

**RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN  
UNTUK KEBUTUHAN LISTRIK SKALA KECIL**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat  
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Pada jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia



**Disusun Oleh:**

**Nama : HENDRA LESMANA**

**NIM : 05524034**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA**

**2011**

**LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING**

**RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN  
UNTUK KEBUTUHAN LISTRIK SKALA KECIL**



Pembimbing I

Pembimbing II

Wahyudi Budi Pramono, ST.,M.Eng

Hj. Budi Astuti, Ir.,MT

**LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI**

**RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN  
UNTUK KEBUTUHAN LISTRIK SKALA KECIL**

**TUGAS AKHIR**

Disusun Oleh:  
Nama : HENDRA LESMANA  
No. Mahasiswa : 05524034

Telah Dipertahankan di Depan Sidang Penguji Sebagai Salah Satu Syarat  
untuk Memperoleh Gelar Sarjana pada Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, Januari 2011

Tim Penguji

Wahyudi Budi Pramono, ST., M.Eng.

Ketua

Tito Yuwono, ST., M.Sc.

Anggota 1

Medilla Kusriyanto, ST., M. Eng.

Anggota 2

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia

  
Tito Yuwono, ST., M.Sc.



DENGAN RASA SYUKUR ATAS KEHADIRAT ALLAH SWT,

KARYA INI KUPERSEMBAHKAN :

Untuk Orang Tuaku Tercinta,

“Alm Bapak Anwar Sanusi dan Ibu Eny Wartaminingsih”

Terima kasih untuk semua doa yang telah beliau panjatkan untuk anak-anaknya..

Semoga Allah SWT selalu memberi kita keimanan lebih..

Kedua Saudara Kandungku,

“Mas Yanu dan Dik Devi”

Terima kasih atas semua dukungan kalian...

Semoga kita selalu menjadi anak yang berbakti Kepada Agama, Orang Tua dan Bangsa Indonesia.

Pak Lek dan Bulek

“ Pak Anwar dan Bulek Ratmi”

Terima kasih atas nasehat-nasehat selama ini..

**MOTTO**

“Hai orang-orang yang beriman, mintalah pertolongan dari Allah dengan kesabaran dan shalat. Sungguh Allah bersama orang-orang yang sabar”

{QS Al\_Baqarah:153}

“Maka ingatlah kepada-Ku,Aku akan selalu ingat kepadamu, Bersyukurlah atas kenikmatan-Ku dan janganlah mengingkari-Ku”

{QS Al\_Baqarah:152}

“Allah tidak membebani seseorang, melainkan dengan kesanggupannya”

(QS Al-Baqarah:286)

“Hidup adalah Usaha”



## **KATA PENGANTAR**



*Assalamu'alaikum Wr. Wb.*

Dengan memanjatkan puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, dan inayah-Nya, sehingga penulisan laporan tugas akhir yang berjudul **“Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin Untuk Kebutuhan Listrik Skala Kecil”** dapat diselesaikan penulis dengan baik.

Tugas Akhir ini dimaksudkan untuk memenuhi salah satu syarat dalam menjalani program studi S1 jurusan Teknik Elektro di Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia. Adapun penyusunan laporan ini berdasarkan data – data yang penulis dapatkan selama proses pembuatan hardware, baik melalui buku, pengalaman langsung, serta data yang digunakan.

Penulis menyadari bahwa selama proses pembuatan Tugas Akhir hingga penyusunan laporan ini, penulis tidak lepas dari bantuan dan dukungan banyak pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Pimpinan Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. Gumbolo Hadi Susanto. M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Tito Yuwono, ST., M.Sc., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia.

4. Bapak Wahyudi Budi Pramono, ST., M.Eng., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
5. Ibu Hj Budi Astuti, Ir., MT., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
6. Keluarga besar Alm Anwar Sanusi, ibu, kakak, adik, yang telah memberi dukungan kepada penulis, baik moral, spiritual, dan material.
7. Keluarga Besar di Kudus, Bulek Ratmi sekeluarga terima kasih atas segala bantuan dan motivasinya.
8. Keluarga besar bapak Dr Abdul Rauf sekeluarga, Terutama Aprilia Sariwiyanti, Terima kasih atas bimbingan Agamanya.
9. Keluarga satu ilmu di Teknik Elektro, Adan, Agus, Mawan, Djarot, Ian, Vika, Heru, Muji, Eko, Dedi, Pale, Adit, Gibran, Wery, Gandhi, Dimas, Pakcik, Munthe, Aryo, Anggun, Binar, Yuris Yusran, Didin, Yoga, Terima kasih sudah membiarkanku menjadi bagian dari kalian, kenangan-kenangan itu tak akan terlupakan kawan.SALAM ELCO '05.
10. Teman – teman Kudusku, yang telah menjadi bagian dari perjalanan hidupku selama hampir 15 tahun. Dicky, Agung, Kokok, babe, Boncel, Jack, Chalid, Peok, Cuiz. Terimakasih untuk semua pengalamannya dan cerita-ceritanya ,

Semoga segala bantuan, pengajaran, dan bimbingan yang telah diberikan kepada penulis, dibalas oleh Allah SWT. Tidak lupa, penulis mohon maaf apabila

selama penyelesaian Tugas Akhir ini terdapat kekhilafan dan kesalahan. Penulis menyadari sepenuhnya atas keterbatasan kemampuan yang penulis miliki. Oleh karena itu, penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan laporan ini. Akhir kata, penulis berharap laporan ini dapat bermanfaat bagi siapapun yang membaca.

*Wassalamu'alaikum Wr. Wb.*

Yogyakarta, 8 Februari 2011



Hendra Lesmana



## ABSTRAKSI

*Penelitian ini dibuat dengan tujuan menghasilkan alternatif pembangkit listrik tenaga terbarukan dan mengurangi penyusutan Sumber Daya Alam tak terbarukan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengumpulan data, perancangan dan pembuatan alat, pembuatan sistem keseluruhan, serta pengujian alat, analisis dan pengambilan kesimpulan. Hasil pengujian menunjukkan sistem pembangkit listrik tenaga angin dengan turbin angin tipe vertikal telah dapat menghasilkan tegangan output generator axial flux 3 fasa hubung bintang sebesar 18,10 Vac atau 25,6 Vdc tanpa beban dengan kecepatan angin 6,2 m/s, pada putaran generator 401 Rpm sedangkan untuk output dengan beban lampu Dc 12 watt mampu menghasilkan tegangan sebesar 17,2 Vdc dengan arus 0,7 ampere pada kecepatan angin 6,2 m/s dan di putaran generator 401 Rpm. Daya yang dihasilkan oleh turbin angin sebesar 12,04 watt pada area penangkapan 10 m<sup>2</sup>. Rata-rata arus pengisian aki adalah 0,767 ampere, mampu mencharge aki 12 V 60 Ah dari tegangan 11,2 V ke tegangan 11,8 selama kurang lebih 2 jam. Dengan tegangan dan arus sebesar itu sudah bisa untuk mengisi Aki yang nantinya akan dimanfaatkan untuk sumber listrik.*

*Kata Kunci : Pembangkit Listrik, Generator 3 fasa, Permanen Magnet, Sumber Listrik .*

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING</b> .....	ii
<b>LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI</b> .....	iii
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	iv
<b>MOTTO</b> .....	v
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vi
<b>ABSTRAKSI</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiv
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	3
1.3. Batasan Masalah .....	3
1.4. Tujuan dan Manfaat .....	4
1.5. Sistematika Penulisan.....	4
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	6
2.1. Study Pustaka.....	6
2.2. Turbine Angin.....	8

2.2.1. Mekanisme Turbin Angin .....	10
2.2.2. Konstruksi Turbin Angin.....	11
2.2.2.1. Sudu .....	11
2.3. Pulley.....	15
2.4. Generator .....	16
2.5. Rectifier .....	20
2.6. <i>Charge Controller</i> .....	23
2.7. <i>Accumulator</i> .....	24
2.8. Energi Angin.....	25
<b>BAB III. PERANCANGAN SISTEM .....</b>	<b>28</b>
3.1. Perancangan Sistem .....	28
3.2. Perancangan Turbin Angin.....	29
3.3. Perancangan Generator.....	32
3.3.1. Stator.....	33
3.3.2..Rotor .....	34
3.4. Pulley.....	36
3.5. Bridge Rectifier.....	37
3.6. <i>Charge Controller</i> .....	38
3.7. <i>Accumulator</i> .....	39
<b>BAB IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>40</b>
4.1. Pengujian Kecepatan Angin .....	40

4.2. Pengujian Generator.....	42
4.3. Pengujian Turbin Angin.....	45
4.4. Pengujian Pengisian Aki.....	47
<b>BAB V. PENUTUP.....</b>	<b>49</b>
5.1. Kesimpulan .....	49
5.2. Saran.....	50
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>53</b>
<b>LAMPIRAN</b>	



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1.</b> Turbin Angin Propeller dan Darrieus.....	9
<b>Gambar 2.2.</b> Anemometer.....	10
<b>Gambar 2.3.</b> Berbagai Macam Jenis <i>Turbine</i> Angin.....	14
<b>Gambar 2.4.</b> Torsi Rotor Berbagai Jenis <i>Turbine</i> Angin.....	15
<b>Gambar 2.5.</b> Kaidah tangan kanan Fleming .....	17
<b>Gambar 2.6.</b> Penyearahan pada dioda .....	21
<b>Gambar 2.7.</b> Karakteristik dioda.....	21
<b>Gambar 2.8.</b> Penyearahan dioda.....	22
<b>Gambar 2.9.</b> Konstruksi dioda untuk alternator.....	23
<b>Gambar 3.1.</b> Blok diagram sistem pengisian battery pada pembangkit listrik tenaga angin.....	28
<b>Gambar 3.2.</b> Perancangan sudu.....	30
<b>Gambar 3.3.</b> Konstruksi dan komponen pendukung kincir angin. .....	31
<b>Gambar 3.4</b> Konsep Generator.....	32
<b>Gambar 3.5.</b> Stator sebelum dan sesudah di resin.....	33
<b>Gambar 3.6.</b> Skema Penyambungan coil hubung bintang.....	33
<b>Gambar 3.7.</b> Rotor.....	34
<b>Gambar 3.8.</b> Gambar Pulley.....	36
<b>Gambar 3.9.</b> Rangkaian Bridge Rectifier.....	38

**Gambar 3.10.** *Charge Controller* Apple 5.....39

**Gambar 4.1.** Grafik kecepatan angin antara pukul 08.00-14.00 WIB.....41



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1.</b> Tipe Turbine Angin dan Kegunaannya.....	30
<b>Tabel 4.1.</b> Data Kecepatan angin antara pukul 08.00 – 14.00 WIB.....	41
<b>Tabel 4.2.</b> Data tegangan output generator tanpa beban.....	43
<b>Tabel 4.3.</b> Data tegangan output generator dengan beban.....	44
<b>Tabel 4.4.</b> data pengisian Aki dari jam 11.00 – 14.00 WIB.....	47



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang Masalah

Pasokan listrik di Indonesia sebagian besar di suplai oleh pembangkit listrik dengan sumber energi yang tidak terbaharukan seperti : Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD), Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG), dan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN). Sedangkan untuk pembangkit listrik dengan sumber energi yang terbaharukan seperti; pembangkit listrik yang digerakkan oleh tenaga surya, energi gelombang laut dan energi angin, saat ini masih dikembangkan secara terbatas di Indonesia. Semakin banyaknya pengguna listrik di Indonesia maka dikhawatirkan sumber energi untuk memasok pembangkit listrik tenaga tak terbaharukan semakin menipis. Selain itu di Indonesia banyak daerah terpencil yang belum bisa dijangkau oleh jaringan PLN, sehingga diperlukan alternatif pembangkit listrik yang efisien untuk memenuhi kebutuhan listrik. Salah satu alternatif pembangkit listrik yang efisien adalah pembangkit listrik tenaga angin.

Secara umum, pemanfaatan tenaga angin di Indonesia kurang dikembangkan. Menurut *Blueprint* Pengelolaan Energi Nasional yang dikeluarkan oleh Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (DESDM) pada tahun 2005 Sampai tahun 2004, kapasitas terpasang dari pemanfaatan tenaga angin hanya mencapai 0.5 MW dari 9.29 GW potensi yang ada. Kapasitas pembangkit listrik



tenaga angin di dunia telah berkembang pesat dengan laju pertumbuhan kumulatif sampai dengan tahun 2004 melebihi 20 persen per tahun. Dari kapasitas terpasang 5 GW pada tahun 1995 menjadi hampir 48 GW pada akhir tahun 2004 tersebar dalam 74,400 turbin angin di sekitar 60 negara (BTM Consults ApS, 2005). Potensi energi angin di Indonesia umumnya berkecepatan lebih dari 5 meter per detik (m/detik). Hasil pemetaan Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (Lapan) pada 120 lokasi menunjukkan, beberapa wilayah memiliki kecepatan angin di atas 5 m/detik, masing-masing Nusa Tenggara Timur, Nusa Tenggara Barat, Sulawesi Selatan, dan Pantai Selatan Jawa. Klasifikasi kecepatan angin 4 m/detik hingga 5 m/detik tergolong berskala menengah dengan potensi kapasitas 10-100 kW. Dengan rata-rata kecepatan angin 4 m/detik hingga 5 m/detik, di Indonesia cukup berpotensi dikembangkan Pembangkit Listrik Tenaga Angin dengan potensi kapasitas 10 – 100 kW.

Pemanfaatan energi angin merupakan pemanfaatan energi terbarukan yang paling berkembang saat ini, karena angin adalah salah satu bentuk energi terbarukan yang tersedia di alam. Pembangkit Listrik Tenaga Angin mengkonversikan energi angin menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin atau kincir angin. Cara kerja Pembangkit Listrik Tenaga Angin cukup sederhana, energi angin yang memutar turbin angin diteruskan untuk memutar rotor pada generator, sehingga menghasilkan energi listrik. Energi listrik akan disimpan ke dalam baterai sebelum dapat dimanfaatkan.

Untuk mengubah energi mekanis menjadi energi listrik dibutuhkan generator. Generator yang tersedia biasanya berjenis *high speed induction*

*generator* dimana pada generator jenis ini membutuhkan putaran tinggi dan juga membutuhkan energi listrik awal untuk membuat medan magnet. Sedangkan pada penggunaan Pembangkit Listrik Tenaga Angin dibutuhkan generator yang berjenis *lowspeed* dan tanpa energi listrik awal, karena akan ditempatkan di daerah-daerah yang tidak memiliki aliran listrik. Oleh karena itu generator yang akan digunakan adalah generator berjenis *lowspeed*.

Untuk memenuhi kebutuhan listrik yang efisien maka, dibuatlah Tugas Akhir perancangan pembangkit listrik tenaga angin untuk penggunaan listrik skala kecil dengan model turbine angin sumbu vertikal dan menggunakan generator dengan menggunakan magnet permanen berjenis *rare magnet* ( NdFeB ), *axial flux*.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Agar arah dan tujuan dari tugas akhir ini menjadi lebih jelas dan terperinci, maka sangat diperlukan rumusan masalah yang harus dipecahkan yaitu :

Bagaimana merancang dan membuat “ Pembangkit listrik tenaga angin yang efisien untuk memenuhi kebutuhan listrik skala kecil ” dimana turbine angin menggunakan tipe sumbu vertikal dan generator dirancang untuk menghasilkan listrik untuk mengisi *accumulator* atau aki mobil.

## **1.3. Batasan Masalah**

Berdasarkan rumusan masalah yang dijelaskan diatas, maka penulisan laporan skripsi ini dibatasi pada hal-hal sebagai berikut :

1. Desain turbine angin menggunakan model sumbu vertikal dengan tipe darrieus dan jumlah sudu sebanyak 16 buah.
2. Generator berjenis lowspeed dengan menggunakan magnet permanen berjenis *rare magnet* ( NdFeB ) *grade* N48, *axial flux* dan mempunyai besar densitas fluks (Br) sebesar 0,091190372 Wb/ m<sup>2</sup>.
3. Charge Controller menggunakan aple 5 dengan tegangan operasi sebesar 12 Vdc dan maksimal arus sebesar 5 ampere

#### **1.4. Tujuan dan Manfaat**

Tujuan dan manfaat penulis melakukan penelitian Tugas Akhir ini adalah:

1. Membuat pembangkit listrik tenaga angin yang efisien.
2. Menjadikan salah satu pembangkit listrik alternatif untuk mengurangi pemakaian energi tak terbarukan.
3. Mengurangi pemanasan bumi yang disebabkan oleh pembangkit listrik dengan sumber energi tak terbarukan

#### **1.5. Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan merupakan gambaran umum mengenai hal-hal yang akan dibahas dan hal-hal yang akan dimuat dalam laporan tugas akhir.

Berikut ini adalah sistematika laporan yang digunakan dalam laporan tugas akhir ini :

**BAB I :PENDAHULUAN**

Menjelaskan dan memuat gambaran mengenai latar belakang masalah, batasan masalah, metode penelitian dan sistematika penulisan.

**BAB II : TINJAUAN PUSTAKA**

Berisi teori-teori yang digunakan dalam perancangan dan pembuatan peralatan.

**BAB III : PERANCANGAN SISTEM**

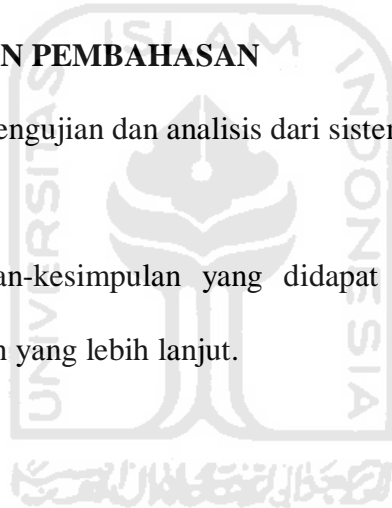
Pada bab ini menjelaskan tentang desain pembangkit listrik tenaga angin, komponen yang digunakan serta penjelasannya.

**BAB IV : ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

Membahas tentang hasil pengujian dan analisis dari sistem yang dibuat.

**BAB V : PENUTUP**

Bab ini berisi kesimpulan-kesimpulan yang didapat serta saran yang dapat digunakan untuk penelitian yang lebih lanjut.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Studi Pustaka

Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian-penelitian yang telah ada sebelumnya. Penelitian-penelitian terdahulu antara lain adalah :

“Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Angin Pada Stasiun Pengisian Accu Pada Mobil Listrik” yang disusun oleh Moh. Saiful Anwar. Kincir angin dengan 3 blade yang digunakan dalam penelitian ini memiliki torsi sebesar 0,001938 Nm dan tegangan keluaran generator sebesar 8 volt dan putaran generator 269 rpm. Dengan simulasi didapatkan untuk arus 0.019 Amp dibutuhkan putaran sebesar 345 rpm dan dapat melakukan isi ulang accu dari 8.96 – 9.91 Volt selama  $\pm$  2Jam 45Menit. Proyek akhir ini dinyatakan tidak berhasil. Karena desain blade yang digunakan pada proyek akhir ini masih belum sesuai dengan hasil yang diharapkan. Sehingga tegangan keluaran generator tidak mencapai tegangan yang cukup untuk mencharger accu.

Sedangkan pada penelitian kedua “Pengembangan Generator Mini Dengan Menggunakan Magnet Permanen” yang disusun oleh Hariyotejo Pujowidodo. Pada penelitian ini lebih difokuskan untuk mengembangkan generator dengan magnet permanen berjenis *rare magnet* ( NdFeB ) *grade* N48, *axial flux*. Generator pada penelitian kedua di desain untuk bekerja pada putaran 400 rpm dengan frekwensi tegangan 40 Hz dengan tegangan generator sebesar 11,2 volt dan tegangan maksimal adalah 15,8 volt. Tegangan sebesar ini sudah dapat

digunakan untuk mengisi (*charging*) baterai/aki mobil untuk kemudian dapat digunakan energi listriknya. Tegangan induksi yang dihasilkan oleh generator dapat dihitung dengan persamaan 2.1.

$$E_{rms} = \frac{E_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} \times N \times f \times \phi_{max} \times \frac{N_s}{N_{ph}}. \quad (2.1)$$

Dengan :

N : jumlah lilitan

f : frekuensi generator ( Hz )

$\phi_{max}$  : fluks magnet ( Wb )

N<sub>s</sub> : jumlah kumparan

N<sub>ph</sub> : jumlah fasa

Selain dari dua penelitian diatas, acuan untuk menghitung *Total Power* dari pembangkit listrik tenaga angin diambil dari buku “*Powerplant Technology*” yang disusun oleh M.M El-Wakil. *Total power* dapat dihitung melalui persamaan 2.2.

$$P_{tot} = mKEi = m \frac{v_i^2}{2gc}. \quad (2.2)$$

Dengan :

m : *mass flow rate* (kg/s)

V<sub>i</sub> : *incoming velocity* (m/s)

gc : *conversion factor* (kg/Ns)

Dalam penelitian yang akan dibuat adalah Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin Untuk Kebutuhan Listrik Skala Kecil menggunakan kedua

penelitian dan referensi buku di atas sebagai bahan untuk perancangan pembuatan pembangkit listrik tenaga angin dengan desain turbin angin yang berbeda yaitu model turbin angin tipe racecom dengan jumlah sudu 16 buah dan bersumbu vertikal sehingga lebih efisien pada angin berkecepatan rendah dan mengembangkan generator dari hasil penelitian yang kedua dengan menambah besar fluks magnet permanen dan jumlah lilitan untuk menambah tegangan yang dihasilkan generator.

## **2.2. 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 :

1. 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.
2. 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 kekecepatannya) seperti pada turbin angin propeller.



**Gambar 2.1.** Turbin angin Propeller dan Darrieus

Kecepatan angin diukur dengan alat yang disebut anemometer. Anemometer jenis mangkok adalah yang mempunyai sumbu vertikal dan tiga buah mangkok yang berfungsi menangkap angin.



**Gambar 2.2.** Anemometer



Jumlah putaran per menit dari poros anemometer dihitung secara elektronik. Biasanya, anemometer dilengkapi dengan sudut angin untuk mendeteksi arah angin. Jenis anemometer lain adalah anemometer ultrasonik atau jenis laser yang mendeteksi perbedaan fase dari suara atau cahaya koheren yang dipantulkan dari molekul – molekul udara.

Kecepatan angin minimum untuk menggerakkan sebuah turbin angin berskala kecil (10 kW), dapat menghasilkan listrik dengan kecepatan angin rata-rata sebesar 3 m/s. Sedangkan untuk turbin angin berskala besar (100 kW) dapat menghasilkan listrik dengan kecepatan angin rata-rata sebesar 5 m/s.

### **2.2.1 Mekanisme Turbin angin**

Sebuah pembangkit listrik tenaga angin dapat dibuat dengan menggabungkan beberapa turbin angin sehingga menghasilkan listrik ke unit penyalur listrik. Listrik dialirkan melalui kabel transmisi dan didistribusikan kerumah – rumah, kantor, sekolah, pabrik dan sebagainya.

Turbin angin dapat memiliki tiga buah bilah turbin. Jenis lain yang umum adalah jenis turbin dua bilah. Jadi, bagaimana turbin angin menghasilkan listrik? Turbin angin bekerja sebagai kebalikan dari kipas angin. Bukannya menggunakan listrik untuk membuat angin, seperti pada kipas angin, turbin angin menggunakan angin untuk membuat listrik.

Angin akan memutar sudu turbin, kemudian memutar sebuah poros yang dihubungkan dengan generator, lalu menghasilkan listrik. Turbin untuk

pemakaian umum berukuran 50 – 750 kilowatt. Sebuah turbin kecil, kapasitas 50 kilowatt, digunakan untuk perumahan, piringan parabola, atau pemompa air.

### 2.2.2. Konstruksi Turbin Angin

Konstruksi dari turbin angin secara umum adalah sudu, gearbox, break system, generator, penyimpan energi, dan Rectifier-inverter.

#### 2.2.2.1. Sudu

Terdapat dua jenis model sudu dalam perancangan turbin angin :

##### 1. Sudu *Vertical Axis Wind Turbine*

Sesuai namanya, *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT) mempunyai sumbu vertikal dengan bilah-bilah sudu paralel dengan sumbunya. Turbin angin sumbu vertikal memiliki efisiensi yang lebih kecil dibandingkan dengan *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) atau turbin angin sumbu horisontal. Tetapi ada beberapa kelebihan yang dimiliki oleh turbin sumbu vertikal, antara lain : aman, mudah membangunnya, bisa dipasang tidak jauh dari tanah, dan lebih baik dalam menangani turbulensi angin. Generator dan gearbox bisa ditempatkan tidak jauh dari permukaan tanah. Hal ini meringankan beban tower dan memudahkan perawatan. Turbin sumbu vertikal yang lazim digunakan adalah Savonius dan Darrieus.

##### a. Savonius

Savonius merupakan jenis turbin angin yang paling sederhana dan versi besar dari anemometer. Turbin Savonius dapat berputar karena adanya

gaya tarik (*drag*). Efisiensi yang bisa dicapai turbin angin jenis ini sekitar 30%.

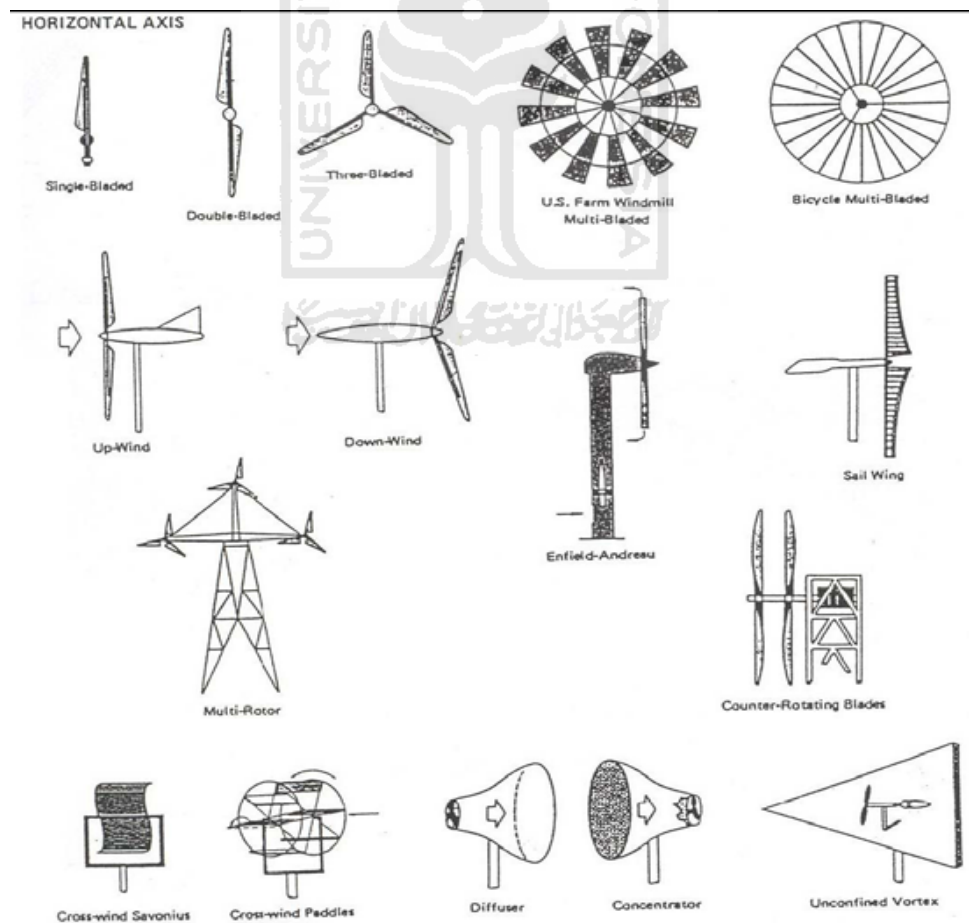
b. Darrieus

Turbin angin Darrieus mempunyai bilah sudu yang disusun dalam posisi simetri dengan sudut bilah diatur relatif terhadap poros. Pengaturan ini cukup efektif untuk menangkap berbagai arah angin. Berbeda dengan Savonius, Darrieus memanfaatkan gaya angkat yang terjadi ketika angin bertiup. Bilah sudu turbin Darrieus bergerak berputar mengelilingi sumbu.

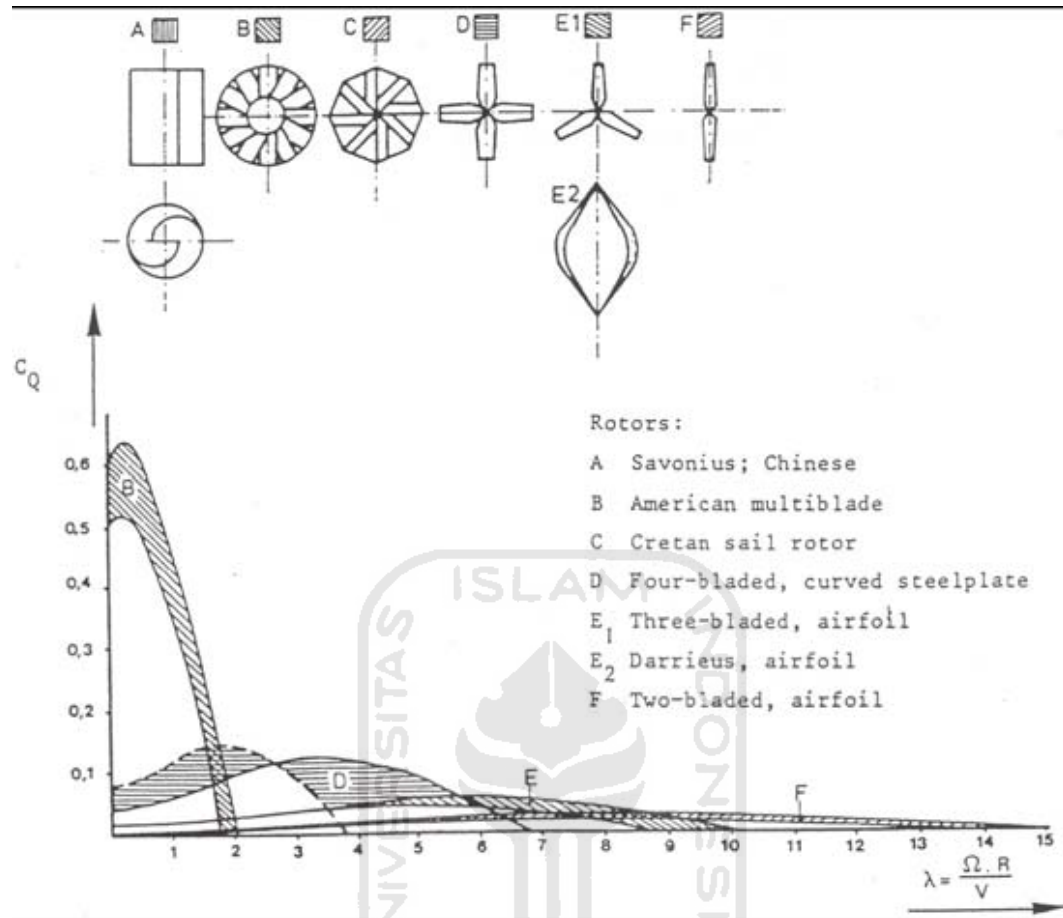
2. Sudu Horizontal Axis Wind Turbine

Turbin angin sumbu vertikal memiliki rotor shaft dan generator yang berada di puncak menara dan harus searah dengan arah angin. Turbin angin yang berukuran lebih kecil diarahkan dengan menggunakan sirip, sedangkan untuk turbin angin berkapasitas besar menggunakan sensor dan motor servo untuk menggerakkan turbin agar menghadap dan searah dengan arah angin. Energi angin yang ditangkap oleh bilah-bilah sudu menghasilkan putaran yang rendah pada hub-nya. Oleh karena itu, sebagian besar turbin angin menggunakan gear box untuk mengubah putaran rendah yang dihasilkan bilah sudu menjadi lebih cepat dan sesuai untuk memutar generator. Bilah sudu yang digunakan biasanya terbuat dari bahan yang kuat untuk menghindari bilah sudu tersebut terdorong dan mengenai menara ketika berputar pada saat angin kencang bertiup.

Jika dikaitkan dengan sumber daya angin, turbin angin dengan jumlah sudu banyak lebih cocok digunakan pada daerah dengan potensi energi angin yang rendah karena rated wind speed-nya tercapai pada putaran rotor dan kecepatan angin yang tidak terlalu tinggi, sedangkan turbin angin dengan sudu sedikit (untuk pembangkitan listrik) tidak akan beroperasi secara efisien pada daerah dengan kecepatan angin rata-rata kurang dari 4 m/s. Dengan demikian daerah-daerah dengan potensi energi angin rendah, yaitu kecepatan angin rata-rata kurang dari 4 m/s, lebih cocok untuk dikembangkan turbin angin keperluan mekanikal. Jenis turbin angin yang cocok untuk keperluan ini antara lain american tipe multi blade, cretan sail dan savonius.



**Gambar 2.3.** Berbagai macam jenis *Turbine* Angin



**Gambar 2.4.** Torsi rotor berbagai jenis turbine angin

### 2.3 Pulley

Alat ini berfungsi untuk mengubah putaran rendah pada kincir menjadi putaran tinggi. Dalam pemeliharaannya digunakan oli untuk menjaga permukaan harus tetap pada ukurannya, dari waktu ke waktu harus diisi dengan oli yang baru. Agar kondisi *pulley* bisa tahan lama. Pulley juga berfungsi sebagai pengait dari shaft turbin angin ke generator. Untuk besar torsi dapat didapat dengan persamaan 2.3.

$$P = 2 \times \pi \times n \times \frac{T}{60} \quad (2.3)$$

Dengan,

P = Power ( Hp )

n= Kecepatan putar generator ( Rpm )

T = Torsi ( Nm )

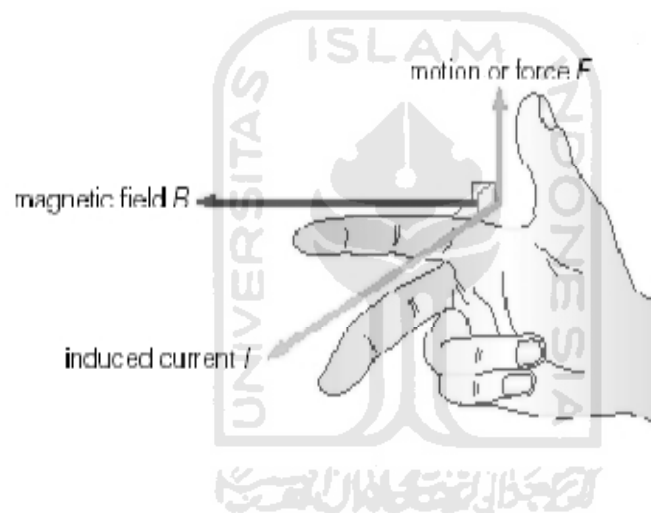
#### 2.4. Generator

Generator merupakan sumber utama energi listrik yang dipakai sekarang ini dan merupakan converter terbesar di dunia. Pada prinsipnya tegangan yang dihasilkan generator bersifat bolak-balik, sedangkan generator yang menghasilkan tegangan searah karena telah mengalami proses penyearahan.

Generator adalah suatu mesin yang menggunakan magnet untuk mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Prinsip generator secara sederhana dapat dikatakan bahwa tegangan diinduksikan pada konduktor apabila konduktor tersebut bergerak pada medan magnet sehingga memotong garis-garis gaya. Hukum tangan kanan Fleming berlaku pada generator dimana menyebutkan bahwa terdapat hubungan antara penghantar bergerak, arah medan magnet dan arah resultan dari aliran arus yang terinduksi. Apabila ibu jari menunjukkan arah gerakan penghantar, telunjuk menunjukkan arah fluks, jari tengah menunjukkan arah aliran elektron yang terinduksi.

Hukum ini juga berlaku apabila magnet sebagai pengganti penghantar yang digerakkan. Jumlah tegangan yang diinduksikan pada penghantar saat penghantar bergerak pada medan magnet tergantung pada :

1. Kekuatan medan magnet, makin kuat medan magnet makin besar tegangan yang diinduksikan.
2. Kecepatan penghantar dalam memotong fluks, makin cepat maka semakin besar tegangan yang diinduksikan.
3. Sudut perpotongan, pada sudut 90 derajat tegangan induksi maksimum dan tegangan kurang bila kurang dari 90 derajat.
4. Panjang penghantar pada medan magnet.



**Gambar 2.5.** Kaidah tangan kanan Fleming.

Hubungan tersebut dapat dinyatakan dengan :

$$e = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (2.4)$$

Dengan :

$N$  : banyak lilitan dari kumparan

$\Delta\Phi$  : perubahan fluks magnet dalam satuan webber (Wb)

$\Delta t$  : perubahan waktu dalam satuan detik (dt)

Dan daya :

$$P = E \times I \quad (2.5)$$

Dengan :

$P$  : Daya (watt)

$E$  : Tegangan (volt)

$I$  : Arus (ampere)

Tegangan induksi yang dihasilkan oleh generator ini dapat dihitung dengan persamaan:

$$E_{rms} = \frac{E_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} \times N \times f \times \phi_{max} \times \frac{N_s}{N_{ph}} \quad (2.6)$$

Dengan :

$E_{rms}$  = Tegangan induksi (Volt)

$N$  = Jumlah lilitan per kumparan

$f$  = Frekwensi (Hz)

$\Phi_{max}$  = Fluks magnet (Wb)

$N_s$  = Jumlah kumparan

$N_{ph}$  = Jumlah fasa

$$\Phi_{max} = A_{magn} \times B_{max} \quad (2.7)$$

Dengan :

$A_{magn}$  = Area magnet

$B_{max}$  =Densitas fluks maksimum.

$$A_{magn} : \frac{\pi \cdot (r_o^2 - r_i^2) - \tau f (r_o - r_i) \cdot Nm}{Nm} \quad (2.8)$$



Dengan :

$r_o$  = Radius luar magnet

$r_i$  = Radius dalam magnet

$\tau_f$  = Jarak antar magnet

$N_m$  = Jumlah magnet

$$B_{max} = Br \cdot \frac{lm}{lm + \delta} \quad (2.9)$$

Dengan :

$Br$  = Densitas fluks magnet

$Lm$  = Panjang magnet

$\delta$  = Jarak antara rotor dengan stator

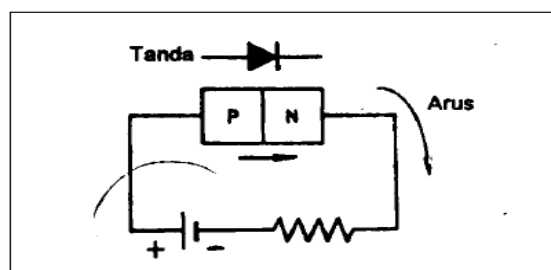
Terdapat dua jenis konstruksi dari generator (ac), jenis medan diam atau medan magnet dan medan magnet dibuat berputar. Pada medan magnet diam secara umum kapasitas ampere relatif kecil dan ukuran tegangan kerja rendah, jenis ini mirip dengan generator dc kecuali terdapat slips ring sebagai alat untuk pengganti komutator. Sedangkan pada generator jenis medan magnet berputar dapat menyederhanakan masalah pengisolasian tegangan yang dibangkitkan secara umum sebesar 18.000 volt sampai 24.000 volt, generator medan berputar mempunyai jangkar diam yang disebut stator. Siklus tegangan yang dibangkitkan tergantung pada jumlah kutub yang digunakan pada magnet, pada generator yang menggunakan dua kutub dapat membangkitkan satu siklus tegangan sedangkan

pada generator dengan empat kutub dapat menghasilkan dua siklus tegangan. Sehingga terdapat perbedaan antara derajat mekanis dan derajat listrik. Derajat mekanik adalah apabila kumparan atau penghantar jangkar berputar satu kali penuh atau 360 derajat mekanis sedangkan derajat listrik adalah jika GGL atau arus bolak-balik melewati satu siklus berarti telah melewati 360 derajat waktu.

## 2.5. Rectifier

Rectifier merupakan rangkaian berupa dioda bridge. Fungsi dari rectifier adalah untuk mengubah arus ac menjadi arus dc. Dioda hanya dapat dialiri arus listrik secara satu arah saja. Prinsip inilah yang digunakan untuk merubah arus ac yang dibangkitkan di kumparan stator menjadi arus dc. Dioda mempunyai sisi (+) dan (-).

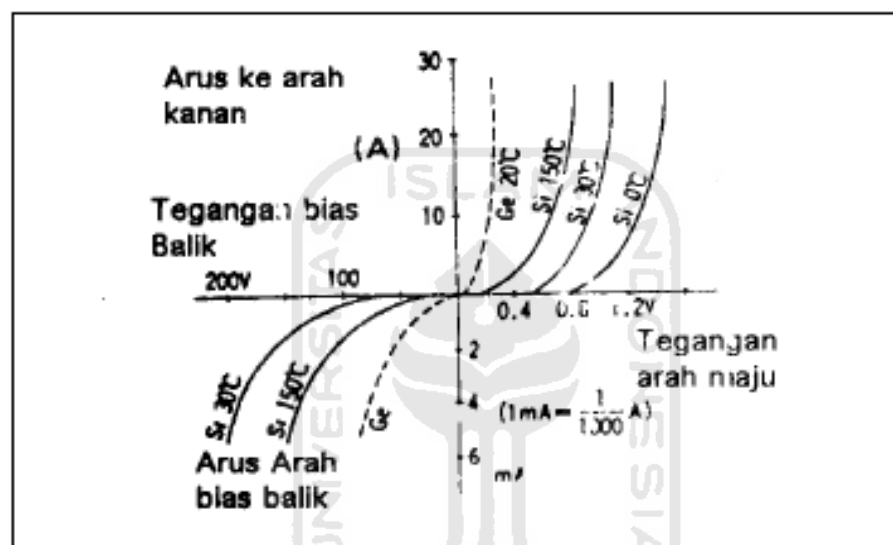
Salah satu fungsi Generator adalah untuk mengisi baterai. Oleh karena itu, arus AC tidak dapat langsung digunakan. Untuk merubah arus ac menjadi dc digunakan proses penyearahan. Proses penyearahan pada generator menggunakan dioda. Gambar 2.5, pada dioda arus mengalir dari P ke N dan tidak sebaliknya.



**Gambar 2.6.** Penyearahan pada dioda

Ini adalah sifat dasar dioda yang digunakan untuk fungsi penyearahan. Bahkan pada arah P ke N, bila tegangannya kurang dari suatu nilai tertentu, maka arus

tidak dapat mengalir. Pada dioda *silicon*, harga ini biasanya berkisar antara 0,6 – 0,7 volt. Bila arus sudah mengalir, maka akan terus bertambah besar meskipun perubahan tegangan hampir tidak ada. Hubungan antara tegangan dan arus bervariasi, tergantung pada temperatur sekelilingnya. Bila temperatur naik, maka arus semakin mudah mengalir. Karakteristik dioda dapat dilihat pada gambar 2.8.

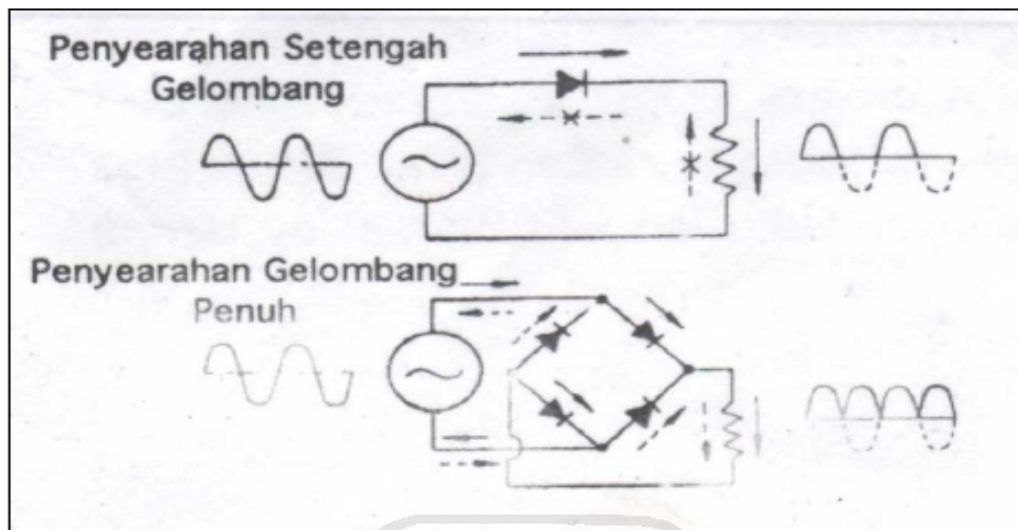


Gambar 2.7. Karakteristik dioda

Sistem penyearahan dengan dioda terbagi menjadi dua cara :

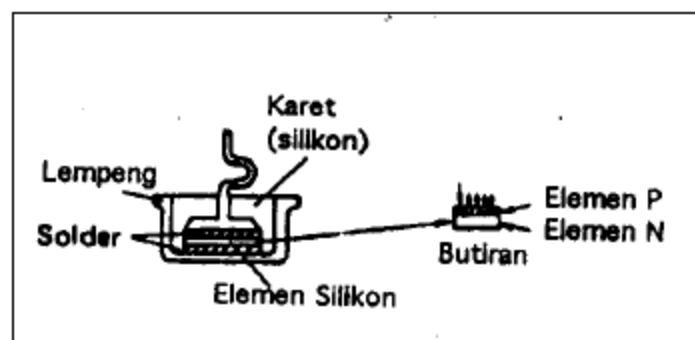
1. Penyearahan setengah gelombang, hanya sisi ( + ) dari arus AC yang digunakan.
2. Penyearahan gelombang penuh, sisi ( - ) dari arus AC dirubah menjadi DC.

Gambar dibawah ini memperlihatkan rangkaian penyearahan dan gelombang arus AC satu fasa yang telah diarahkan.



**Gambar 2.8.** Penyearahan dioda

Sedangkan dioda yang digunakan pada alternator biasanya berbentuk butiran yang ditempatkan pada lempengan dari metal. Butiran yang digunakan adalah sebuah lempengan tipis yang terbuat dari *silicon*. Semi konduktor adalah suatu bahan yang karakteristik hantaran listriknya berada antara metal dan kaca, seperti pada gambar di bawah ini.



**Gambar 2.9.** Konstruksi dioda untuk alternator

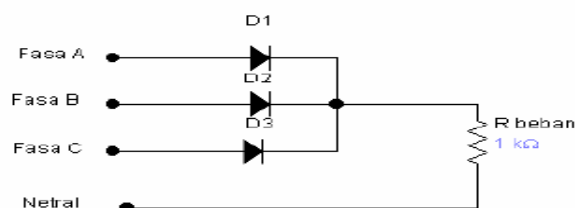
### 2.5.1. Penyearah 3 fasa

Penyearah tiga fasa banyak dipakai, karena penyearah tiga fasa menghasilkan daya yang cukup besar dan banyak dipakai antara lain pada pengisian baterai atau accumulator, elektroplating, AVR alternator dan sebagainya.

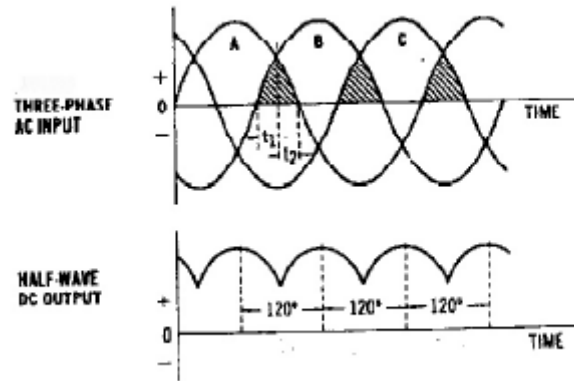
Penyearah tiga fasa lebih efisien, karena menghasilkan daya output yang konstan sehingga dapat dipakai pada sistem yang lebih kompleks dengan beban yang tetap. Penyearah tiga fasa dengan filter menghasilkan output DC yang lebih rata., karena pulsa yang terbentuk lebih berdekatan satu sama lainnya serta lebih rendah setengah dari tegangan puncak outputnya. Pada rangkaian penyearah tiga fasa dapat dipasang sebanyak tiga, enam atau dua belas komponen penyearah dioda atau SCR, dalam hal ini sangat tergantung pada keperluan yang dibutuhkan.

### 2.5.2. Penyearah Setengah Gelombang 3 Fasa.

Gambar 2.10 memperlihatkan penyearahan tiga fasa setengah gelombang yang tidak menggunakan transformator. Fasa A, B dan C sebagai sumber tegangan tiga fasa memberikan tegangan ke anoda dari dioda-dioda D1, D2, dan D3. Bagian beban dihubungkan antara katoda dari dioda D1, D2, dan D3 dan titik netral dari sumber yang dihubungkan bintang.



Gambar 2.10. diagram rangkaian penyearah 3 fasa



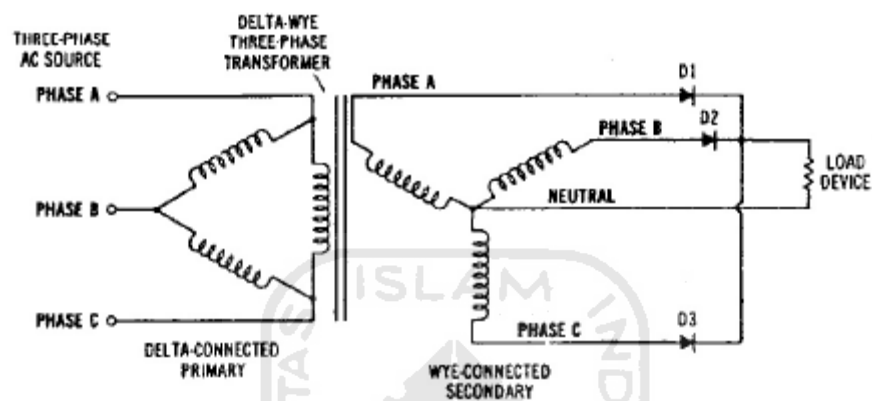
Gambar 2.11. Bentuk Gelombang input dan output.

Dengan adanya periode tegangan positif akan membuat dioda menjadi aktif, dengan tegangan positif ini akan menyebabkan tegangan yang lebih positif terhadap katoda dari dua titik yang lain, akibatnya kedua dioda saja yang aktif pada periode ini.

Dari kurva bentuk gelombang dapat dianalisa bahwa mulai dari  $0^\circ$  sampai  $30^\circ$ , dari fasa C (VC) mempunyai tegangan yang lebih positif dan ini akan memberi bias maju pada dioda D3 serta akan menghasilkan tegangan pada beban R yaitu sebesar  $V_0$ . Kemudian dari sudut  $30^\circ$  sampai  $150^\circ$  dari fasa A (VA) mempunyai tegangan yang lebih positif yang membuat dioda D1 dipicu kearah maju sehingga akan menghasilkan tegangan pada beban R. Pada sudut  $150^\circ$  VB menjadi lebih positif dan dioda D2 akan aktif sehingga akan menghasilkan tegangan pada beban R. Demikian seterusnya pada  $270^\circ$ , D3 menghantar kembali selama satu periode. Tegangan rata-rata output DC ( $V_{dc}$ ) tiga fasa dinyatakan sebagai berikut :

$$V_{dc} = 0,831 \times V_{maks} \quad (2.10)$$

Pada gambar 2.12 adalah bentuk yang sama dengan penyearah setengah gelombang tiga fasa yang menggunakan transformator 3 fasa. Tegangan sekunder dapat dinaikkan atau diturunkan dengan seleksi yang sesuai dengan kebutuhan tegangan output DC yang diinginkan.



Gambar 2.12. Penyearah setengah gelombang 3 fasa

### 2.5.3. Penyearah Gelombang Penuh 3 fasa

Terdapat tiga hal yang harus diperhatikan pada waktu menganalisa kerja untuk rangkaian penyearah tiga fasa gelombang penuh ini, yaitu:

- Dua dioda selalu menghantar, berarti empat dioda yang lain dalam keadaan tidak menghantar.
- Satu dari dioda-dioda yang bernomor genap ( D2, D4 dan D6 ) dalam keadaan aktif dan satu dari dioda-dioda yang bernomor ganjil ( D1, D3 dan D5 ) juga selalu aktif.
- Arus selalu mengalir dari sumber yang mempunyai tegangan positif tertinggi melalui dioda dioda yang bernomor genap terus mengalir pada dioda-dioda yang bernomor ganjil dan seterusnya kembali ke terminal

sumber yang mempunyai tegangan negatif tertinggi.

Pada rangkaian diatas,  $I_{dc}$  adalah  $0,995 \times I_m$  melalui tiap dioda dan hanya sepertiganya yang mengalir melalui tiap dioda.

Tegangan rata-rata  $V_{dc}$  adalah dua kali dari penyearah setengah gelombang tiga fasa atau

$$V_{dc} = 2,34 \times V_{rms} (ac) \quad (2.11)$$

Penyearah gelombang penuh dipersiapkan untuk daya tinggi, sebab :

- a. Tiap sekunder membawa arus untuk  $1/3$  siklus.
- b. Tiap primer membawa arus  $2/3$  siklus.
- c. Kerugian tembaga dalam belitan transformator adalah lebih rendah.

## 2.6. Charge Controller

Pengertian dari *charger controller* adalah suatu alat yang berfungsi untuk mengontrol pengisian *battery* . Pengontrolan pengisian *battery* ini dilakukan dengan cara membatasi tegangan yang masuk ke *charge controller* sebesar 12 volt, sehingga ketika pengisian tidak merusak *battery*. Untuk mengetahui waktu dalam proses pengisian accumulator, dapat menggunakan perhitungan pada persamaan :

Lama pengisian arus :

$$T_a : \frac{Ah}{A} \quad (2.12)$$

Dengan :

$T_a$  : Lamanya pengisian arus (jam)

$Ah$  : Besarnya kapasitas accumulator (Ampere hours)



$A$  : Besarnya arus pengisian ke accumulator (Ampere)

Lama pengisian daya :

$$T_d : \frac{\text{daya Ah}}{\text{daya A}} \quad (2.13)$$

Dengan :

$T_d$  : Lamanya pengisian daya (jam)

Daya Ah : Besarnya daya yang didapat dari perkalian Ah dengan besar tegangan accumulator (Watt hours)

Daya A : Besarnya daya yang didapat dari perkalian A dengan besar tegangan accumulator (Watt)

## 2.7. Accumulator

*Accumulator* atau sering disebut *accu* (aki) adalah salah satu komponen utama dalam kendaraan bermotor, baik mobil atau motor, semua memerlukan aki untuk dapat menghidupkan mesin kendaraan (mencatu arus pada dinamo stater kendaraan). Aki mampu mengubah tenaga kimia menjadi energi listrik.

Dikenal dua jenis elemen yang merupakan sumber arus searah (DC) dari proses kimia, yaitu elemen primer dan elemen sekunder. Elemen primer terdiri dari elemen basah dan elemen kering. Reaksi kimia pada elemen primer menyebabkan elektron mengalir dari elektroda negatif (katoda) ke elektroda positif (anoda) tidak dapat dibalik arahnya. Maka jika muatannya habis, maka elemen primer tidak dapat dimuati kembali dan memerlukan penggantian bahan

pereaksi (elemen kering). Sehingga dilihat dari sisi ekonomis elemen primer dapat dikatakan cukup boros, contoh elemen primer adalah batu baterai (*dry cells*). Elemen sekunder dalam pemakaiannya harus diberi muatan terlebih dahulu sebelum digunakan, yaitu dengan cara mengalirkan arus listrik (secara umum dikenal dengan istilah '*dicharge*'). Akan tetapi, tidak seperti elemen primer, elemen sekunder dapat dimuati kembali berulang kali. Elemen sekunder ini lebih dikenal dengan aki. Dalam sebuah aki berlangsung proses elektrokimia yang reversibel (bolak-balik) dengan efisiensi yang tinggi. Yang dimaksud dengan proses elektrokimia reversibel yaitu di dalam aki saat dipakai berlangsung proses perubahan kimia menjadi tenaga listrik (*discharging*). Sedangkan saat diisi atau dimuati, terjadi proses tenaga listrik menjadi tenaga kimia (*charging*).

### **3.8. Energi Angin**

Energi angin telah lama dikenal dan dimanfaatkan manusia. Perahu-perahu layar menggunakan energi ini untuk melewati perairan sudah lama sekali. Dan sebagaimana diketahui, pada dasarnya angin terjadi karena ada perubahan suhu antara udara panas dan udara dingin. Di tiap daerah keadaan suhu dan kecepatan angin berbeda. Untuk mengurangi keterbatasan penggunaan energi yang tak terbarukan dalam pembangkitan energi listrik khususnya maka diperlukan energi-energi alternatif lain sebagai penggantinya. Dalam rangka mencari bentuk-bentuk sumber energi alternatif yang bersih dan terbarukan kembali energi angin mendapat perhatian yang besar. Seperti yang telah dijelaskan, 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 atmosfer yang tidak merata oleh sinar matahari. Karena bergerak angin memiliki energi kinetik. Energi angin dapat dikonversi atau ditransfer ke dalam bentuk energi lain seperti listrik atau mekanik dengan menggunakan kincir atau turbin angin. Oleh karena itu, kincir atau turbin angin sering disebut sebagai Sistem Konversi Energi Angin (SKEA).

### 1. Daya Energi Angin

Energi yang dimiliki oleh angin dapat didapat dari persamaan :

$$W : \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (2.15)$$

Dengan :

$W$  = Energi angin (Joule)

$\rho$  = Kerapatan udara ( $\text{Kg/m}^3$ )

$A$  = Area penangkapan angin ( $\text{m}^2$ )

$v$  = Kecepatan angin ( $\text{m/s}$ )

Persamaan diatas merupakan sebuah persamaan untuk kecepatan angin pada turbine yang ideal, dimana dianggap energi angin dapat diekstrakt seluruhnya menjadi energi listrik. namun kenyataannya tidak seperti itu. Jadi terdapat faktor efisiensi dari mekanik turbine

$$W_{wt} : N_{wt} \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (2.16)$$

Dengan :

$N_{wt}$  = Efisiensi kincir angin (%)

Dan untuk mengetahui daya atau energi yang dikeluarkan oleh alternator berdasarkan kecepatan angin dan diameter turbine dapat dinyatakan dengan rumus :

$$P = \frac{1}{12} v^3 D^2 \quad (2.17)$$

Dengan :

P : daya atau energi (watt)

V : kecepatan aliran udara (m/s)

D : diameter baling-baling (m)



## BAB III

### Perancangan Sistem

#### 3.1 Perancangan Sistem

Blok diagram secara keseluruhan dari sistem ditunjukkan pada gambar 3.1. Kincir angin dikopel dengan generator menggunakan pulley yang berfungsi untuk mempercepat putaran di generator dan *turbine* angin akan berputar karena aliran angin sehingga generator juga akan berputar dan menghasilkan tegangan. Sebelum tegangan keluaran dari generator digunakan untuk mencharge battery terlebih dahulu dikontrol didalam *charge/discharge controll*



**Gambar 3.1** Blok diagram sistem pengisian battery pada pembangkit

listrik tenaga angin.

Proyek akhir ini memanfaatkan putaran kincir angin untuk menggerakkan sebuah generator AC. Tegangan output dari generator dimasukkan kedalam sebuah rangkaian bridge rectifier untuk diubah menjadi tegangan DC, kemudian dimasukkan pada sebuah rangkaian kontroler yang khusus digunakan untuk mencharge accu/baterai. Lama pengisian accu bergantung dari besarnya arus

output dari kontoler dan kondisi angin yang ada. Bila kecepatan angin semakin besar maka output dari kontroler akan semakin besar sampai batas nominalnya yaitu 12 VDC. Accu yang digunakan adalah accu 12 V. Tegangan output dari pembangkit listrik ini hanya digunakan untuk melakukan isi ulang terhadap accu mobil listrik.

Berdasarkan gambar 3.1 perencanaan dan pembuatan perangkat untuk proyek akhir ini meliputi:

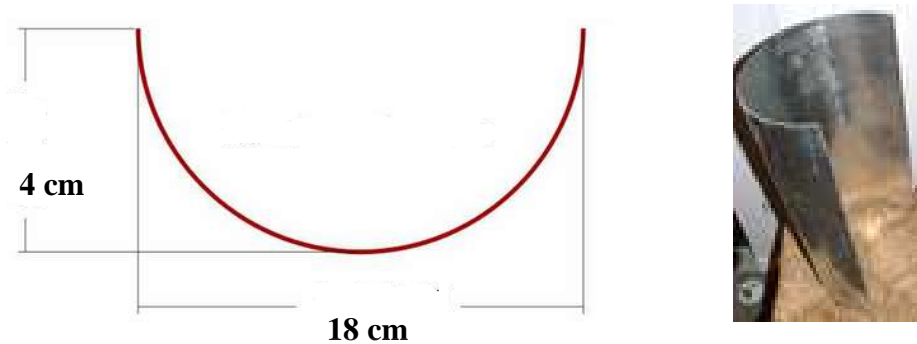
1. Perencanaan dan pembuatan kincir angin.
2. Perencanaan penggunaan Pulley
3. Perencanaan dan pembuatan generator
4. Perencanaan penggunaan kontroler untuk charger accu.

### **3.2. Perancangan Turbin Angin**

Turbin angin adalah alat bantu yang digunakan untuk menggerakkan generator dan membangkitkan tenaga listrik. Kincir angin ini pada awalnya dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi, dan lain-lain. Kincir angin terdahulu banyak dibangun di Denmark, Belanda dan negara-negara Eropa lainnya dan lebih dikenal dengan Windmill. Turbine angin dalam sistem ini berfungsi sebagai penggerak mula dari generator.

Dalam proyek akhir ini menggunakan turbine angin vertical tipe darrieus dengan sudu berjumlah 16. Sudu terbuat dari bahan aluminium, bahan aluminium dipilih karena tahan lama dan ringan. Panjang blade juga harus sesuai, jika besar

blade yang dipakai terlalu kecil dipasang pada generator besar tidak akan bisa berputar cepat untuk mendapatkan tenaga yang tepat. Berikut ini adalah bentuk rancangan sudu.



**Gambar 3.2.** Perancangan sudu

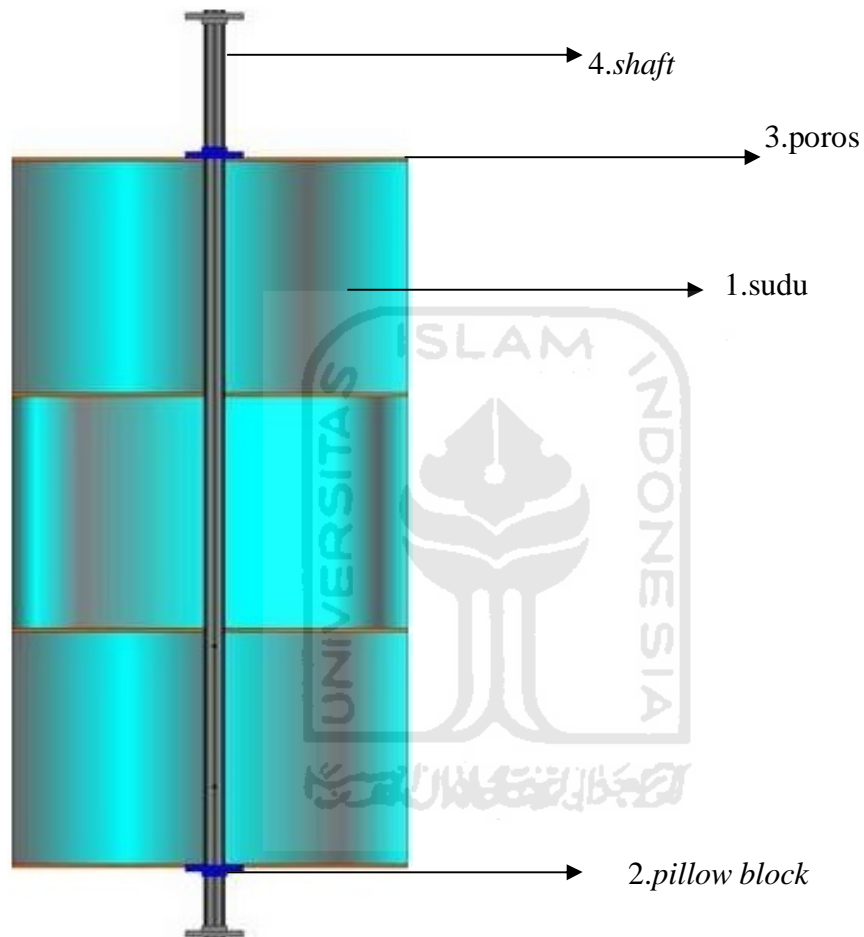
Perencanaan kincir angin harus disesuaikan untuk keperluan apa kincir tersebut digunakan. Dari data yang diperoleh (tabel 3.1), kita dapat menentukan jenis turbine angin yang akan kita buat.

Type	Speed	Torque	$C_p$	Solidity (%)	Use
<b>Horizontal Axis</b>					
Multi blade	Low	High	0.25 - 0.4	50 - 80	Mechanical Power
Three-bladed aerofoil	High	Low	up to 0.45	Less than 5	Electricity Production
<b>Vertical Axis</b>					
Panemone	Low	Medium	less than 0.1	50	Mechanical Power
Darrieus	Moderate	Very low	0.25 - 0.35	10 - 20	Electricity Production

**Tabel 3.1.** Tipe Turbine angin dan kegunaannya

Dari data tabel 3.1, tipe darrieus dapat digunakan untuk memproduksi listrik dengan kecepatan sedang, memiliki torsi sangat rendah dan solidity yang rendah. Data turbine darrieus dari tabel 3.1 memiliki sudu sebanyak 2 buah, tetapi dengan memodifikasi bentuk dari turbine angin darrieus dengan menambah jumlah sudu menjadi 16, kecepatannya dapat meningkat yang signifikan.

Proyek akhir ini memiliki perencanaan seperti ditunjukkan pada gambar 3.3. Komponen pendukung turbine angin dalam sistem ini dirancang dengan menggunakan beberapa komponen sebagai berikut:



**Gambar 3.3.** Konstruksi dan komponen pendukung kincir angin.

1. Sudu atau daun (Blade)

Berfungsi sebagai penangkap angin. Sudu ini berjumlah 16 buah. Dari 16 sudu ini mempunyai panjang, lebar yang sama.



### 2. *Pillow Block*

Berfungsi untuk tempat duduk dari poros kincir, yang dilengkapi dengan bearing.

### 3. Poros

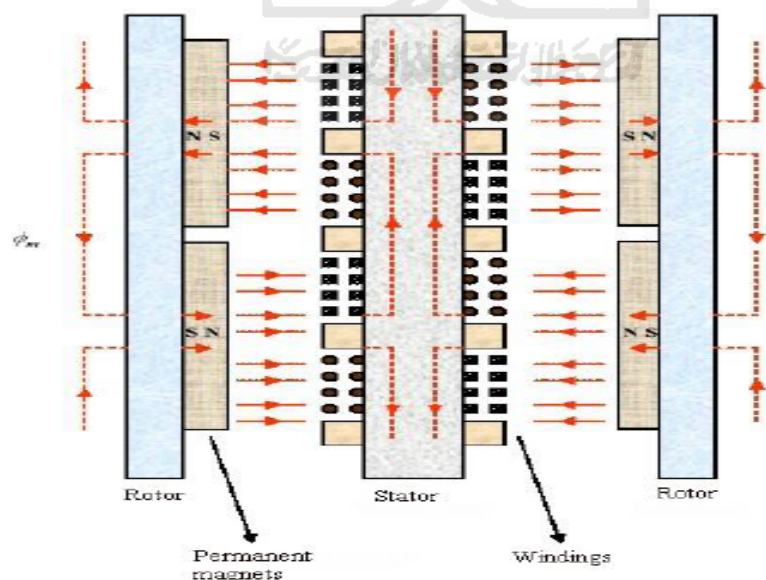
Berfungsi sebagai tempat menempelnya sudu (Blade). Poros yang digunakan mempunyai diameter 60 cm.

### 4. *Shaft*

Berfungsi untuk mengkopel turbine dengan generator.

## 3.3 Perancangan Generator

Secara garis besar, generator memiliki 2 komponen utama, yaitu stator dan rotor yang menentukan jenis dan karakteristik generator. Dan kalkulasi dari tegangan yang dihasilkan dapat dihitung dengan sebuah persamaan tegangan.



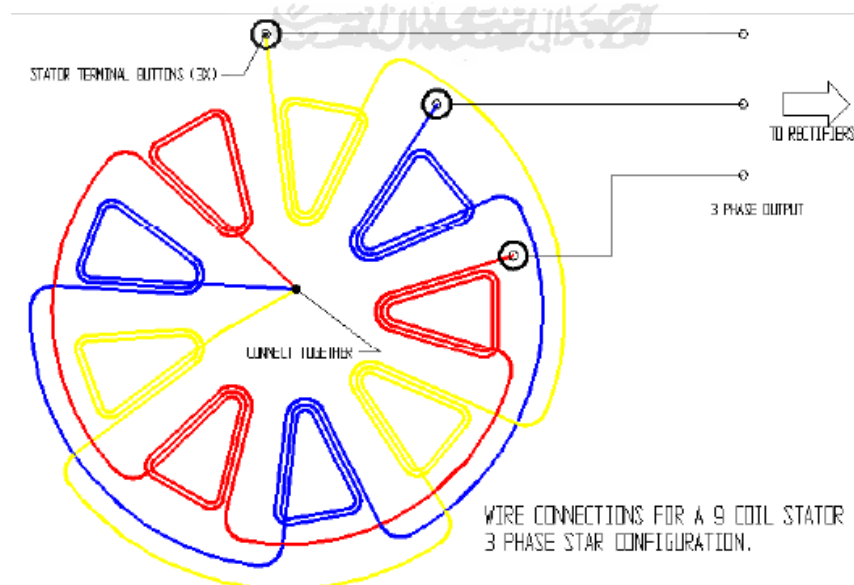
**Gambar 3.4.** Konsep Generator

### 3.3.1. Stator

Stator terbuat dari terdiri dari beberapa *coil* atau kumparan dari kawat tembaga yang dilapisi oleh bahan isolator. Jumlah kumparan menentukan tegangan yang bisa dikeluarkan oleh generator tersebut. Stator yang kami buat terdiri dari 12 kumparan yang masing-masing kumparan terdiri atas 300 lilitan dan tiap 4 kumparan digabung hubung bintang sehingga didapat 3 fasa tegangan. Kemudian coil tersebut dicetak dalam cetakan resin sehingga membentuk suatu piringan dengan diameter 36 cm.



**Gambar 3.5.** Stator sebelum dan sesudah di resin



**Gambar 3.6.** Skema Penyambungan coil hubung bintang.

### 3.3.2 Rotor

Rotor terbuat dari besi karbon yang ditempatkan magnet permanent (NdFeB) pada permukaannya sejumlah 24. pada generator ini terdapat 2 buah rotor yang mengapit stator dengan polaritas medan magnet yang berlawanan sehingga fluks magnet yang melewati kumparan bisa diperkuat. Antara 2 rotor tersebut disambungkan dengan poros yang kemudian poros inilah yang diputar oleh kincir angin. Magnet mempunyai dimensi sebesar 1,5” x 0,75 “ x 0,25 “ dan mempunyai besar densitas fluks sebesar 0.091190372 Wb/m<sup>2</sup>.



Gambar 3.7. Rotor

### 3. Tegangan Induksi

Generator di desain untuk bekerja pada putaran 100 rpm dengan frekwensi tegangan 10 Hz. Tegangan induksi yang dihasilkan oleh generator ini dapat dihitung dengan persamaan:

$$B_{max} = Br \frac{lm}{lm + \delta}$$

$$= 0,071992398 \text{ Wb/ m}$$

$$A_{magn} : \frac{\pi \cdot (r_o^2 - r_i^2) - \tau f (r_o - r_i) \cdot Nm}{Nm}$$

$$= \frac{3,14 \left( (0,1425)^2 - (0,02)^2 \right) - 0,001 (0,1425 - 0,02) \cdot 24}{24}$$

$$= 0,00248 \text{ m}$$

$$\Phi_{\max} = A_{\text{magn}} \times B_{\max}$$

$$= 0,00248 \text{ m} \times 0,071992398 \text{ Wb/m}$$

$$= 0,0001785 \text{ Wb}$$

$$E_{\text{rms}} = \frac{E_{\max}}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} \times N \times f \times \phi_{\max} \times \frac{Ns}{Nph}$$

$$\text{Dengan : } f = P \cdot n / 120$$

$$= 12 \times 100 / 120$$

$$= 10 \text{ Hz}$$

$$= \frac{2 \cdot 3,14}{\sqrt{2}} \times 300 \times 100 \text{ Hz} \times 0,0001785 \text{ Wb} \times \frac{12}{3}$$

$$= 9,32 \text{ VAC}$$

Dengan menggunakan rumus diatas maka tegangan generator yang dirancang adalah sebesar 9,32 VAC. Tegangan sebesar ini sudah bisa kita gunakan untuk mengisi (*charging*) baterai/aki mobil untuk kemudian bisa digunakan sebagai sumber listrik.

### 3.4. Pulley

Pulley dalam sistem ini selain berfungsi sebagai pengait antara kincir angin dengan generator, pulley juga merupakan penggerak mula dari generator dan pulley berfungsi untuk mengatur torsi. Penggunaan roda gigi untuk kincir angin dipilih ukuran yang lebih besar daripada roda gigi pada generator dengan perbandingan 2:1. Perbandingan pulley ini dimaksudkan agar torsi yang dihasilkan kincir lebih besar daripada torsi generator sehingga putaran generator menjadi lebih cepat.



**Gambar 3.8.** Gambar Pulley

Menentukan jumlah perbandingan gear dalam suatu keperluan mekanik, dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{\phi_1}{\phi_2}$$

Dengan,

$\omega_1$  = Kecepatan pulley 1 ( Rpm )

$\omega_2$  = Kecepatan pulley 2 ( Rpm )

$\phi_1$  = Ratio pulley 1

$\phi_2$  = Ratio pulley 2

Dengan menggunakan perbandingan pulley, suatu pembangkit listrik tenaga angin akan memberikan hasil sesuai dengan kebutuhan. Sehingga dengan kecepatan angin yang ada dapat ditentukan ratio pulley yang tepat.

### 3.5. Bridge Rectifier

Untuk mengubah arus ac menjadi dc dan mengantisipasi adanya tegangan bolak – balik dari output keluaran generator ac, maka perlu diberikan suatu rangkaian penyearah tegangan yaitu rangkaian bridge rectifier. Bridge rectifier terdiri dari empat buah rectifier yang berhubungan satu sama lain ( membentuk formasi kotak ). Bridge rectifier menyearahkan arus ( ac ke dc ) dengan lebih efisien. Bridge Rectifier yang dipakai dalam penelitian ini mempunyai batas arus yang bisa dilewati sebesar 35 A.



**Gambar 3.9.** Rangkaian Bridge Rectifier

### 3.6. Charge Controller

Kontrol yang digunakan untuk rangkaian charger adalah Apple 5, sebuah rangkaian yang khusus digunakan untuk charger battery dengan output maksimal 5A. Prinsip kerja rangkaian ini yaitu sebelum output tegangan dari generator digunakan untuk charger battery, tegangan output tersebut dimasukkan terlebih dahulu pada rangkaian battery charger agar arus yang digunakan untuk charger battery bisa konstan. Kontrol charger ini selain berfungsi untuk mengatur kestabilan dari arus pengisian accu, juga untuk mematikan arus pengisian jika accu telah penuh. Apple 5 ditunjukkan pada gambar 3.8 seperti yang terlihat dibawah ini:



**Gambar 3.10.** Charge Controller Apple.

### 3.7. *Accumulator*

*Accumulator* atau aki memiliki fungsi sebagai tempat penyimpanan energi listrik dari generator. Aki yang dipakai dalam penelitian ini menggunakan aki sebesar 12 V 60 Ah. Jika kondisi aki terisi penuh mempunyai daya 720 Watt.





## **Bab IV**

### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

Bedasarkan spesifikasi sistem yang telah dijelaskan sebelumnya, selanjutnya dilakukan pengujian terhadap sistem. Tujuan pengujian ini adalah untuk membuktikan apakah sistem yang diimplementasikan telah memenuhi spesifikasi yang telah direncanakan sebelumnya. Hasil kinerja sistem bertujuan untuk menyempurnakan kinerja sistem dan untuk pemanfaatan lebih lanjut.

Pengujian Alat dilakukan di pantai Samas kabupaten Bantul Yogyakarta pada Tanggal 14 Januari 2011 dan pengambilan data diperoleh dari jam 08.00 – 14.00. Pengujian alat dilakukan di pantai dengan pertimbangan kecepatan angin dan intensitas angin dipantai lebih tinggi, sehingga dapat membangkitkan tegangan generator untuk pengisian aki.

#### **4.1. Pengujian Kecepatan Angin**

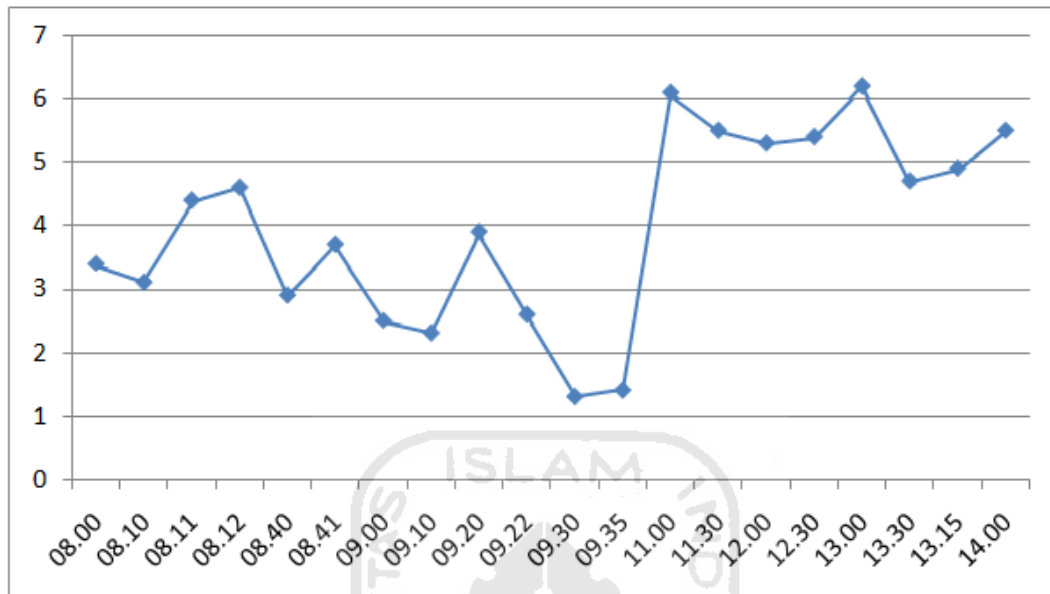
Setiap waktu angin memiliki kecepatan yang selalu berubah-ubah, oleh karenanya perlu dilakukan pengambilan data kecepatan angin secara berulang-ulang. Setelah itu dilakukan perhitungan kecepatan angin rata-rata, agar didapatkan kecepatan angin secara tepat.

Pengambilan data kecepatan angin menggunakan alat anemometer. Berikut ini adalah data kecepatan angin :

**Tabel 4.1.** Data Kecepatan angin antara pukul 08.00 – 14.00 WIB

No	Waktu ( WIB )	Kecepatan Angin ( m/s )
1	08.00	3,4 m/s
2	08.10	3,1 m/s
3	08.11	4,4 m/s
4	08.12	4,6 m/s
5	08.40	2,9 m/s
6	08.41	3,7 m/s
7	09.00	2,5 m/s
8	09.10	2,3 m/s
9	09.20	3,9 m/s
10	09.22	2,6 m/s
11	09.30	1,3 m/s
12	11.00	6,1 m/s
13	11.30	5,5 m/s
14	12.00	5,3 m/s
15	12.30	5,4 m/s
16	13.00	6,2 m/s
17	13.30	4,7 m/s
18	14.00	4,9 m/s
Rata – rata angin		3,985 m/s

m/s



**Gambar 4.1.** Grafik kecepatan angin antara pukul 08.00-14.00 WIB

Dari data pengujian yang diperoleh rata-rata kecepatan angin pada rentang waktu antara pukul 08.00 sampai 14.00 adalah 3,985 m/s. Dan total daya energi angin untuk radius area penangkapan 10 m<sup>2</sup> adalah :

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

$$W = \frac{1}{2} 10 \times 10 \text{ m}^2 \times 3,985^3 \text{ m/s}$$

$$= 3164,134 \text{ joule}$$

#### 4.2. Pengujian Generator

Data pengujian output dari generator seperti berikut ini :

## 1. Pengujian tanpa beban

**Tabel 4.2.** Data tegangan output generator tanpa beban

No	Waktu (WIB)	Kecepatan Angin ( m/s)	Rpm	Tegangan ( V )
1	08.00	3,4 m/s	175 Rpm	7,8 V
2	08.10	3,1 m/s	148 Rpm	7,3 V
3	08.11	4,4 m/s	178 Rpm	9,7 V
4	08.12	4,6 m/s	210 Rpm	13,8 V
5	08.40	2,9 m/s	125 Rpm	5,4 V
6	08.41	3,7 m/s	165 Rpm	8,3 V
7	09.00	2,5 m/s	58 Rpm	3,2 V
8	09.10	2,3 m/s	72 Rpm	3,1 V
9	09.20	3,9 m/s	151 Rpm	6,7 V
10	09.22	2,6 m/s	80 Rpm	4,1 V
11	09.25	1,3 m/s	44 Rpm	2,7 V
12	09.30	1,4 m/s	60 Rpm	3,2 V
13	11.00	6,1 m/s	315 Rpm	23,2 V
14	11.30	5,5 m/s	249 Rpm	17,6 V
15	12.00	5,3 m/s	280 Rpm	19,3 V
16	12.30	5,4 m/s	284 Rpm	18,7 V
17	13.00	6,2 m/s	401 Rpm	24,7 V
18	13.30	4,7 m/s	248 Rpm	14,2 V
19	14.00	4,9 m/s	268 Rpm	16,7 V

Dari data diatas didapatkan untuk mencapai tegangan 9,32 Vac, jika dijadikan Vdc adalah 13,18 Vdc dibutuhkan angin dengan kecepatan 4,6 m/s dan kecepatan putar generator adalah 210 Rpm. Dari data tersebut disimpulkan bahwa desain tegangan generator penulis yang mendesain tegangan output 9,32 Vac atau sama dengan 13,18 Vdc di putaran 100 Rpm tidak sesuai dengan rencana desain. Hal ini diakibatkan karena adanya rugi-rugi tegangan induksi yaitu :

1. Rugi-rugi tembaga Stator
2. Rugi- rugi magnet rotor
3. Rugi-rugi inti

## 4. Rugi angin dan gesekan

## 2. Pengujian generator dengan beban

Beban 1 adalah lampu dengan tegangan 7,2 Vdc 0,7 A dan beban 2 adalah lampu dengan tegangan 12 Vdc 1 A.

**Tabel 4.3.** Data tegangan output generator dengan beban

No	Kecepatan angin (m/s)	Putaran generator (Rpm)	Tegangan tanpa beban (V)	Tegangan dengan beban (V)	Arus Beban 1 (A)	Arus beban 2 (A)	Daya (Watt)
1	3,4 m/s	178 Rpm	7,8 V	4,6 V	0,64 A	-	2,944
2	4,6 m/s	220 Rpm	12,4 V	7,1 V	0,89 A	-	6,319
3	3,9 m/s	183 Rpm	10,7 V	6,2 V	0,74 A	-	4,588
4	6,1 m/s	360 Rpm	22,8 V	18,4 V	0,35 A	-	6,44
5	5,4 m/s	268 Rpm	17,9 V	12,3 V	0,46 A	-	5,658
6	1,8 m/s	94 Rpm	4,7 V	1,2 V	0,27 A	-	0,324
7	2,8 m/s	145 Rpm	6,3 V	1,35 V	0,34 A	-	0,459
8	1,9 m/s	77 Rpm	4,3 V	0,7 V	-	0,58 A	0,406
9	3,4 m/s	181 Rpm	8,3 V	3,8 V	-	0,78 A	2,964
10	3,5 m/s	178 Rpm	8,7 V	3,7 V	-	0,68 A	2,516
11	4,7 m/s	256 Rpm	14,2 V	7,9 V	-	0,8 A	6,32
12	3,9 m/s	210 Rpm	10,3 V	4,7 V	-	0,74 A	3,478
13	5,9 m/s	320 Rpm	21,3 V	14,8 V	-	0,82 A	12,136
14	6,2 m/s	364 Rpm	23,4 V	17,2 V	-	0,7 A	12,04

Dari hasil perhitungan daya masing-masing data, diperoleh untuk daya yang dihasilkan generator pada beban 1 yaitu lampu berdaya 5,04 Watt terjadi ketika angin dikecepatan 6,1 m/s dan kecepatan putar generator sebesar 360 Rpm menghasilkan sebesar 6,44 Watt. Sedangkan pada beban 2 yaitu lampu berdaya 12 Watt terjadi ketika angin di kecepatan 5,9 m/s dan kecepatan putar generator sebesar 320 Rpm menghasilkan daya sebesar 12,136 Watt.

### 4.3. Pengujian Turbin Angin

Dengan melihat hasil data tabel. 4.2.2. Perhitungan untuk mengetahui daya maksimal atau energi yang dikeluarkan oleh alternator berdasarkan kecepatan angin yang bertiup di pantai samas pada jam 08.00 – 14.00 dengan diameter turbine 1 m. Dimana  $v = 6,2$  m/s ( diperoleh dari kecepatan angin tertinggi ).

$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{12} v^3 D^2 \\ &= \frac{1}{12} 6,2^3 \times 1^2 \\ &= 19,8 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Pengukuran dan perhitungan yang dilakukan dalam penelitian ini terdapat selisih, pada pengukuran daya atau energi yang dihasilkan sebesar 12,04 watt sedangkan pada perhitungan daya atau energi yang dihasilkan sebesar 19,8 watt. Jadi terdapat selisih sebesar 7,76 Watt. Sedangkan untuk total power yang dihasilkan oleh kincir angin untuk kecepatan 6,2 m/s adalah :

$$P_{tot} = mKEi = m \frac{vi^2}{2g \cdot cp}$$

Dengan :

$$g = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$Cp = 0,35 \text{ ( efisiensi turbin )}$$

$$A = 10 \text{ m}^2 \text{ ( Area penangkapan angin )}$$

$$\begin{aligned} P_{tot} &= mKEi = m \frac{Vi^2}{2g \cdot cp} \\ &= \rho \cdot A \cdot v \frac{Vi^2}{2g \cdot cp} \end{aligned}$$

$$= 10. 10. 6,2 \frac{6,2^2 m/s}{2 \times 1000 \times 0,35}$$

$$= 34,04685 \text{ Watt}$$

Dari hasil diatas, dapat disimpulkan bahwa turbin angin yang didesain belum maksimal karena hanya menghasilkan daya 19,08 Watt pada area penangkapan 10 m<sup>2</sup> dan pada kecepatan angin 6,2 m/s. Jadi masih ada sisa energi yang belum bisa dimanfaatkan sebesar 34,04685 Watt – 19,08 Watt = 14,96685 Watt.

Untuk Torsi yang ada pada turbine angin ini adalah :

$$P = 2 \times 3,14 \times n \times \frac{T}{60} \text{ ( Hp )}$$

Dengan :

P = daya power ( Hp )

T = Torsi ( Nm )

n : kecepatan generator

Untuk P = 12,04 watt x 0,00134

$$= 0,016 \text{ Hp}$$

$$T \text{ generator} = \frac{P \times 60}{2 \times \pi \times n}$$

$$F \times r = \frac{0,016 \text{ Hp} \times 60}{2 \times 3,14 \times 360 \text{ Rpm}}$$

$$F \times 2 \text{ inch} \times 0,024 = \frac{0,96}{2.260,8}$$

$$F = 0,00885 \text{ Nm}$$

#### 4.4. Pengujian pengisian aki

Data diperoleh pada pukul 11.00 – 14.00 dan tegangan aki tidak pada kondisi kosong, yaitu pada tegangan 10,8. Aki memiliki kapasitas sebesar 12 Volt 60 Ah

**Tabel 4.4.** data pengisian Aki dari jam 11.00 – 14.00 WIB

No.	V out generator	V out terminal aki	i ( Arus )	Kecepatan Angin
1	11,3 V	9,8 V	0,5 A	4,3 m/s
2	14 V	10,6 V	0,56 A	4,6 m/s
3	20 V	11,3 V	0,84 A	5,8 m/s
4	18,6 V	11,3 V	0,68 A	5,4 m/s
5	19,8 V	11,5 V	0,87 A	5,9 m/s
6	23,4 V	11,5 V	0,92 A	6,1 m/s
7	25, 6 V	11,6 V	0,98 A	6,2 m/s
8	19,3 V	11,6 V	0,79 A	5,4 m/s
9	18,6 V	11,7 V	0,73 A	5,4 m/s
10	20,3 V	11,8 V	0,8 A	6 m/s
Rata - rata			0,767 A	5,51 m/s

Dari data tabel diatas diperoleh untuk rata-rata arus pengisian adalah 0,767 A dan rata-rata kecepatan angin adalah 5,51 m/s. Dari pengamatan yang dilakukan penulis pengisian aki pada pembangkit listrik tenaga angin ini dimulai dari angin dengan kecepatan 4,6 m/s dan kecepatan putar generator adalah 210 Rpm dengan keluaran output tegangan sebesar 13,8 Vdc. Pengisian Aki dari tegangan 11,2 ke tegangan 11,8 memerlukan waktu kurang lebih 2 jam. Untuk lama pengisian aki dari kondisi kosong sampai keadaan penuh dapat dihitung melalui persamaan :

$$\begin{aligned}
 T \text{ Ah} &= \text{Ah}/A \\
 &= 60 \text{ Ah}/ 0,767 \text{ A} \\
 &= 78,226 \text{ hour}
 \end{aligned}$$



## **BAB V**

### **PENUTUP**

Berdasarkan dari proses perancangan, pembuatan, dan pengamatan dari hasil uji sistem yang dibuat, maka dapat diambil beberapa kesimpulan dan saran untuk kemajuan, perbaikan, dan pengembangan dari aplikasi sistem.

#### **5.1. Kesimpulan**

Dari hasil pengamatan, pengujian dan analisa pada perancangan yang dibuat dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Tegangan keluaran dari generator belum sesuai dari tegangan keluaran yang direncanakan yaitu sebesar 9,32 Vac atau sama dengan 13,18 Vdc bekerja pada putaran 100 Rpm, karena hasil tegangan keluaran generator sebesar 13,8 Vdc pada putaran 210 Rpm dengan kecepatan angin sebesar 4,6 m/s.
2. Proyek pembangkit listrik ini disimpulkan bahwa turbin angin yang didesain belum maksimal karena hanya menghasilkan daya 12,04 Watt pada area penangkapan 10 m<sup>2</sup> dengan kecepatan angin 6,2 m/s. karena daya yang seharusnya adalah sebesar 34,04685 watt. Jadi masih ada sisa energi yang belum bisa dimanfaatkan sebesar 34,04685 Watt – 12,04 Watt = 22,00685 Watt.

3. Rata-rata arus pengisian aki adalah 0,767 A sedangkan rata-rata kecepatan angin adalah 5,51 m/s dan mampu mencharge aki 12 V 60 Ah dari tegangan 11,2 ke tegangan 11,8 selama kurang lebih 2 jam.

## 5.2. Saran

Agar dapat dikembangkan pada waktu-waktu selanjutnya, penulis memberikan saran-saran sebagai berikut:

1. Untuk mendesain suatu pembangkit listrik tenaga angin, harus diperhitungkan desain turbin angin dan desain generator yang sesuai dengan kecepatan angin didaerah tersebut dan daya yang ingin dihasilkan.
2. Dalam membuat desain turbin angin sumbu vertikal sebaiknya menggunakan bahan material yang ringan terutama bagian poros turbin angin, sehingga turbin angin dapat bekerja secara optimal.
3. Untuk kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK), pembangkitan energi listrik pada mobil listrik dapat digunakan menjadi salah satu alternatif untuk membantu mengurangi pemakaian energi yang semakin bertambah.

## DAFTAR PUSTAKA

- Berahim Hamzah, Ir. *Pengantar Teknik Tenaga Listrik*. Yogyakarta : Andi  
Bandung : Alumni.
- El-Wakil M.M.1984. *Powerplant Technology*, United States : McGraw-Hill Book  
Company
- F Suryatmo. 1984. *Teknik Listrik Motor Dan Generator Arus Bolak-Balik*,
- Harun. 1987. *Energi Angin*, Bandung : Bina Cipta.
- Moh Anwar syaiful, 2008. *Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga  
Angin Pada Pengisian Mobil Listrik*. Skripsi tidak diterbitkan. ITS :  
Teknik Elektro Institut Teknik Surabaya
- Pujowidodo Hariyotejo, dll. *Pengembangan Generator Mini Dengan  
Menggunakan Magnet Permanen*. Jakarta : Departemen Teknik Mesin,  
Program Pasca Sarjana, Jakarta : Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Setiono puji, 2006. *Pemanfaatan Alternator Mobil Sebagai Pembangkit Listrik  
Tenaga Angin*. Skripsi tidak diterbitkan, Semarang : Unnes
- Sobandri Sachri. 1987. *Generator Angin*, Bandung : Binacipta.
- Teori Generator magnet permanen axial flux available at [www.windmill.com](http://www.windmill.com)

# RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN UNTUK KEBUTUHAN LISTRIK SKALA KECIL

HENDRA LESMANA

*Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia*

*Jalan Kaliurang km 14,5 Sleman, Jogjakarta 55501*

*Telp. (0274) 895007, 895287 Faks. (0274) 895007*

*Email : [Odavansari@yahoo.co.id](mailto:Odavansari@yahoo.co.id)*

## ABSTRAKSI

*Penelitian ini dibuat dengan tujuan menghasilkan alternatif pembangkit listrik tenaga terbaharukan dan mengurangi penyusutan Sumber Daya Alam tak terbaharukan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengumpulan data, perancangan dan pembuatan alat, pembuatan sistem keseluruhan, serta pengujian alat, analisis dan pengambilan kesimpulan. Hasil pengujian menunjukkan sistem pembangkit listrik tenaga angin dengan turbin angin tipe vertikal telah dapat menghasilkan tegangan output generator axial flux 3 fasa hubung bintang sebesar 18,10 Vac atau 25,6 Vdc tanpa beban dengan kecepatan angin 6,2 m/s, pada putaran generator 401 Rpm sedangkan untuk output dengan beban lampu Dc 12 watt mampu menghasilkan tegangan sebesar 17,2 Vdc dengan arus 0,7 ampere pada kecepatan angin 6,2 m/s dan di putaran generator 401 Rpm. Daya yang dihasilkan oleh turbin angin sebesar 12,04 watt pada area penangkapan 10 m<sup>2</sup>. Rata-rata arus pengisian aki adalah 0,767 ampere, mampu mencharge aki 12 V 60 Ah dari tegangan 11,2 V ke tegangan 11,8 selama kurang lebih 2 jam. Dengan tegangan dan arus sebesar itu sudah bisa untuk mengisi Aki yang nantinya akan dimanfaatkan untuk sumber listrik.*

*Kata Kunci : Pembangkit Listrik, Generator 3 fasa, Permanen Magnet, Sumber Listrik .*

### 1. Pendahuluan

Pasokan listrik di Indonesia sebagian besar di suplai oleh pembangkit listrik dengan sumber energi yang tidak terbaharukan seperti : Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD), Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG), dan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN). Sedangkan untuk pembangkit listrik dengan sumber energi yang terbaharukan seperti; pembangkit listrik yang digerakkan oleh tenaga surya, energi gelombang laut dan energi angin, saat ini masih dikembangkan secara terbatas di Indonesia. Semakin banyaknya pengguna listrik di Indonesia maka dikawatirkan sumber energi untuk memasok pembangkit listrik tenaga tak terbaharukan semakin menipis. Selain itu di Indonesia banyak daerah terpencil yang belum bisa dijangkau oleh jaringan PLN, sehingga diperlukan alternatif pembangkit listrik yang efisien untuk memenuhi kebutuhan listrik. Salah satu alternatif pembangkit listrik yang efisien adalah pembangkit listrik tenaga angin.

Secara umum, pemanfaatan tenaga angin di Indonesia kurang dikembangkan. Menurut *Blueprint* Pengelolaan Energi Nasional yang dikeluarkan oleh Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (DESDM) pada tahun 2005 Sampai tahun 2004, kapasitas terpasang dari pemanfaatan tenaga angin hanya mencapai 0.5 MW dari 9.29 GW potensi yang ada. Kapasitas pembangkit listrik tenaga angin di dunia telah berkembang pesat dengan laju pertumbuhan kumulatif sampai dengan tahun 2004 melebihi 20 persen per tahun. Dari kapasitas terpasang 5 GW pada tahun 1995 menjadi hampir 48 GW pada akhir

tahun 2004 tersebar dalam 74,400 turbin angin di sekitar 60 negara (BTM Consults ApS, 2005). Potensi energi angin di Indonesia umumnya berkecepatan lebih dari 5 meter per detik (m/detik). Hasil pemetaan Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (Lapan) pada 120 lokasi menunjukkan, beberapa wilayah memiliki kecepatan angin di atas 5 m/detik, masing-masing Nusa Tenggara Timur, Nusa Tenggara Barat, Sulawesi Selatan, dan Pantai Selatan Jawa. Klasifikasi kecepatan angin 4 m/detik hingga 5 m/detik tergolong berskala menengah dengan potensi kapasitas 10-100 kW. Dengan rata-rata kecepatan angin 4 m/detik hingga 5 m/detik, di Indonesia cukup berpotensi dikembangkan Pembangkit Listrik Tenaga Angin dengan potensi kapasitas 10 – 100 kW.

Pemanfaatan energi angin merupakan pemanfaatan energi terbaharukan yang paling berkembang saat ini, karena angin adalah salah satu bentuk energi terbaharukan yang tersedia di alam. Pembangkit Listrik Tenaga Angin mengkonversikan energi angin menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin atau kincir angin. Cara kerja Pembangkit Listrik Tenaga Angin cukup sederhana, energi angin yang memutar turbin angin diteruskan untuk memutar rotor pada generator, sehingga menghasilkan energi listrik. Energi listrik akan disimpan ke dalam baterai sebelum dapat dimanfaatkan.

Untuk mengubah energi mekanis menjadi energi listrik dibutuhkan generator. Generator yang tersedia biasanya berjenis *high speed induction generator* dimana pada generator jenis ini membutuhkan putaran tinggi dan juga

mempunyai energi listrik awal untuk membuat medan magnet. Sedangkan pada penggunaan Pembangkit Listrik Tenaga Angin dibutuhkan generator yang berjenis *low speed* dan tanpa energi listrik awal, karena akan ditempatkan di daerah-daerah yang tidak memiliki aliran listrik. Oleh karena itu generator yang akan digunakan adalah generator berjenis *low speed*.

Untuk memenuhi kebutuhan listrik yang efisien maka, dibuatlah Tugas Akhir perancangan pembangkit listrik tenaga angin untuk penggunaan listrik skala kecil dengan model turbine angin sumbu vertikal dan menggunakan generator dengan menggunakan magnet permanen berjenis *rare magnet* (NdFeB), *axial flux*.

## 2. Studi Pustaka

### 2.1. Tinjauan Pustaka

Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian-penelitian yang telah ada sebelumnya. Penelitian-penelitian terdahulu antara lain adalah :

“Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Angin Pada Stasiun Pengisian Accu Pada Mobil Listrik” yang disusun oleh Moh. Saiful Anwar. Kincir angin dengan 3 blade yang digunakan dalam penelitian ini memiliki torsi sebesar 0,001938 Nm dan tegangan keluaran generator sebesar 8 volt dan putaran generator 269 rpm. Dengan simulasi didapatkan untuk arus 0.019 Amp dibutuhkan putaran sebesar 345 rpm dan dapat melakukan isi ulang accu dari 8.96 – 9.91 Volt selama ± 2Jam 45Menit. Proyek akhir ini dinyatakan tidak berhasil. Karena desain blade yang digunakan pada proyek akhir ini masih belum sesuai dengan hasil yang diharapkan. Sehingga tegangan keluaran generator tidak mencapai tegangan yang cukup untuk mencharger accu.

Sedangkan pada penelitian kedua “Pengembangan Generator Mini Dengan Menggunakan Magnet Permanen” yang disusun oleh Hariyotejo Pujowidodo. Pada penelitian ini lebih difokuskan untuk mengembangkan generator dengan magnet permanen berjenis *rare magnet* (NdFeB) grade N48, *axial flux*. Generator pada penelitian kedua di desain untuk bekerja pada putaran 400 rpm dengan frekwensi tegangan 40 Hz dengan tegangan generator sebesar 11,2 volt dan tegangan maksimal adalah 15,8 volt. Tegangan sebesar ini sudah dapat digunakan untuk mengisi (*charging*) baterai/aki mobil untuk kemudian dapat digunakan energi listriknya. Tegangan induksi yang dihasilkan oleh generator dapat dihitung dengan persamaan 2.1.

$$E_{rms} = \frac{E_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} \times N \times f \times \phi_{max} \times \frac{N_s}{N_{ph}} \quad (1)$$

Dengan :

N : jumlah lilitan

f : frekuensi generator ( Hz )

$\phi_{max}$  : fluks magnet ( Wb )

$N_s$  : jumlah kumparan

$N_{ph}$  : jumlah fasa

Selain dari dua penelitian diatas, acuan untuk menghitung *Total Power* dari pembangkit listrik tenaga angin diambil dari buku “*Powerplant Technology*” yang disusun oleh M.M El-Wakil. *Total power* dapat dihitung melalui persamaan 2.2.

$$P_{tot} = mKEi = m \frac{v_i^2}{2gc} \quad (2)$$

Dengan :

m : *mass flow rate* (kg/s)

$v_i$  : *incoming velocity* (m/s)

gc : *conversion factor* (kg/Ns)

Dalam penelitian yang akan dibuat adalah Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin Untuk Kebutuhan Listrik Skala Kecil menggunakan kedua penelitian dan referensi buku diatas sebagai bahan untuk perancangan pembuatan pembangkit listrik tenaga angin dengan desain turbine angin yang berbeda yaitu model turbine angin tipe racecom dengan jumlah sudu 16 buah dan bersumbu vertikal sehingga lebih efisien pada angin berkecepatan rendah dan mengembangkan generator dari hasil penelitian yang kedua dengan menambah besar fluks magnet permanen dan jumlah lilitan untuk menambah tegangan yang dihasilkan generator.

### 2.2. 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 :

1. 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.

2. 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.

### 2.3. Pulley

Alat ini berfungsi untuk mengubah putaran rendah pada kincir menjadi putaran tinggi. Dalam pemeliharaannya digunakan oli untuk menjaga permukaan harus tetap pada ukurannya, dari waktu ke waktu harus diisi dengan oli yang baru. Agar kondisi *pulley* bisa tahan lama. Pulley juga berfungsi sebagai

pengait dari shaft turbin angin ke generator. Untuk besar torsi dapat didapat dengan persamaan 2.3.

$$P = 2 \times \pi \times n \times \frac{T}{60} \quad (3)$$

Dengan,

P = Power ( Hp )

n= Kecepatan putar generator ( Rpm )

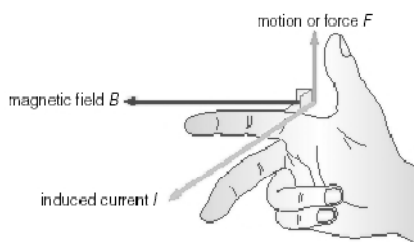
T = Torsi ( Nm )

#### 2.4. Generator

Generator adalah suatu mesin yang menggunakan magnet untuk mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Prinsip generator secara sederhana dapat dikatakan bahwa tegangan diinduksikan pada konduktor apabila konduktor tersebut bergerak pada medan magnet sehingga memotong garis-garis gaya. Hukum tangan kanan Fleming berlaku pada generator dimana menyebutkan bahwa terdapat hubungan antara penghantar bergerak, arah medan magnet dan arah resultan dari aliran arus yang terinduksi. Apabila ibu jari menunjukkan arah gerakan penghantar, telunjuk menunjukkan arah fluks, jari tengah menunjukkan arah aliran elektron yang terinduksi.

Hukum ini juga berlaku apabila magnet sebagai pengganti penghantar yang digerakkan. Jumlah tegangan yang diinduksikan pada penghantar saat penghantar bergerak pada medan magnet tergantung pada :

1. Kekuatan medan magnet, makin kuat medan magnet makin besar tegangan yang diinduksikan.
2. Kecepatan penghantar dalam memotong fluks, makin cepat maka semakin besar tegangan yang diinduksikan.
3. Sudut perpotongan, pada sudut 90 derajat tegangan induksi maksimum dan tegangan kurang bila kurang dari 90 derajat.
4. Panjang penghantar pada medan magnet.



**Gambar 1.** Kaidah tangan kanan Fleming.

Hubungan tersebut dapat dinyatakan dengan :

$$e = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (4)$$

Dengan :

N : banyak lilitan dari kumparan

$\Delta\Phi$  : perubahan fluks magnet dalam satuan webber (Wb)

$\Delta t$  : perubahan waktu dalam satuan detik (dt)

Dan daya :

$$P = E \times I \quad (5)$$

Dengan :

P : Daya (watt)

E : Tegangan (volt)

I : Arus (ampere)

Tegangan induksi yang dihasilkan oleh generator ini dapat dihitung dengan persamaan:

$$E_{rms} = \frac{E_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} \times N \times f \times \Phi_{max} \times \frac{N_s}{N_{ph}} \quad (6)$$

Dengan :

$E_{rms}$  = Tegangan induksi (Volt)

N = Jumlah lilitan per kumparan

f = Frekwensi (Hz)

$\Phi_{max}$  = Fluks magnet (Wb)

$N_s$  = Jumlah kumparan

$N_{ph}$  = Jumlah fasa

$$\Phi_{max} = A_{magn} \times B_{max} \quad (7)$$

Dengan :

$A_{magn}$  = Area magnet

$B_{max}$  =Densitas fluks maksimum.

$$A_{magn} = \frac{\pi \cdot (r_o^2 - r_i^2) - \tau_f (r_o - r_i) \cdot N_m}{N_m} \quad (8)$$

Dengan :

$r_o$  = Radius luar magnet

$r_i$  = Radius dalam magnet

$\tau_f$  = Jarak antar magnet

$N_m$  = Jumlah magnet

$$B_{max} = Br \frac{L_m}{L_m + \delta} \quad (9)$$

Dengan :

Br = Densitas fluks magnet

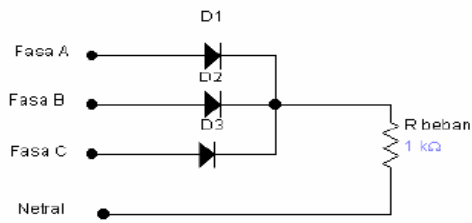
$L_m$  = Panjang magnet

$\delta$  = Jarak antara rotor dengan stator

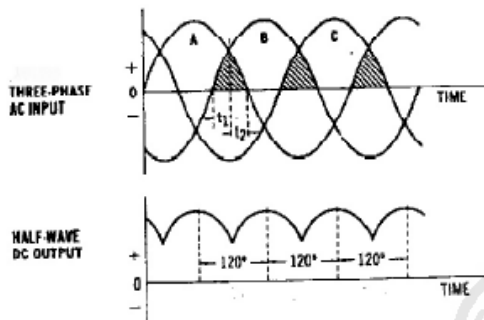
#### 2.5. Rectifier

Gambar 2 memperlihatkan penyearahan tiga fasa setengah gelombang yang tidak menggunakan transformator. Fasa A, B dan C sebagai sumber tegangan tiga fasa memberikan tegangan ke anoda dari dioda-dioda D1, D2, dan D 3. Bagian beban dihubungkan antara katoda dari dioda D1,D2,dan D3 dan titik netral dari sumber yang dihubungkan bintang. Sistem penyearahan dengan dioda terbagi menjadi dua cara :

1. Penyearahan setengah gelombang, hanya sisi ( + ) dari arus AC yang digunakan.
2. Penyearahan gelombang penuh, sisi ( - ) dari arus AC dirubah menjadi DC.



Gambar 2. diagram rangkaian penyearah 3 fasa



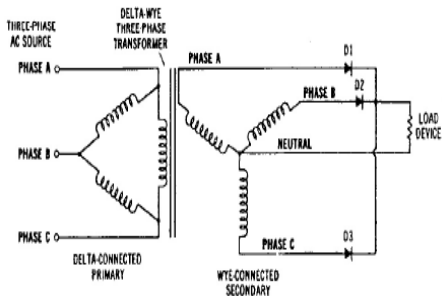
Gambar 3. Bentuk Gelombang input dan output.

Dengan adanya periode tegangan positif akan membuat dioda menjadi aktif, dengan tegangan positif ini akan menyebabkan tegangan yang lebih positif terhadap katoda dari dua titik yang lain, akibatnya kedua dioda saja yang aktif pada periode ini.

Dari kurva bentuk gelombang dapat dianalisa bahwa mulai dari  $0^\circ$  sampai  $30^\circ$ , dari fasa C (VC) mempunyai tegangan yang lebih positif dan ini akan memberi bias maju pada dioda D3 serta akan menghasilkan tegangan pada beban R yaitu sebesar  $V_0$ . Kemudian dari sudut  $30^\circ$  sampai  $150^\circ$  dari fasa A (VA) mempunyai tegangan yang lebih positif yang membuat dioda D1 dipicu kearah maju sehingga akan menghasilkan tegangan pada beban R. Pada sudut  $150^\circ$  VB menjadi lebih positif dan dioda D2 akan aktif sehingga akan menghasilkan tegangan pada beban R. Demikian seterusnya pada  $270^\circ$ , D3 menghantar kembali selama satu periode

Tegangan rata-rata output DC ( $V_{dc}$ ) tiga fasa dinyatakan sebagai berikut :

$$V_{dc} = 0,831 \times V_{maks} \quad (10)$$



Gambar 4. Penyearah setengah gelombang 3 fasa

### 2.5.1. Penyearah Gelombang Penuh 3 fasa

Terdapat tiga hal yang harus diperhatikan pada waktu menganalisa kerja untuk rangkaian penyearah tiga fasa gelombang penuh ini, yaitu:

- Dua dioda selalu menghantar, berarti empat dioda yang lain dalam keadaan tidak menghantar.
- Satu dari dioda-dioda yang bernomor genap ( D2, D4 dan D6 ) dalam keadaan aktif dan satu dari dioda-dioda yang bernomor ganjil ( D1, D 3 dan D5 ) juga selalu aktif.

c. Arus selalu mengalir dari sumber yang mempunyai tegangan positif tertinggi melalui dioda dioda yang bernomor genap terus mengalir pada dioda-dioda yang bernomor ganjil dan seterusnya kembali ke terminal sumber yang mempunyai tegangan negatif tertinggi. Pada rangkaian diatas,  $I_{dc}$  adalah  $0,995 \times I_m$  melalui tiap dioda dan hanya sepertiganya yang mengalir melalui tiap dioda.

Tegangan rata-rata  $V_{dc}$  adalah dua kali dari penyearah setengah gelombang tiga fasa atau

$$V_{dc} = 2,34 \times V_{rms} (ac) \quad (11)$$

Penyearah gelombang penuh dipersiapkan untuk daya tinggi, sebab :

- Tiap sekunder membawa arus untuk  $1/3$  siklus.
- Tiap primer membawa arus  $2/3$  siklus.
- Kerugian tembaga dalam belitan transformator adalah lebih rendah.

### 2.6. Charge Controller.

Pengertian dari *charger controller* adalah suatu alat yang berfungsi untuk mengontrol pengisian *battery* . Pengontrolan pengisian *battery* ini dilakukan dengan cara membatasi tegangan yang masuk ke *charge controller* sebesar 12 volt, sehingga ketika pengisian tidak merusak *battery*. Untuk mengetahui waktu dalam proses pengisian accumulator, dapat menggunakan perhitungan pada persamaan :

Lama pengisian arus :

$$T_a = \frac{Ah}{A} \quad (12)$$

Dengan :

$T_a$  : Lamanya pengisian arus (jam)

$Ah$  : Besarnya kapasitas accumulator (Ampere hours)

$A$  : Besarnya arus pengisian ke accumulator (Ampere)

Lama pengisian daya :

$$T_d = \frac{daya Ah}{daya A} \quad (13)$$

Dengan :

$T_d$  : Lamanya pengisian daya (jam)

Daya Ah : Besarnya daya yang didapat dari perkalian Ah dengan besar tegangan accumulator (Watt hours)

Daya A : Besarnya daya yang didapat dari perkalian A dengan besar tegangan accumulator (Watt)

### 2.7. Accumulator

Accumulator atau sering disebut *accu* (aki) adalah salah satu komponen utama dalam kendaraan bermotor, baik mobil atau motor, semua memerlukan aki untuk dapat menghidupkan mesin kendaraan (mencatu arus pada dinamo stater kendaraan). Aki mampu mengubah tenaga kimia menjadi energi listrik.

dengan proses elektrokimia reversibel yaitu di dalam aki saat dipakai berlangsung proses perubahan kimia menjadi tenaga listrik (*discharging*). Sedangkan saat diisi atau dimuati, terjadi proses tenaga listrik menjadi tenaga kimia (*charging*).

### 2.8. Energi Angin

Energi yang dimiliki oleh angin dapat didapat dari persamaan :

$$W : \frac{1}{2} \rho Av^3 \quad (14)$$

Dengan :

W = Energi angin (Joule)

$\rho$  = Kerapatan udara (Kg/m<sup>3</sup>)

A = Area penangkapan angin (m<sup>2</sup>)

v = Kecepatan angin (m/s)

Persamaan diatas merupakan sebuah persamaan untuk kecepatan angin pada turbine yang ideal, dimana dianggap energi angin dapat diekstraksi seluruhnya menjadi energi listrik. namun kenyataannya tidak seperti itu. Jadi terdapat faktor efisiensi dari mekanik turbine

$$W_{wt} : N_{wt} \frac{1}{2} \rho Av^3 \quad (15)$$

Dengan :

$N_{wt}$  = Efisiensi kincir angin (%)

Dan untuk mengetahui daya atau energi yang dikeluarkan oleh alternator berdasarkan kecepatan angin dan diameter turbine dapat dinyatakan dengan rumus :

$$P = \frac{1}{12} v^3 D^2 \quad (16)$$

Dengan :

P : daya atau energi (watt)

V : kecepatan aliran udara (m/s)

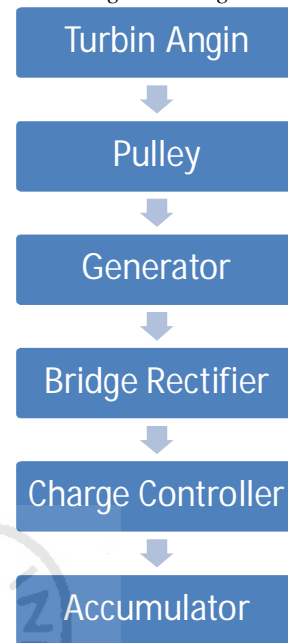
D : diameter baling-baling (m)

## 3. Perancangan Sistem

### 3.1 Blok Diagram

Blok diagram secara keseluruhan dari sistem ditunjukkan pada gambar 3.1. Kincir angin dikopel dengan generator menggunakan pulley yang berfungsi untuk mempercepat putaran di generator dan turbine angin akan berputar karena aliran angin sehingga generator juga akan berputar dan menghasilkan tegangan. Sebelum tegangan keluaran dari generator

digunakan untuk mencharge battery terlebih dahulu dikontrol didalam *charge/discharge controll*

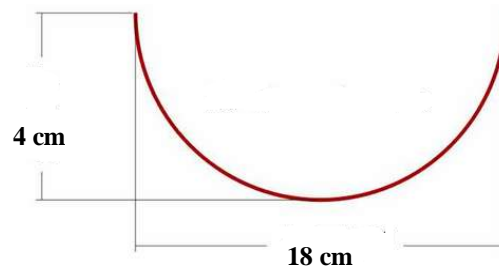


Gambar 5. Blok diagram sistem pengisian battery pada pembangkit listrik tenaga angin.

### 3.2 Perancangan Turbin Angin

Turbin angin adalah alat bantu yang digunakan untuk menggerakkan generator dan membangkitkan tenaga listrik. Kincir angin ini pada awalnya dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi, dan lain-lain. Kincir angin terdahulu banyak dibangun di Denmark, Belanda dan negara-negara Eropa lainnya dan lebih dikenal dengan Windmill. Turbine angin dalam sistem ini berfungsi sebagai penggerak mula dari generator.

Dalam proyek akhir ini menggunakan turbine angin vertical tipe darrieus dengan sudu berjumlah 16. Sudu terbuat dari bahan aluminium, bahan aluminium dipilih karena tahan lama dan ringan. Panjang blade juga harus sesuai, jika besar blade yang dipakai terlalu kecil dipasang pada generator besar tidak akan bisa berputar cepat untuk mendapatkan tenaga yang tepat. Berikut ini adalah bentuk rancangan sudu.







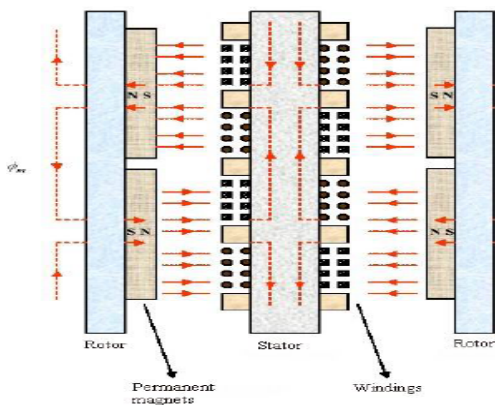
Gambar 6. Perancangan sudu



Gambar 8. Stator sebelum dan sesudah di resin

### 3.3 Perancangan Generator

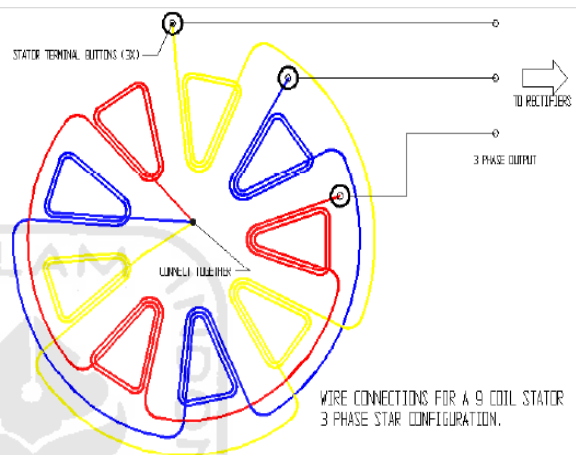
Secara garis besar, generator memiliki 2 komponen utama, yaitu stator dan rotor yang menentukan jenis dan karakteristik generator. Dan kalkulasi dari tegangan yang dihasilkan dapat dihitung dengan sebuah persamaan tegangan.



Gambar 7. Konsep Generator

#### 3.3.1. Stator

Stator terbuat dari terdiri dari beberapa *coil* atau kumparan dari kawat tembaga yang dilapisi oleh bahan isolator. Jumlah kumparan menentukan tegangan yang bisa dikeluarkan oleh generator tersebut. Stator yang kami buat terdiri dari 12 kumparan yang masing-masing kumparan terdiri atas 300 lilitan dan tiap 4 kumparan digabung hubung bintang sehingga didapat 3 fasa tegangan. Kemudian coil tersebut dicetak dalam cetakan resin sehingga membentuk suatu piringan dengan diameter 36 cm.



Gambar 9. Skema Penyambungan coil hubung bintang.

#### 3.3.2 Rotor

Rotor terbuat dari besi karbon yang ditempatkan magnet permanent (NdFeB) pada permukaannya sejumlah 24. pada generator ini terdapat 2 buah rotor yang mengapit stator dengan polaritas medan magnet yang berlawanan sehingga fluks magnet yang melewati kumparan bisa diperkuat. Antara 2 rotor tersebut disambungkan dengan poros yang kemudiam poros inilah yang diputar oleh kincir angin. Magnet mempunyai dimensi sebesar 1,5” x 0,75 “ x 0,25 “ dan mempunyai besar densitas fluks sebesar 0,091190372 Wb/m<sup>2</sup>.



Gambar 10. Rotor

Generator di desain untuk bekerja pada putaran 100 rpm dengan frekwensi tegangan 10 Hz. Tegangan induksi yang dihasilkan oleh generator ini dapat dihitung dengan persamaan:

$$B_{max} = Br \frac{lm}{lm+\delta} = 0,071992398 \text{ Wb/ m}$$

$$A_{magn} : \frac{\pi \cdot (ro^2 - ri^2) - \tau f (ro - ri) \cdot Nm}{Nm} = \frac{3,14 ((0,1425)^2 - (0,02)^2) - 0,001 (0,1425 - 0,02) \cdot 24}{24} = 0,00248 \text{ m}$$

$$\Phi_{max} = A_{magn} \times B_{max}$$

$$= 0,00248 \text{ m} \times 0,071992398 \text{ Wb/m} = 0,0001785 \text{ Wb}$$

$$E_{rms} = \frac{E_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} \times N \times f \times \phi_{max} \times \frac{Ns}{Nph}$$

$$\begin{aligned} \text{Dengan : } f &= P.n/120 \\ &= 12 \times 100/120 \\ &= 10 \text{ Hz} \\ &= \frac{2,3,14}{\sqrt{2}} \times 300 \times 100 \text{ Hz} \times \\ &0,0001785 \text{ Wb} \times \frac{12}{3} \\ &= 9,32 \text{ VAC} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan rumus diatas maka tegangan generator yang dirancang adalah sebesar 9,32 VAC. Tegangan sebesar ini sudah bisa kita gunakan untuk mengisi (*charging*) baterai/aki mobil untuk kemudian bisa digunakan sebagai sumber listrik.

### 3.4. Pulley

Pulley dalam sistem ini selain berfungsi sebagai pengait antara kincir angin dengan generator, pulley juga merupakan penggerak mula dari generator dan pulley berfungsi untuk mengatur torsi. Penggunaan roda gigi untuk kincir angin dipilih ukuran yang lebih besar daripada roda gigi pada generator dengan perbandingan 2:1. Perbandingan pulley ini dimaksudkan agar torsi yang dihasilkan kincir lebih besar daripada torsi generator sehingga putaran generator menjadi lebih cepat.



Gambar 11. Gambar Pulley

Menentukan jumlah perbandingan gear dalam suatu keperluan mekanik, dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{\phi_1}{\phi_2}$$

Dengan,

$\omega_1$  = Kecepatan pulley 1 ( Rpm )

$\omega_2$  = Kecepatan pulley 2 ( Rpm )

$\phi_1$  = Ratio pulley 1

$\phi_2$  = Ratio pulley 2

Dengan menggunakan perbandingan pulley, suatu pembangkit listrik tenaga angin akan memberikan hasil sesuai dengan kebutuhan. Sehingga dengan kecepatan angin yang ada dapat ditentukan ratio pulley yang tepat.

### 3.5. Bridge Rectifier

Untuk mengubah arus ac menjadi dc dan mengantisipasi adanya tegangan bolak – balik dari output keluaran generator ac, maka perlu diberikan suatu rangkaian penyearah tegangan yaitu rangkaian bridge rectifier. Bridge rectifier terdiri dari empat buah rectifier yang berhubungan satu sama lain ( membentuk formasi kotak ). Bridge rectifier menyearahkan arus ( ac ke dc ) dengan lebih efisien. Bridge Rectifier yang dipakai dalam penelitian ini mempunyai batas arus yang bisa dilewati sebesar 35 A.



Gambar 12. Rangkaian Bridge Rectifier

### 3.6. Charge Controller

Kontrol yang digunakan untuk rangkaian charger adalah Apple 5, sebuah rangkaian yang khusus digunakan untuk charger battery dengan output maksimal 5A. Prinsip kerja rangkaian ini yaitu sebelum output tegangan dari generator digunakan untuk charger battery, tegangan output tersebut dimasukkan terlebih dahulu pada rangkaian battery charger agar arus yang digunakan untuk charger battery bisa konstan. Kontrol charger ini selain berfungsi untuk mengatur kestabilan dari arus pengisian accu, juga untuk mematikan arus pengisian jika accu telah penuh.

### 3.7. Accumulator

Accumulator atau aki memiliki fungsi sebagai tempat penyimpanan energi listrik dari generator. Aki yang dipakai dalam penelitian ini menggunakan aki sebesar 12 V 60 Ah. Jika kondisi aki terisi penuh mempunyai daya 720 Watt.

## 4. Pengujian

### 4.1 Pengujian Kecepatan Angin

Pengambilan data kecepatan angin menggunakan alat anemometer. Berikut ini adalah data kecepatan angin :

**Tabel 1.** Data Kecepatan angin antara pukul 08.00 – 14.00 WIB

No	Waktu ( WIB )	Kecepatan Angin ( m/s )
1	08.00	3,4 m/s
2	08.10	3,1 m/s
3	08.11	4,4 m/s
4	08.12	4,6 m/s
5	08.40	2,9 m/s
6	08.41	3,7 m/s
7	09.00	2,5 m/s
8	09.10	2,3 m/s
9	09.20	3,9 m/s

**Tabel 2.** Data tegangan output generator tanpa beban

No	Waktu (WIB)	Kecepatan Angin ( m/s)	Rpm	Tegangan ( V )
1	08.00	3,4 m/s	175 Rpm	7,8 V
2	08.10	3,1 m/s	148 Rpm	7,3 V
3	08.11	4,4 m/s	178 Rpm	9,7 V
4	08.12	4,6 m/s	210 Rpm	13,8 V
5	08.40	2,9 m/s	125 Rpm	5,4 V
6	08.41	3,7 m/s	165 Rpm	8,3 V
7	09.00	2,5 m/s	58 Rpm	3,2 V
8	09.10	2,3 m/s	72 Rpm	3,1 V
9	09.20	3,9 m/s	151 Rpm	6,7 V
10	09.22	2,6 m/s	80 Rpm	4,1 V
11	09.25	1,3 m/s	44 Rpm	2,7 V
12	09.30	1,4 m/s	60 Rpm	3,2 V

10	09.22	2,6 m/s
11	09.30	1,3 m/s
12	11.00	6,1 m/s
13	11.30	5,5 m/s
14	12.00	5,3 m/s
15	12.30	5,4 m/s
16	13.00	6,2 m/s
17	13.30	4,7 m/s
18	14.00	4,9 m/s
Rata – rata angin		3,985 m/s

Dari data pengujian yang diperoleh rata-rata kecepatan angin pada rentang waktu antara pukul 08.00 sampai 14.00 adalah 3,985 m/s. Dan total daya energi angin untuk radius area penangkapan 10 m<sup>2</sup> adalah :

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

$$W = \frac{1}{2} 10 \times 10 \text{ m}^2 \times 3,985^3 \text{ m/s} \\ = 3164,134 \text{ joule}$$

### 4.2. Pengujian Generator

Data pengujian output dari generator seperti berikut ini :

#### 1. Pengujian tanpa beban

13	11.00	6,1 m/s	315 Rpm	23,2 V
14	11.30	5,5 m/s	249 Rpm	17,6 V
15	12.00	5,3 m/s	280 Rpm	19,3 V
16	12.30	5,4 m/s	284 Rpm	18,7 V
17	13.00	6,2 m/s	401 Rpm	24,7 V
18	13.30	4,7 m/s	248 Rpm	14,2 V
19	14.00	4,9 m/s	268 Rpm	16,7 V

Dari data diatas didapatkan untuk mencapai tegangan 9,32 Vac, jika dijadikan Vdc adalah 13,18 Vdc dibutuhkan angin dengan kecepatan 4,6 m/s dan kecepatan putar generator adalah 210 Rpm. Dari data tersebut disimpulkan bahwa desain tegangan generator penulis yang mendesain tegangan output 9,32 Vac atau sama dengan 13,18 Vdc di putaran 100 Rpm tidak sesuai dengan rencana desain. Hal ini diakibatkan karena adanya rugi-rugi tegangan induksi yaitu :

#### 1. Rugi-rugi tembaga Stator

2. Rugi- rugi magnet rotor
  3. Rugi-rugi inti
  4. Rugi angin dan gesekan
2. Pengujian generator dengan beban

Beban 1 adalah lampu dengan tegangan 7,2 Vdc 0,7 A dan beban 2 adalah lampu dengan tegangan 12 Vdc 1 A.

**Tabel 3.** Data tegangan output generator dengan beban

No	Kecepatan angin (m/s)	Putaran generator (Rpm)	Tegangan tanpa beban (V)	Tegangan dengan beban (V)	Arus Beban 1 (A)	Arus beban 2 (A)	Daya (Watt)
1	3,4	178	7,8	4,6	0,64	-	2,944
2	4,6	220	12,4	7,1	0,89	-	6,319
3	3,9	183	10,7	6,2	0,74	-	4,588
4	6,1	360	22,8	18,4	0,35	-	6,44
5	5,4	268	17,9	12,3	0,46	-	5,658
6	1,8	94	4,7	1,2	0,27	-	0,324
7	2,8	145	6,3	1,35	0,34	-	0,459
8	1,9	77	4,3	0,7	-	0,58	0,406
9	3,4	181	8,3	3,8	-	0,78	2,964
10	3,5	178	8,7	3,7	-	0,68	2,516
11	4,7	256	14,2	7,9	-	0,8	6,3
12	3,9	210	10,3	4,7	-	0,74	3,478
13	5,9	320	21,3	14,8	-	0,82	12,136
14	6,2	364	23,4	17,2	-	0,7	12,04

Dari hasil perhitungan daya masing-masing data, diperoleh untuk daya yang dihasilkan generator pada beban 1 yaitu lampu berdaya 5,04 Watt terjadi ketika angin dikecepatan 6,1 m/s dan kecepatan putar generator sebesar 360 Rpm menghasilkan sebesar 6,44

Watt. Sedangkan pada beban 2 yaitu lampu berdaya 12 Watt terjadi ketika angin di kecepatan 5,9 m/s dan kecepatan putar generator sebesar 320 Rpm menghasilkan daya sebesar 12,136 Watt.

### 4.3. Pengujian Turbin Angin

Dengan melihat hasil data tabel. 4.2.2. Perhitungan untuk mengetahui daya maksimal atau energi yang dikeluarkan oleh alternator berdasarkan kecepatan angin yang bertiup di pantai samas pada jam 08.00 – 14.00 dengan diameter turbine 1 m. Dimana  $v = 6,2$  m/s ( diperoleh dari kecepatan angin tertinggi ).

$$P = \frac{1}{12} v^3 D^2$$

$$= \frac{1}{12} 6,2^3 \times 1^2$$

$$= 19,8 \text{ Watt}$$

Pengukuran dan perhitungan yang dilakukan dalam penelitian ini terdapat selisih, pada pengukuran daya atau energi yang dihasilkan sebesar 12,04 watt sedangkan pada perhitungan daya atau energi yang dihasilkan sebesar 19,8 watt. Jadi terdapat selisih sebesar 7,76 Watt. Sedangkan untuk total power yang dihasilkan oleh kincir angin untuk kecepatan 6,2 m/s adalah :

$$P_{tot} = mKE_i = m \frac{v_i^2}{2g \cdot c_p}$$

Dengan :

$$g = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$C_p = 0,35 \text{ ( efisiensi turbin )}$$

$$A = 10 \text{ m}^2 \text{ ( Area penangkapan angin )}$$

$$P_{tot} = mKE_i = m \frac{V_i^2}{2g \cdot c_p}$$

$$= \rho \cdot A \cdot v \frac{v_i^2}{2g \cdot c_p}$$

$$= 10. 10. 6,2 \frac{6,2^2 \text{ m/s}}{2 \times 1000 \times 0,35}$$

$$= 34,04685 \text{ Watt}$$

Dari hasil diatas, dapat disimpulkan bahwa turbin angin yang didesain belum maksimal karena hanya menghasilkan daya 19,08 Watt pada area penangkapan 10 m<sup>2</sup> dan pada kecepatan angin 6,2 m/s. Jadi masih ada sisa energi yang belum bisa dimanfaatkan sebesar 34,04685 Watt – 19,08 Watt = 14,96685 Watt.

$$= 0,016 \text{ Hp}$$

$$T \text{ generator} = \frac{P \times 60}{2 \times \pi \times n}$$

$$F \times r = \frac{0,016 \text{ Hp} \times 60}{2 \times 3,14 \times 360 \text{ Rpm}}$$

$$F \times 2 \text{ inch} \times 0,024 = \frac{0,96}{2.260,8}$$

$$F = 0,00885 \text{ Nm}$$

#### 4.4. Pengujian pengisian aki

Data diperoleh pada pukul 11.00 – 14.00 dan tegangan aki tidak pada kondisi kosong, yaitu pada tegangan 10,8. Aki memiliki kapasitas sebesar 12 Volt 60 Ah

**Tabel 4.** data pengisian Aki dari jam 11.00 – 14.00 WIB

No.	V out generator	V out terminal aki	i ( Arus )	Kecepatan Angin
1	11,3 V	9,8 V	0,5 A	4,3 m/s
2	14 V	10,6 V	0,56 A	4,6 m/s
3	20 V	11,3 V	0,84 A	5,8 m/s
4	18,6 V	11,3 V	0,68 A	5,4 m/s
5	19,8 V	11,5 V	0,87 A	5,9 m/s
6	23,4 V	11,5 V	0,92 A	6,1 m/s
7	25,6 V	11,6 V	0,98 A	6,2 m/s
8	19,3 V	11,6 V	0,79 A	5,4 m/s
9	18,6 V	11,7 V	0,73 A	5,4 m/s
10	20,3 V	11,8 V	0,8 A	6 m/s
Rata - rata			0,767 A	5,51 m/s

Dari data tabel diatas diperoleh untuk rata-rata arus pengisian adalah 0,767 A dan rata-rata kecepatan angin adalah 5,51 m/s. Dari pengamatan yang dilakukan penulis pengisian aki pada pembangkit listrik tenaga angin ini dimulai dari angin dengan kecepatan 4,6 m/s dan kecepatan putar generator adalah 210 Rpm dengan keluaran output tegangan sebesar 13,8 Vdc. Pengisian Aki dari tegangan 11,2 ke tegangan 11,8 memerlukan waktu kurang lebih 2 jam. Untuk lama pengisian aki dari kondisi kosong sampai keadaan penuh dapat dihitung melalui persamaan :

$$T \text{ Ah} = \text{Ah/A}$$

$$= 60 \text{ Ah} / 0,767 \text{ A}$$

$$= 78,226 \text{ hour}$$

Untuk Torsi yang ada pada turbine angin ini adalah :

$$P = 2 \times 3,14 \times n \times \frac{\text{Hp}}{60}$$

Dengan :

P = daya power ( Hp )

T = Torsi ( Nm )

n : kecepatan generator

Untuk P = 12,04 watt x 0,00134

#### 5. Kesimpulan

Dari hasil pengamatan, pengujian dan analisa pada perancangan yang dibuat dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Tegangan keluaran dari generator belum sesuai dari tegangan keluaran yang direncanakan yaitu sebesar 9,32 Vac atau sama dengan 13,18 Vdc bekerja pada putaran 100 Rpm, karena hasil tegangan keluaran generator sebesar 13,8 Vdc pada putaran 210 Rpm dengan kecepatan angin sebesar 4,6 m/s.
2. Proyek pembangkit listrik ini disimpulkan bahwa turbin angin yang didesain belum maksimal karena hanya menghasilkan daya 12,04 Watt pada area penangkapan 10 m<sup>2</sup> dengan kecepatan angin 6,2 m/s. karena daya yang seharusnya adalah sebesar 34,04685 watt. Jadi masih ada sisa energi yang belum bisa dimanfaatkan sebesar 34,04685 Watt – 12,04 Watt = 22,00685 Watt.
3. Rata-rata arus pengisian aki adalah 0,767 A sedangkan rata-rata kecepatan angin adalah 5,51 m/s dan mampu mencharge aki 12 V 60 Ah dari tegangan 11,2 ke tegangan 11,8 selama kurang lebih 2 jam.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Berahim Hamzah, Ir. *Pengantar Teknik Tenaga Listrik*. Yogyakarta : Andi Bandung : Alumni.El-Wakil M.M.1984. *Powerplant Technology*, United States : McGraw-Hill Book Company
- F Suryatmo. 1984. *Teknik Listrik Motor Dan Generator Arus Bolak-Balik*.
- Harun. 1987. *Energi Angin*, Bandung : Bina Cipta.
- Moh Anwar syaiful, 2008. *Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Angin Pada Pengisian Mobil Listrik*. Skripsi tidak diterbitkan ITS : Teknik Elektro Institut Teknik Surabaya
- Pujowidodo Hariyotejo, dll. *Pengembangan Generator Mini Dengan Menggunakan Magnet Permanen*. Jakarta : Departemen Teknik Mesin, Program Pasca Sarjana, Jakarta : Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Sobandri Sachri. 1987. *Generator Angin*, Bandung : Binacipta.
- Teori Generator magnet permanen axial flux available at [www.windmill.com](http://www.windmill.com)