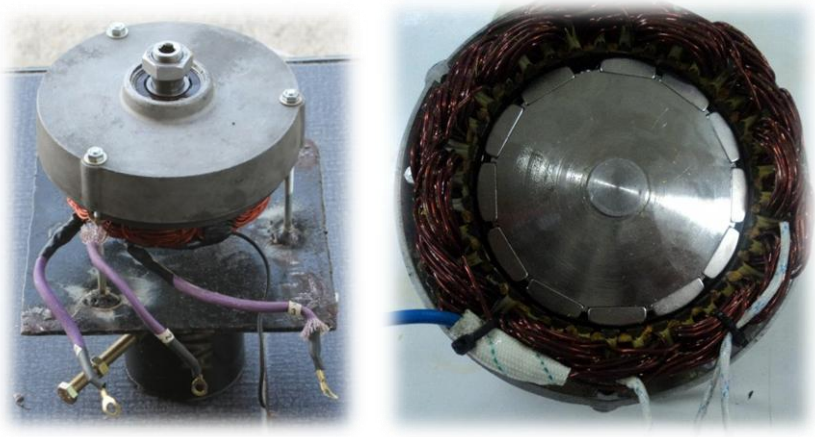
(g) (h) (i)

Gambar 3.1.Alat– alat perlengkapan pengujian; (a) Anemometer ,
(b) Rectifier 3 Fasa, (c) Turbin angin, (d)Transformator, (e) Tang, (f) Multimeter,
(g) Akumulator (Aki), (h) IC LM 7815 + Dioda, dan (i) Generator Sinkron.

Dari gambar 3.1 dapat diketahui beberapa sampel alat yang digunakan, alat alat inilah yang akan dipergunakan untuk penelitian Analisa Proses *Charging* dari Prototipe Turbin Angin Sumbu Horizontal.

## 3.2 Generator

Generator yang akan digunakan adalah generator sinkron tiga fasa dengan eksitasi magnet pemanen. Generator ini adalah generator bekas turbin angin *Air-X*. Generator ini dianggap sesuai dengan rancangan turbin angin yang akan dibuat karena merupakan jenis generator yang dibuat untuk keperluan turbin angin putaran lambat dimana generator ini memiliki 12 kutub magnet permanen pada bagian rotornya seperti yang dapat dilihat pada gambar 3.2 berikut ini. Pada penelitian ini, diharapkan generator dapat berputar dari energi angin yang diterima oleh turbin angin saat kecepatan angin mulai dari dibawah 3.0 m/s.



(a) (b)

Gambar 3.2. Generator Sinkron 3 Fasa: (a) Tampak atas, dan (b) tampak bawah.

Dari gambar 3.2 dapat dilihat bahwa gambar 3.2 (a) generator dilihat dari bagian atas dan mempunyai 4 buah kawat, 3 buah adalah output 3 fasa dan satu kawat adalah netralnya. Pada bagian bawah (b), tampak generator menggunakan magnet permanen 3 fasa sebanyak 12 kutub, jumlah kutub ini akan sangat berpengaruh terhadap frekuensi yang akan dihasilkan.

## 3.3 Turbin Angin

Turbin angin yang digunakan adalah turbin angin dengan 3 buah sudu yang terbuat dari bahan arkrilik dengan kemiringan sudut ditiap sudunya adalah $5^o$. Turbin angin terbuat dari bahan akrilik karena bahan ini termasuk bahan ringan dan bisa menerima energi angin dengan baik. Gambar 3.3 berikut adalah gambar dari turbin angin yang digunakan pada penelitian ini.

Gambar.3.3. Turbin Angin Material Arkrilik [2].

Dari gambar 3.3 dapat dilihat bahwa ketiga sudu turbin angin tersebut terpasang dengan sudut yang sama antar sudunya, perbedaan sudut antara sudu satu dengan sudu lainnya adalah $120^o$. Sudut ini dibuat sama besar $120^o$ agar gaya dorong yang dihasilkan dari energi angin adalah seimbang.

## 3.4 Transformator (Trafo)

Sesuai data dilapangan yang telah dilakukan sebelumnya, didapatkan tegangan output rata-rata dari generator adalah 3 $V_{L-L}$. Oleh karena itu tegangan perlu dinaikkan ke 12 Volt agar bisa dilakukan proses *charging*. Berikut adalah trafo yang digunakan pada proses *charging* ini. Karena tidak ada trafo yang bisa menaikkan tegangan langsung dari 3V ke 12 Volt, maka masing masing fasa menggunakan 2 buah trafo, trafo pertama menaikkan tegangan 3V menjadi 220V, trafo kedua menurunkan tegangan trafo dari 220 menjadi 12

Volt. Karena masing–masing fasa menggunakan 2 buah trafo, maka untuk 3 fasa menggunakan 6 buah trafo 1 fasa. Transformator yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.4 berikut ini.

Gambar 3.4.Transformator yang digunakan untuk menaikkan tegangan dari generator.

Dari gambar 3.4 dapat dilihat bahwa trafo yang digunakan adalah berjumlah 6 unit, dimana masing-masing fasa menggunakan 2 buah trafo yang berfungsi menaikkan tegangan dari sekitar 3 volt ke 18 volt AC. Tegangan yang telah dinaikkan oleh trafo tersebut diambil ketiga fasanya dan diinputkan ke Rectifier 3 fasa yang nantinya akan disearahkan menjadi tegangan DC. Pada transformator juga terdapat rugi-rugi tegangan, namun rugi-rugi tegangan ini kecil dan dapat diabaikan.

## 3.5 Rectifier 3 Fasa

Rectifier 3 Fasa ini dibuat untuk mengubah tegangan AC 3 fasa menjadi tegangan DC yang nantinya akan digunakan untuk charging pada akumulator (Aki). Sebagaimana yang telah dijelaskan pada Bab II sebelumnya tentang rectifier 3 fasa, alat ini terdiri atas 6 komponen dioda dimana masing-masing fasa membutuhkan 2 buah dioda. Gambar 3.5 gerikut adalah rectifier 3 fasa yang telah selesai dibuat dan digunakan dalam proses *charging*. Disini digunakan kapasitor untuk mengurangi riak tegangan DC. Rectifier 3 fasa ini ditunjukkan oleh gambar 3.5 berikut ini.

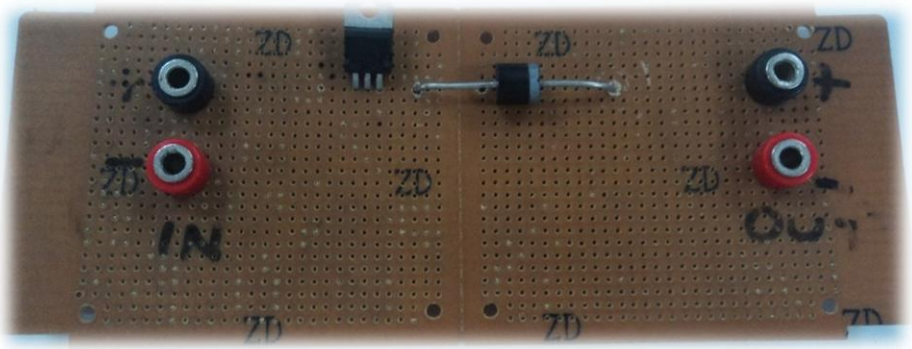
Gambar 3.5. Rectifier 3 Fasa

Dari gambar 3.5 dapat diketahui bahwa input rectifier berada di sisi rangkaian sebelah kiri dengan 3 buah port input berwarna merah dengan input fasa 1, fasa 2 dan fasa 3, sedangkan output rectifier berada disisi rangkaian sebelah kanan yang ditandai dengan 2 buah port berwarna hitam yaitu positif dan negatif.

## 3.6 IC 7815 dan Dioda

Sebagaimana yang telah dijelaskan pada Bab II sebelumnya, IC Regulator ini berfungsi untuk membatasi tegangan maksimum yang akan diinputkan ke Akumulator. Ini bertujuan agar tegangan yang diberikan ke Akumulator (aki) tidak terlalu tinggi yang akan bisa merusak aki. Sedangkan sebuah dioda dipasangkan seri terhadap IC Regulator yang dipasangkan disisi potensial positif adalah bertujuan mencegah arus balik jika tegangan dari generator menurun ketika kecepatan angin berkurang.

Rangkaian IC LM 7815 dan Dioda terpasang sebagai gambar 3.6 berikut ini.

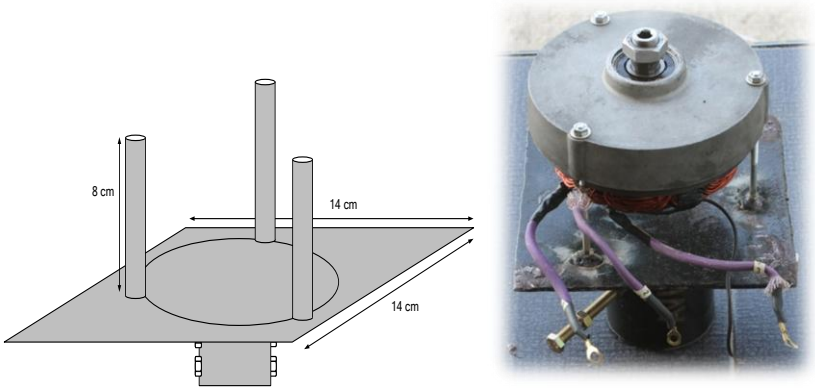



Gambar 3.6. Rangkaian Pemasangan IC LM 7815 dipasang seri terhadap Sebuah dioda sebelum diinputkan ke Akumulator.

Dari gambar 3.6 dapat dilihat bahwa input terletak disebelah kiri rangkaian yang berasal dari hasil output Rectifier 3 fasa. Kemudian output DC disisi kanan inilah yang akan digunakan untuk *charging* pada akumulator (aki).

## 3.7 Dudukan Generator

Tempat dudukan generator adalah alat yang digunakan sebagai penghubung antara tiang turbin angin dan generator 3 fasa. Tempat dudukan generator ini terbuat dari bahan besi dan menggunakan baut – baut besi untuk menguatkan posisinya terhadap tiang turbin angin. Dudukan generator ini dapat dilihat pada gambar 3.7 berikut ini.




(a) (b)

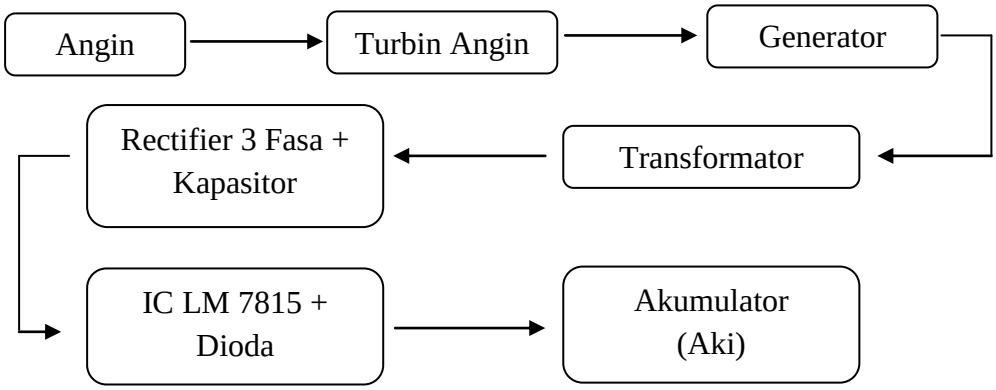
Gambar. 3.7. (a) Tempat dudukan generator, dan
(b) Tempat dudukan generator setelah dipasang dengan generator

Dari gambar 3.7 (a), terlihat desain dudukan generator, tempat dudukan generator terbuat dari pelat besi berwarna hitam dan mempunyai 3 buah tiang besi kecil dengan panjang 8 cm dan pelat persegi panjang sebagai landasan dudukannya adalah berukuran 14x36 cm. Sedangkan gambar 3.7 (b) adalah gambar alat dudukan generator setelah dipasang dengan generator sinkron 3 fasa yang akan digunakan pada turbin angin pada penelitian ini.

### 3.8 Proses *Charging*

Proses penyimpanan (*Charging*) dari generator hingga sampai ke Aki adalah sebagai berikut:

1. Turbin angin mendapatkan gaya dorong dari angin sehingga turbin angin memutarkan generator dan menghasilkan tegangan output sekitar 3 Volt AC 3 fasa.
2. Tegangan output dari generator tersebut dinaikkan dengan menggunakan 6 buah transformator 1 fasa hingga tegangannya 12 Volt AC 3 fasa.
3. Tegangan 3 Fasa hasil output dan hasil dinaikkan dengan menggunakan trafo tersebut kemudian diinputkan ke Rectifier 3 fasa yang berfungsi mengubah tegangan AC 3 fasa menjadi tegangan searah DC.
4. Tegangan output dari Rectifier 3 fasa tersebut tidak langsung dipakai untuk *charging*, tapi terlebih dahulu dihubungkan ke IC Regulator IC LM 7815 yang berguna untuk membatasi tegangan DC maksimal keluarannya 15 Volt.
5. Keluaran dari IC Regulator tersebut dihubungkan ke sebuah dioda yang berfungsi sebagai pencegah arus balik jika terjadi penurunan tegangan generator ketika kecepatan angin berkurang.
6. Tegangan keluaran inilah yang dipakai untuk proses *charging* dan dihubungkan ke akumulator. Proses *charging* ini bisa digambarkan oleh skema gambar 3.8 berikut ini.




Gambar 3.8. Skema Proses *Charging*dari turbin angin ke Akumulator (aki)

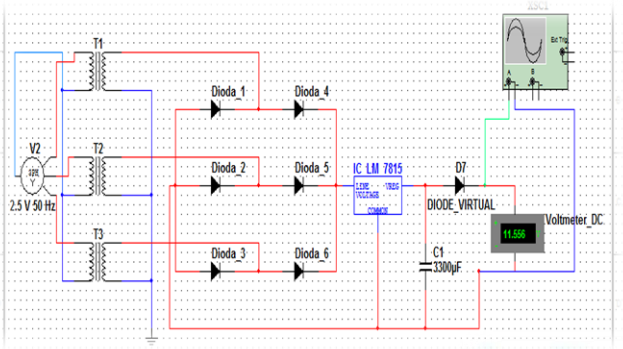
# BAB IV

# PENGUJIAN DAN ANALISIS

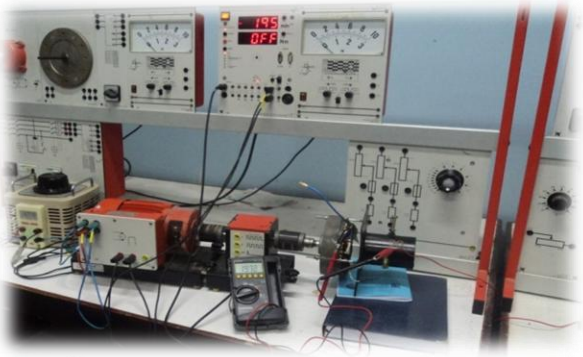
## 4.1 Metode Pengujian Turbin Angin.

Turbin angin yang telah dibuat selanjutnya melalui proses pengujian. Pengujian ini dibatasi hanya untuk menghasilkan tegangan yang dibutuhkan untuk proses *charging*, yaitu tegangan minimal sebesar tegangan aki sebesar 12 Volt DC dan maksimum adalah 110% dari besar tegangan aki, yaitu sebesar 13,5 Volt DC. Pada pengujian ini digunakan sistem tegangan konstan. Pengujian dilakukan dengan pengambilan data di Laboratorium Konversi Energi Elektrik, Melakukan simulasi dengan Multism 11.0 serta melakukan pengujian di Lapangan, yaitu daerah Pantai Padang pada hari dan jam yang berbeda – beda.

Berikut adalah beberapa metoda pengujian yang dilakukan seperti yang ditunjukkan oleh gambar 4.1.




(a)



(b)

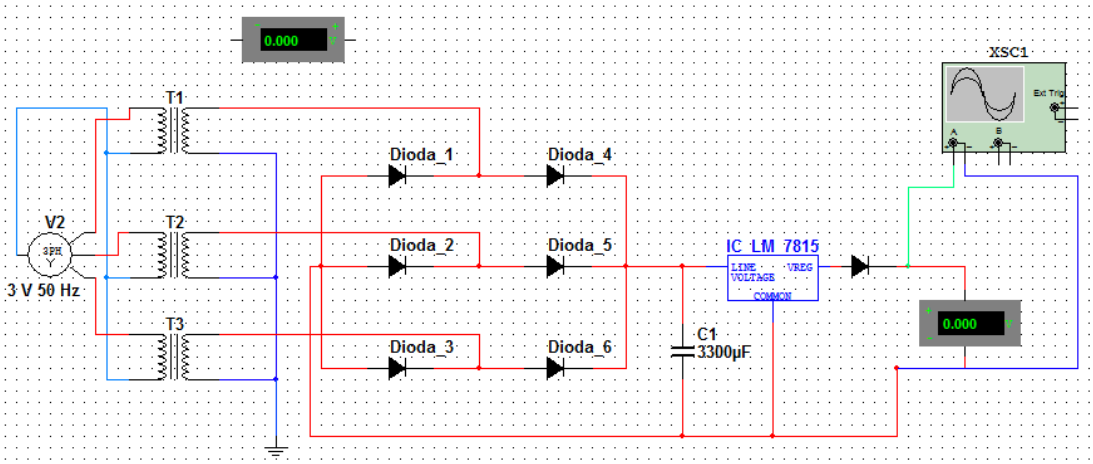
(c)

Gambar 4.1. Metoda Pengujian (a) Dengan menggunakan simulasi program Multism 11.0, (b) Pengujian di Laboratorium Konversi Energi, dan (c) Pengujian di lapangan (pantai).

Dari gambar 4.1 (a), (b), dan (c), dapat kita lihat perbedaan yang jelas antara ketiga metoda pengujian tersebut, ketiga metoda inilah yang akan dianalisa dan dibandingkan antara satu metoda dengan metoda lainnya serta menarik kesimpulan dari data yang didapatkan dari hasil ketiga metoda tersebut.

## 4.2 Pengujian Rangkaian Dengan Simulasi Multism 11.0

Pada metoda simulasi, software yang digunakan adalah Multism 11.0 dengan menggunakan sebuah generator 3 fasa hubungan Y sebagai sumbernya. Pada pengujian simulasi ini, rangkaian disusun seperti pada gambar 4.2 dan divariasikan output dari generator sinkron kemudian dilihat besar output tegangan DC yang dihasilkan. Skema rangkaian simulasi dapat dilihat pada gambar 4.2 berikut ini.




Gambar 4.2. Skema rangkaian pada simulasi Multism 11.0

Dari gambar 4.2 dapat dilihat bahwa skema rangkaian terdiri atas generator, transformator, rectifier 3 fasa, kapasitor, IC LM 7815 serta voltmeter yang digunakan untuk mengukur besar tegangan yang dihasilkan.

Dari simulasi dengan menggunakan program Multism 11.0 ini dapat diketahui bahwa untuk dapat menghasilkan tegangan output DC sebesar minimal 12 Volt DC, diperlukan besar tegangan output dari generator 3 fasa adalah 5.54 $V_{L-L}$ atau 3.2 $V_{L-N}$.

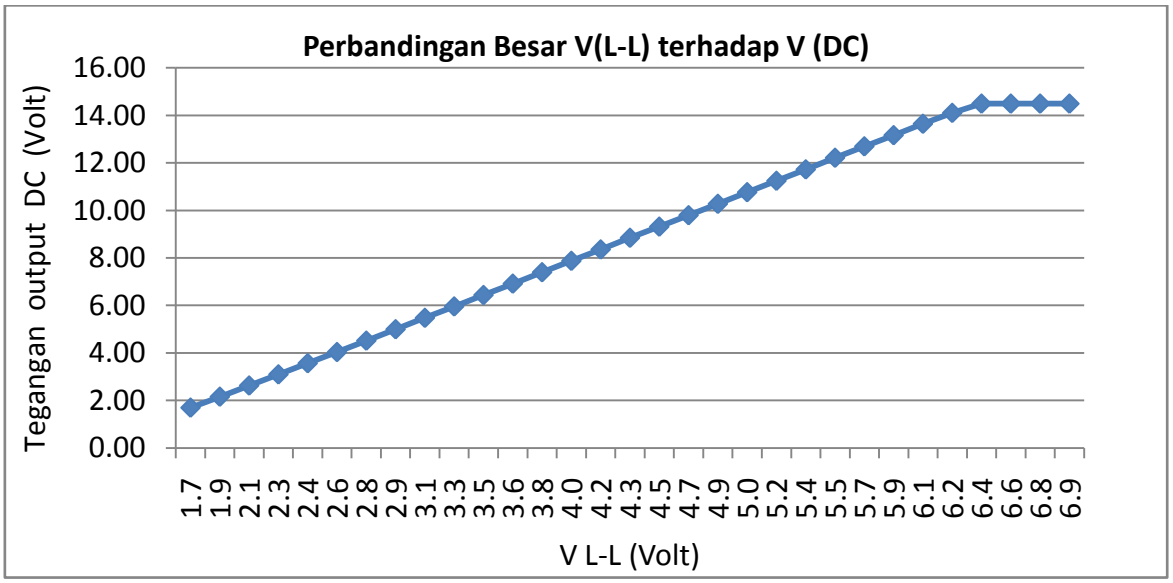
Berikut adalah hasil simulasi yang didapatkan dari software Multism 11.0 seperti yang terlampir pada tabel 4.1.

Tabel 4.1. Data Hasil Simulasi Multism 11.0 dan perbandingannya dengan hasil perhitungan secara teori.

| V L-N | V L-L Simulasi | V L-L Perhitungan | V DC |
|---|---|---|---|
| 1.0 | 1.73 | 1.73 | 1.70 |
| 1.1 | 1.90 | 1.91 | 2.16 |
| 1.2 | 2.08 | 2.08 | 2.63 |
| 1.3 | 2.25 | 2.25 | 3.10 |
| 1.4 | 2.42 | 2.42 | 3.57 |
| 1.5 | 2.59 | 2.60 | 4.04 |
| 1.6 | 2.77 | 2.77 | 4.52 |
| 1.7 | 2.94 | 2.94 | 5.00 |
| 1.8 | 3.11 | 3.12 | 5.48 |
| 1.9 | 3.29 | 3.29 | 5.96 |
| 2.0 | 3.46 | 3.46 | 6.44 |
| 2.1 | 3.63 | 3.64 | 6.92 |
| 2.2 | 3.81 | 3.81 | 7.40 |
| 2.3 | 3.98 | 3.98 | 7.88 |
| 2.4 | 4.15 | 4.16 | 8.36 |
| 2.5 | 4.33 | 4.33 | 8.85 |
| 2.6 | 4.50 | 4.50 | 9.32 |
| 2.7 | 4.67 | 4.68 | 9.80 |
| 2.8 | 4.85 | 4.85 | 10.28 |
| 2.9 | 5.02 | 5.02 | 10.77 |
| 3.0 | 5.19 | 5.20 | 11.25 |
| 3.1 | 5.37 | 5.37 | 11.73 |
| 3.2 | 5.54 | 5.54 | 12.22 |
| 3.3 | 5.71 | 5.72 | 12.70 |
| 3.4 | 5.89 | 5.89 | 13.17 |
| 3.5 | 6.06 | 6.06 | 13.65 |
| 3.6 | 6.23 | 6.24 | 14.11 |
| 3.7 | 6.41 | 6.41 | 14.50 |
| 3.8 | 6.58 | 6.58 | 14.50 |
| 3.9 | 6.75 | 6.75 | 14.50 |
| 4.0 | 6.93 | 6.93 | 14.50 |

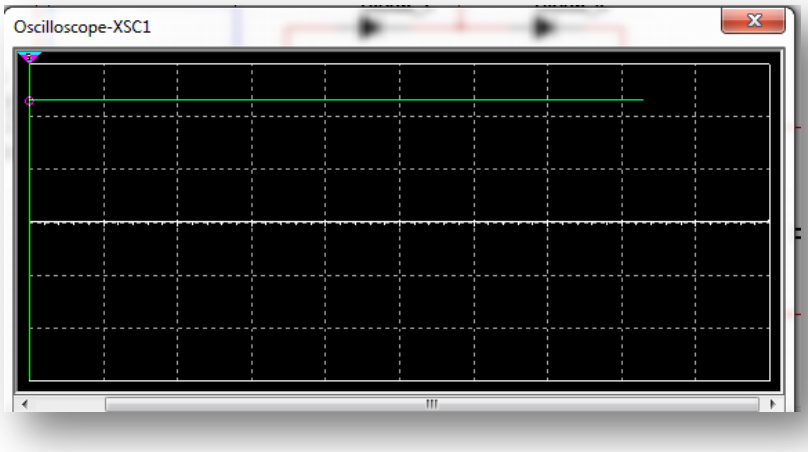
Dari tabel 4.1 dapat diketahui bahwa semakin besar tegangan $V_{LN}$, maka semakin besar pula tegangan $V_{LL}$ dan $V_{DC}$ nya.

Perbandingan antara tegangan $V_{LN}$ terhadap tegangan DC yang dihasilkan bisa dilihat pada tabel 4.1 dan jika dibuat dalam grafik, dapat dilihat pada grafik gambar 4.3 berikut ini.




Gambar 4.3. Grafik Perbandingan $V_{LL}$ terhadap output $V_{DC}$

Dari gambar 4.3 dapat diketahui bahwa semakin besar $V_{LL}$, maka semakin besar $V_{DC}$ yang dihasilkan. Dari hasil simulasi ini, tegangan $V_{LL}$ minimum yang dibutuhkan untuk menghasilkan tegangan 12 Volt DC adalah 5,5 $V_{LL}$ atau 3,2 $V_{LN}$. Namun setelah output sampai pada tegangan 14,50 $V_{DC}$, output tidak akan naik lagi karena menggunakan IC LM 7815 sehingga tegangan maksimum telah dibatasi.Dari hasil simulasi ini dapat disimpulkan bahwa tegangan minimum yang dibutuhkan untuk proses *charging* adalah 5,5 $V_{LL}$ atau 3,2 $V_{LN}$ dengan gambar output tegangan DC seperti pada gambar 4.4 berikut ini.

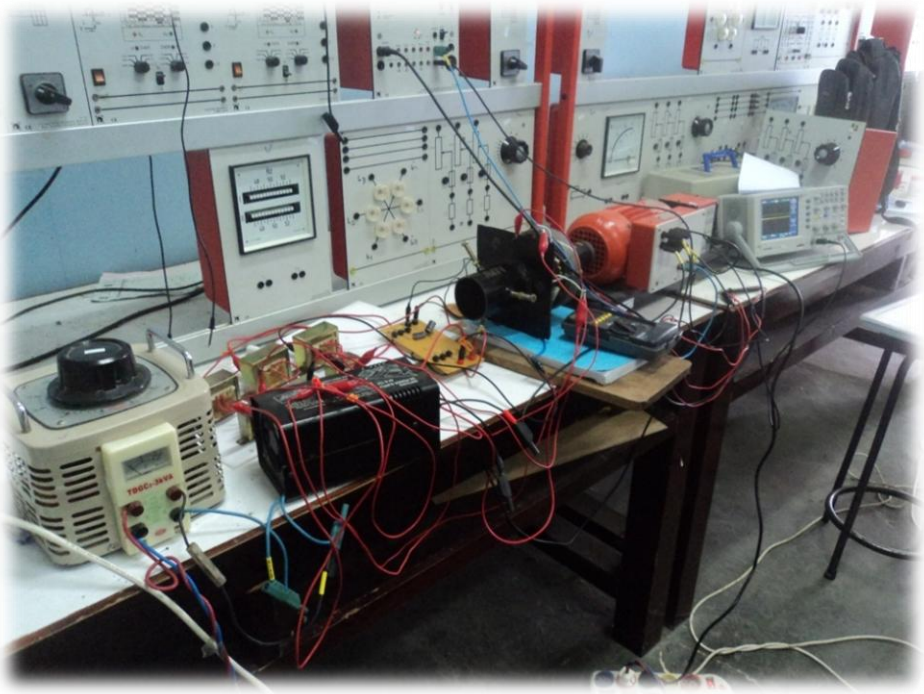



Gambar 4.4.Output tegangan DC 12 Volt dari hasil simulasi Multism 11.0.

Gambar 4.4 adalah gambar output tegangan DC dari hasil simulasi software Multism 11.0 dimana pada osiloskop settingnya adalah 5 volt per div.

## 4.3 Pengujian di Laboratorium Konversi Energi Elektrik (LKEE)

Pada tahap pengujian laboratorium ini, generator 3 fasa yang digunakan diuji di Laboratorium Konversi Energi Elektrik (LKEE) dengan input energi adalah putaran dari sebuah motor. Input yang diberikan adalah kecepatan motor yang berfariasi (dalam satuan rpm). Gambar 4.5 berikut adalah gambar pengujian alat yang terpasang saat pengujian di Laboratorium LKEE.



Gambar 4.5.Pengujian alat di Laboratorium Konversi Energi Elektrik.

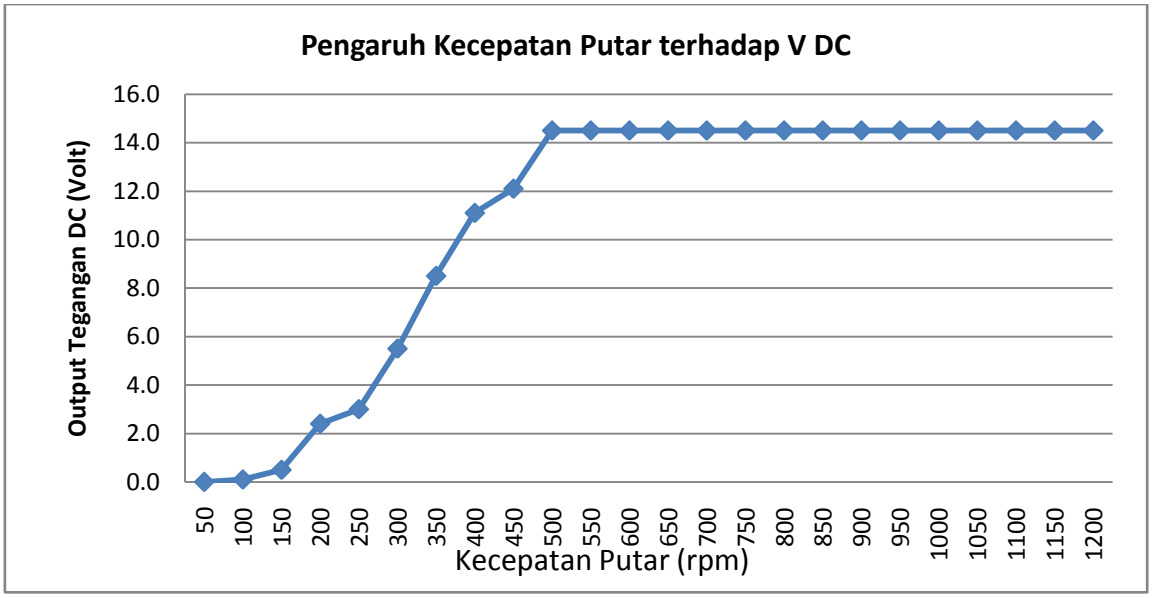
Dari gambar 4.5 dapat dilihat bahwa alat dipasang dengan input adalah putaran dari sebuah motor. Input kecepatan dibuat berfariasi dan didapatkan besar kecepatan minimum yang dibutuhkan untuk *charging* beserta melihat outputnya pada multimeter dan osiloskop.

Dari pengujian ini dilihat bagaimana pengaruh kecepatan putar motor terhadap tegangan output serta frekuensi yang dihasilkan. Hasil pengujian yang dilakukan di Laboratorium dapat dilihat pada tabel 4.2 berikut ini.

Tabel 4.2.Hasil Pengujian generator di Laboratorium LKEE.

| Kecepatan Putar (rpm) | V L-L (Volt) | V L-N (Volt) | Frekuensi (Hz) | V DC (Simulasi) | V DC (Pengujian Labor) |
|---|---|---|---|---|---|
| 50 | 0.5 | 0.3 | 5 | 0.0 | 0.0 |
| 100 | 1.2 | 0.7 | 10 | 0.1 | 0.1 |
| 150 | 2.0 | 1.2 | 15 | 2.6 | 0.5 |
| 200 | 2.7 | 1.6 | 20 | 4.5 | 2.4 |
| 250 | 3.4 | 2.0 | 25 | 6.4 | 3.0 |
| 300 | 4.0 | 2.3 | 30 | 7.8 | 5.5 |
| 350 | 4.7 | 2.7 | 35 | 9.8 | 8.5 |
| 400 | 5.2 | 3.0 | 40 | 11.2 | 11.0 |
| 450 | 5.9 | 3.4 | 45 | 13.2 | 12.1 |
| 500 | 6.6 | 3.8 | 50 | 14.5 | 14.5 |
| 550 | 7.2 | 4.2 | 55 | 14.5 | 14.5 |
| 600 | 8.0 | 4.6 | 60 | 14.5 | 14.5 |
| 650 | 8.6 | 5.0 | 65 | 14.5 | 14.5 |
| 700 | 9.2 | 5.3 | 70 | 14.5 | 14.5 |
| 750 | 9.8 | 5.7 | 75 | 14.5 | 14.5 |
| 800 | 10.4 | 6.0 | 80 | 14.5 | 14.5 |
| 850 | 11.2 | 6.5 | 85 | 14.5 | 14.5 |
| 900 | 11.7 | 6.8 | 90 | 14.5 | 14.5 |
| 950 | 12.3 | 7.1 | 95 | 14.5 | 14.5 |
| 1000 | 13.3 | 7.7 | 100 | 14.5 | 14.5 |
| 1050 | 13.9 | 8.0 | 105 | 14.5 | 14.5 |
| 1100 | 14.5 | 8.4 | 110 | 14.5 | 14.5 |
| 1150 | 15.2 | 8.8 | 115 | 14.5 | 14.5 |
| 1200 | 15.8 | 9.1 | 120 | 14.5 | 14.5 |

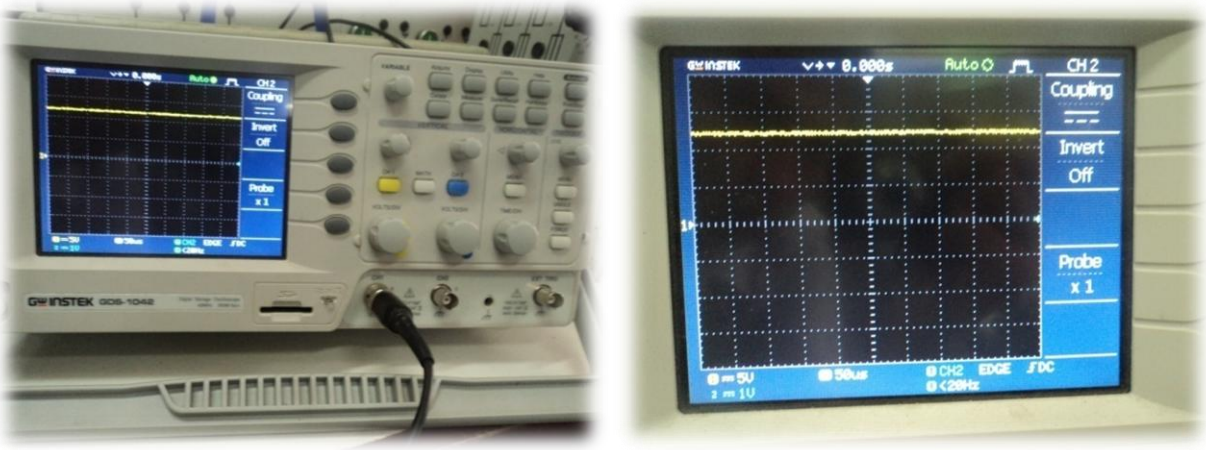
Dari tabel 4.2 dapat dilihat bahwa semakin besar kecepatan putar (rpm), maka semakin besar tegangan yang dihasilkan, baik itu $V_{LL}$, $V_{LN}$, hingga output $V_{DC}$ yang dihasilkan. Namun besar tegangan output DC yanf dihasilkan maksimalnya adalah 14.5 V karena besar tegangan DC dibatasi oleh IC LM 7815. Perbandingan kecepatan putar terhadap besar output tegangan DC yang dihasilkan ini dapat dilihat pada gambar 4.6 berikut ini.




Gambar 4.6. Pengaruh Kecepatan putar terhadap Output Tegangan DC yang dihasilkan

Dari gambar 4.6 dapat diketahui bahwa kecepatan putar minimum untuk bisa menghasilkan tegangan DC sebesar 12 Volt adalah dengan kecepatan 450 rpm. Dan setelah kecepatan 500 rpm keatas, tegangan DC yang dihasilkan konstan 14.5 volt karena tegangan output dibatasi oleh IC LM 7815.

Adapun output tegangan DC yang dihasilkan juga bisa dipantau dari osiloskop seperti yang terlihat pada gambar 4.7 berikut ini.




Gambar 4.7 Output tegangan DC yang dihasilkan saat kecepatan putar 450 rpm.

Dari gambar 4.7 dapat dilihat bahwa output tegangan DC yang dihasilkan adalah 12 Volt DC dimana osiloskop disetting 5 volt/div, dan dari hasil pengujian laboratorium yang dilakukan, kecepatan putar minimum yang dibutuhkan untuk menghasilkan tegangan DC 12 Volt adalah 450 rpm.

Pada pengujian laboratorium ini, juga diukur berapa besar arus yang mengalir pada akumulator (aki) pada saat proses *charging* berlangsung, dan didapatkan data bahwa arus yang mengalir saat *charging* adalah 0,05 Ampere. Untuk waktu pengisian, tentunya arus ini akan sangat lama digunakan untuk charging sebuah aki, dimana aki yang digunakan adalah aki dengan kapasitas 5 Ampere-hours. Kapasitas aki yang akan di*charging* adalah aki dengan kapasitas 80%. Jika kapasitas sebuah aki yang akan di*charging* adalah 80%, maka :

- Kapasitas yang akan diisi = 20% x 5 Ah = 1 Ah.
- Waktu yang dibutuhkan untuk *charging* adalah :

  1 Ah / 0.05 Ampere = 20 hours atau 20 jam.

Jadi waktu yang dibutuhkan untuk melakukan charging pada aki dengan kapasitas 80% adalah 20 hours atau 20 jam.Daya yang dihasilkan oleh generator saat terjadinya proses pengisian (*charging*) adalah:

P = V x I = 12 Volt x 0.05 Ampere
= 0.6 Watt

Daya ini adalah hasil perkalian dari tegangan dan arus DC saat proses *charging* berlangsung. Daya ini termasuk rendah dan belum efisien untuk melakukan *charging* karena membutuhkan waktu yang sangat lama untuk melakukan proses *charging* tersebut. Ini disebabkan karena eksitasi pada generator tidak maksimal lagi dan terdapatnya drop tegangan (jatuh tegangan) pada komponen-komponen dalam rangkaian seperti dioda dan IC LM 7815.

## 4.4 Pengujian Alat di Pantai Padang

Pada pengujian di Pantai ini, alat dipasang di daerah Pantai Purus Padang. Input energi yang diterima oleh turbin angin adalah energi dari angin yang berhembus dari laut ke darat. Pengujian dilakukan pada hari dan jam yang berbeda.

Adapun prosedur pengujian pengujian di Pantai ini adalah sebagai berikut :

a. Mempersiapkan komponen – komponen turbin angin (turbin sumbu horizontal, poros generator sinkron, plat dudukan generator, tiang penyangga) dan peralatan lainnya seperti anemometer, rectifier, kabel secukupnya, trafo, akumulator danmultimeter.
b. Memasang generator pada plat dudukan.
c. Memasang plat dudukan pada tiang.
d. Memasang penghubung antara sudu dan poros pada sudu.
e. Mendirikan tiang dengan turbin angin berada di atasnya pada dudukan tiang.
f. Memasangkan kabel sesuai dengan rancangan alat yaitu pada trafo, rectifier hingga akumulator.
g. Memasangkan multimeter pada output generator dan output DC.
h. Menempatkan anemometer dengan ketinggian yang relatif sama dengan turbin. Jarak antara anemometer dan turbin angin tidak lebih dari 2 m,
i. Mengukur tegangan keluaran generator dan kecepatan putar turbin berdasarkan variasi kecepatan angin, baik itu tegangan $V_{LL}$ ataupun $V_{LN}$.
j. Mengukur kecepatan angin minimum ketika turbin mulai bergerak dan berputar sehingga bisa membangkitkan tegangan.

Setelah dilakukan pengujian dengan prosedur diatas, maka didapatkanlah hasil pengujian seperti yang tertera pada tabel 4.3 berikut ini.

Tabel 4.3. Hasil Pengujian Turbin Angin di Pantai

| Kecepatan angin (m/s) | $V_{L-N}$ (volt) | Waktu Pengambilan data (WIB) |
|---|---|---|
| 2.1 | 0.01 Turbin Angin mulai berputar | 7 Juli 2012 ; 13.20 WIB |
| 2.4 | 1.18 | 7 Juli 2012 ; 13.25WIB |
| 2.3 | 1.05 | 7 Juli 2012 ; 13.30WIB |
| 2.5 | 1.30 | 7 Juli 2012 ; 13.35WIB |
| 2.2 | 0.80 | 7 Juli 2012 ; 13.40 WIB |
| 2.7 | 1.60 | 7 Juli 2012 ; 13.45WIB |
| 2.9 | 1.70 | 7 Juli 2012 ; 13.50WIB |
| 3.0 | 1.82 | 7 Juli 2012 ; 13.55WIB |
| 3.1 | 1.99 | 7 Juli 2012 ; 14.00WIB |
| 3.3 | 2.28 | 7 Juli 2012 ; 14.05WIB |
| 3.5 | 2.42 | 7 Juli 2012 ; 14.10WIB |
| 2.8 | 1.65 | 7 Juli 2012 ; 14.15WIB |
| 3.5 | 2.42 | 7 Juli 2012 ; 14.20WIB |
| 3.8 | 2.60 | 7 Juli 2012 ; 14.25WIB |
| 4.0 | 2.92 | 7 Juli 2012 ; 14.30WIB |
| 4.5 | 3.20 | 7 Juli 2012 ; 14.35WIB |

Dari tabel 4.3 terlihat bahwa kecepatan angin barbanding lurus dengan besarnya tegangan yang dibangkitkan oleh generator. Turbin angin mulai berputar pada kecepatan angin 2.1 m/s, hal ini cukup baik mengingat turbin angin masih mampu berputar walau kecepatan angin rendah. Desain dan skema alat ketika pengambilan data di lapangan terlihat pada gambar 4.8 berikut ini.

Gambar 4.8. Pemasangan Alat di Pantai Purus Padang.

Dari pengujian di lapangan, kecepatan angin minimum yang dibutuhkan untuk menghasilkan tegangan DC 12 Volt adalah 4,5 m/s, setelah pengujian, tegangan aki sebelum melakukan percobaan adalah 10.54 Volt, percobaan dilakukan selama 1 jam dengan kecepatan angin antara 2,2m/s – 5.5m/s.

Tegangan akhir setelah pengujian selama 1 jam adalah 10.7 Volt. Dengan besar arus rata-rata yang mengalir adalah 0.0667 Ampere = 66.7 mA. Aki yang digunakan untuk dilakukan proses *charging* adalah aki dengan kapasitas 80%. Maka kapasitas 20% aki yang akan diisi adalah 20% x 5Ah = 1 Ah. Dengan demikian, waktu yang diperlukan untuk mengisi energi aki dari 80% sampai penuh yaitu dengan perhitungan :

1 Ah / 0.0667 Ampere = 15 hours.

Daya yang dihasilkan oleh generator dalam melakukan proses charging adalah:

Daya = Tegangan x Arus = V x I

= 12 Volt x 0.06 A = 0.72 Watt

Dari besar arus charging hasil pengukuran dan besarnya daya dari hasil perhitungan, maka dapat diketahui bahwa waktu yang dibutuhkan untuk *charging* ini termasuk lama dan belum maksimal, hal ini disebabkan oleh eksitasi magnet permanen yang sudah tidak kuat lagi, kecepatan angin yang berubah-ubah yang cenderung tidak kencang sehingga output yang dihasilkan juga berubah-ubah dan hasilnya tidak maksimal, serta adanya jatuh tegangan pada komponen-komponen rangkaian seperti dioda dan IC LM 7815.

Hasil pengujian di Pantai ini hampir sama dengan hasil pengujian di Laboratorium yaitu arus *charging* adalah sebesar 0,05 A di Laboratorium dan 0,06 A hasil penelitian di Pantai.

Dalam penelitian ini, Pin (Daya input) diambil dari daya ideal yang diterima oleh turbin angin dari energi angin sedangkan daya output adalah daya yang dihasilkan pada saat terjadi proses *charging*.

A = Luas sapuan angin = $(3.14)(0.75^2) = 1.76\ m^2$

Kecepatan angin = 4.5 m/s dan kecepatan putar rotor = 450 rpm

Daya Angin = $\frac{1}{2}\rho AV^3 = \frac{1}{2}(1.2)(1.76m^2)(4.5)^3$ = 96.23 Watt

TSR = $\frac{\text{Kecepatan Putar rotor (rps) x Rotor sudu (m)}}{\text{Kecepatan angin (m/s)}}$

TSR = $\frac{(450/60)\text{ rps x }(0.75\text{m})}{4.5\text{ m/s}} = 1.25$

Dari gambar 2.2 dapat diketahui bahwa TSR 1.25 maka Cp nya adalah 0.019.

Daya input = Daya Turbin Angin = $\frac{1}{2}\rho AV^3Cp = \frac{1}{2}(1.2)(1.77m^2)(4.5)^3(0.019)$=1.84 W

Daya Output = Daya yang dihasilkan saat proses *charging* berlangsung = 0.72 Watt

Sehingga bisa didapatkan efisiensi dengan rumus sebagai berikut :

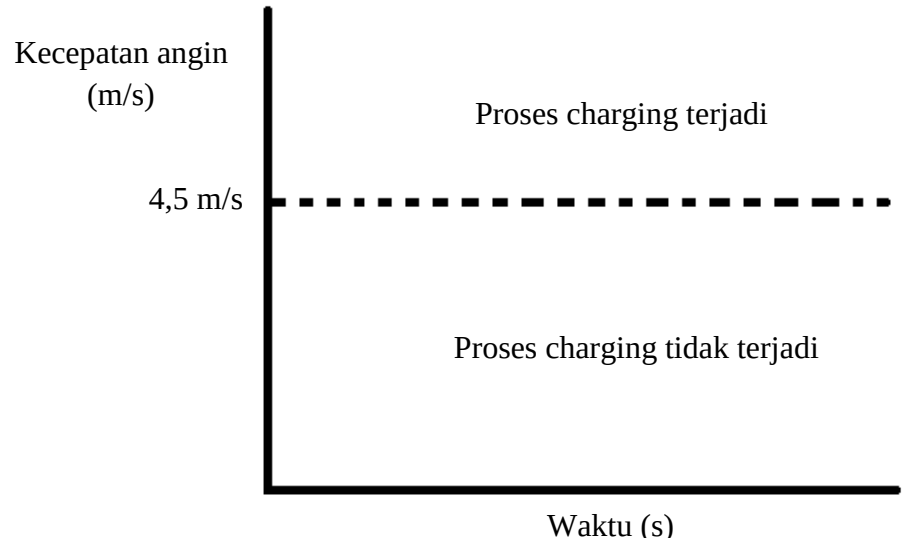
Efisiensi = (Pout/Pin) x 100% = (0.72 / 1.84) x 100% = 39.13%

Dari hasil perhitungan didapatkan bahwa besar efisiensi pada penelitian ini adalah 39.13%.

## 4.5 Pengolahan Ketiga Metoda Pengujian

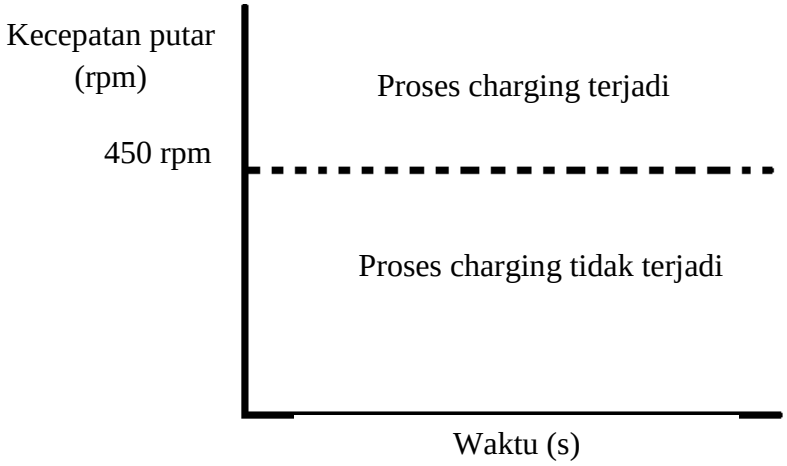
Dari pengujian ketiga metoda, didapatkan hasil analisa bahwa untuk melakukan proses *charging*, secara simulasi tegangan dari generator yang dibutuhkan adalah minimal 3,1 $V_{LN}$ atau 5,37 $V_{LL}$. Sedangkan pada pengujian laboratorium, kecepatan putar minimum yang dibutuhkan untuk menghasilkan tegangan DC 12 Volt adalah 450 rpm. Sedangkan untuk hasil pengujian di Pantai Purus Padang, kecepatan angin minimal yang dibutuhkan untuk menghasilkan tegangan DC 12 Volt adalah 4,5 m/s. Dari hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa kecepatan angin dan kecepatan putar minimum yang diperlukan untuk menghasilkan tegangan 12 Volt DC dapat dilihat dari grafik pada gambar 4.9 berikut ini.

**Kecepatan angin minimum yang dibutuhkan untuk charging akumulator (Menghasilkan tegangan DC 12 Volt)**




Gambar 4.9 (a) Grafik kecepatan angin minimum untuk proses charging

**Kecepatan putar minimum yang dibutuhkan untuk charging akumulator (menghasilkan tegangan DC 12 Volt)**




Gambar 4.9 (b) Grafik kecepatan putar minimum untuk proses charging

Dari gambar 4.9 (a) dan (b) dapat diketahui bahwa proses charging pada akumulator dengan menghasilkan tegangan 12 Volt DC minimal perjadi pada saat kecepatan angin 4,5 m/s atau dengan kecepatan putar 450 rpm.

# BAB V

# KESIMPULAN DAN SARAN

## a) Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Besar arus *charging* rata-rata yang dihasilkan adalah 0.06 A dengan menggunakan metoda tegangan konstan.
2. Dari data lapangan yang didapatkan, kecepatan angin minimal yang diperlukan untuk memutarkan turbin angin adalah 2,1 m/s dan untuk menghasilkan tegangan 12 Volt DC kecepatan minimum angin yang dibutuhkan adalah adalah 4,5 m/s.
3. Dari hasil penelitian di Laboratorium Konversi Energi, kecepatan putar minimum yang diperlukan untuk menghasilkan tegangan 12 Volt DC adalah 450 rpm.
5. Efisiensi yang didapatkan pada penelitian ini adalah 39.13 %. Hal ini terjadi karena adanya rugi-rugi dan drop tegangan pada dioda, IC LM 7815 dan pada transformator.

## b) Saran

a. Pada penelitian selanjutnya turbin horizontal dapat diharapkan dibuat dengan bahan yang lebih ringan, lebih murah dan dan dengan desain yang lebih sempurna lagi sehingga turbin angin bisa mengkonversi energi angin lebih baik lagi.

b. Pada penelitian ini pencatatan data cukup sulit dan data yang didapatkan masih belum sempurna, hal ini dikarenakan kecepatan angin alam yang selalu berubah – ubah dengan cepat dan alat ukur yang terlalu sensitif sehingga penulis kesulitan dalam hal pencatatan data hasil penelitian sehingga untuk penelitian berikutnya diharapkan dapat dilakukan dengan sumber angin buatan atau alat ukur yang lebih baik lagi agar didapatkan data yang baik, akurat dan sempurna.

c. Gunakanlah generator dengan eksitasi yang lebih besar agar energi yang dihasilkan juga lebih maksimal.