



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISIS PENGISIAN BATERAI PADA RANCANG  
BANGUN TURBIN ANGIN POROS VERTIKAL TIPE  
SAVONIUS UNTUK PENCATUAN BEBAN LISTRIK**

**SKRIPSI**

Difi Nuary Nugroho  
0706267635

**FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
DEPOK  
2011**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISIS PENGISIAN BATERAI PADA RANCANG  
BANGUN TURBIN ANGIN POROS VERTIKAL TIPE  
SAVONIUS UNTUK PENCATUAN BEBAN LISTRIK**

**SKRIPSI**

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Difi Nuary Nugroho  
0706267635

FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
DEPOK  
2011

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

**Nama : Difi Nuary Nugroho**

**NPM : 0706267635**

**Tanda Tangan :**

**Tanggal : 15 Juni 2011**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Difi Nuary Nugroho  
NPM : 0706267635  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Skripsi : Analisis Pengisian Baterai Pada Rancang Bangun  
Turbin Angin Poros Vertikal Tipe Savonius Untuk  
Pencatuan Beban Listrik

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia**

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr.Ing. Eko Adhi Setiawan,ST, MT ( )

Penguji : Prof. Rudy Setiabudi ( )

Penguji : Aji Nur Widyanto, ST, MT ( )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 4 Juli 2011

## KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah, Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Departemen Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

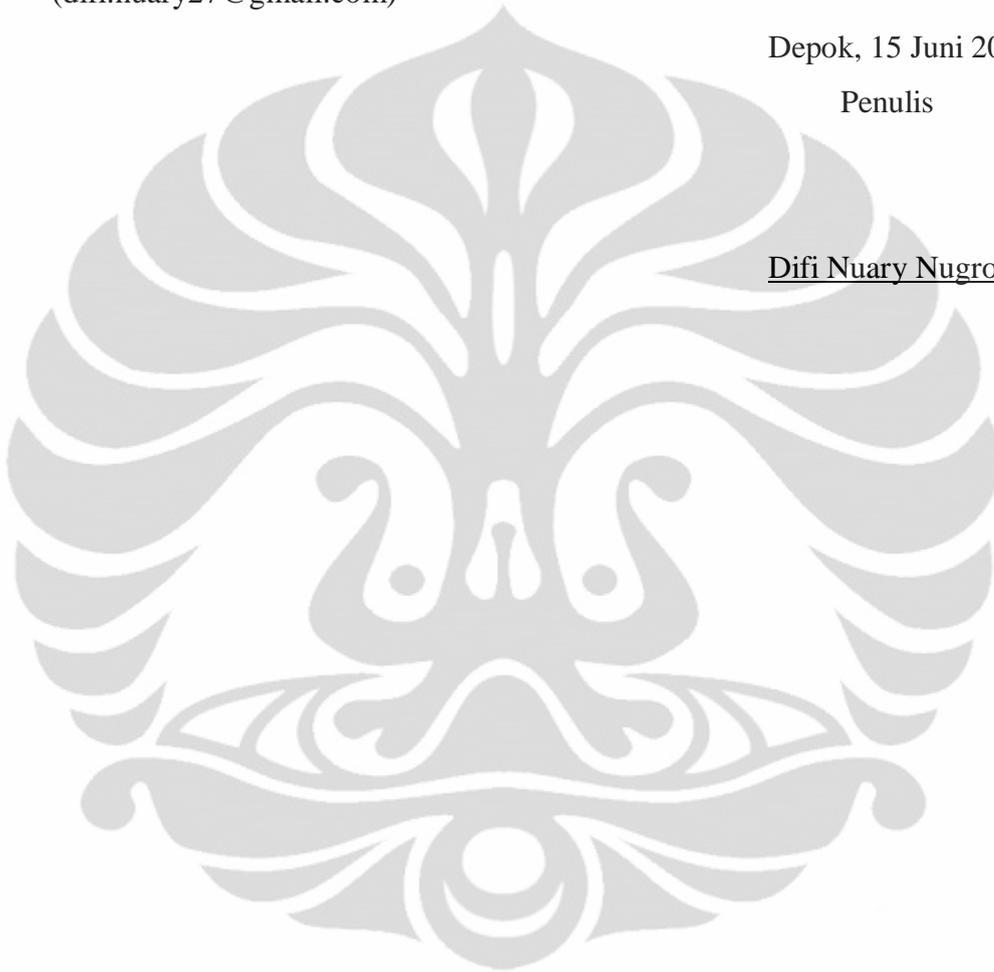
- (1) Kedua orang tua saya, kepada Ibu dan Ayah atas dorongan semangat, doa yang tulus dan kasih sayang yang tak pernah putus. Serta kepada kakak dan adik saya yang mana kehadiran mereka memberi banyak makna dalam hidup.
- (2) Dr.Ing Eko Adhi Setiawan, ST, MT selaku dosen pembimbing saya, terimakasih atas semua masukan, saran, semangat yang diberikan dalam proses penyelesaian skripsi ini.
- (3) Pak Budiyanto yang sedang berjuang mendapatkan gelar doktornya, terimakasih atas semua saran dan ilmu yang dijelaskan dan selalu menemukan solusi solusi untuk masalah skripsi ini
- (4) Pak Amien Raharjo yang telah meminjamkan peralatan pengukuran serta asisten laboratorium pengukuran
- (5) Seluruh teman teman peminatan tenaga listrik angkatan 2007 yang solid, Serta Seluruh teman teman Teknik Elektro angkatan 2007 yang tak dapat disebutkan satu persatu atas apa yang telah kita lalui bersama, kita *share* bersama, pelajari bersama dan tentunya atas kebersamaan yang menjadikan kita semakin dekat.
- (6) Ikatan Alumni Teknik Elektro yang telah membantu secara finansial
- (7) Ikatan Mahasiswa Elektro yang telah membantu memfasilitasi keterhubungan dengan alumni.
- (8) Laboratorium Elektronika dan para asistennya.

Akhir kata semoga Allah SWT meridhoi dan merahmati atas apa yang telah saya lakukan selama ini, semoga pula skripsi ini dapat bermanfaat bagi yang lainnya. Penulis menyadari bahwa skripsi ini belum sepenuhnya sempurna, penulis Berharap mendapatkan masukan, pendapat, saran dan kritik untuk sebagai masukan menyempurnakan pada kesempatan yang akan datang.  
(difi.nuary27@gmail.com)

Depok, 15 Juni 2011

Penulis

Difi Nuary Nugroho



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Difi Nuary Nugroho  
NPM : 0706267635  
Program Studi : Teknik Elektro  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-eksklusif Royalty-Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**ANALISIS PENGISIAN BATERAI PADA RANCANG  
BANGUN TURBIN ANGIN POROS VERTIKAL TIPE  
SAVONIUS UNTUK PENCATUAN BEBAN LISTRIK**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada tanggal : 15 Juni 2011

Yang menyatakan

(Difi Nuary Nugroho)

## **ANALISIS PENGISIAN BATERAI PADA RANCANG BANGUN TURBIN ANGIN POROS VERTIKAL TIPE SAVONIUS UNTUK PENCATUAN BEBAN LISTRIK**

### **ABSTRAK**

Salah satu upaya untuk mengatasi krisis energi adalah mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi fosil dengan cara memanfaatkan sumber energi alternatif. Salah satu energi alternatif yang dapat digunakan adalah energi angin. Energi angin dapat dimanfaatkan pada pembangkit listrik tenaga angin. Pembangkit listrik tenaga angin merupakan suatu metode untuk membangkitkan energi listrik dengan cara memutar turbin angin yang dihubungkan ke generator, kemudian energi listrik yang dihasilkan oleh generator disimpan dalam elemen penyimpan energi listrik (baterai). Energi listrik yang tersimpan dalam elemen penyimpan akan dibebankan kepada beban rumah tangga yang berdaya rendah sehingga dengan pembangkit ini akan terlihat penggunaan sistem pembangkit listrik tenaga angin ini dengan turbin angin berporos vertikal tipe savonius.

**Kata kunci** : pembangkit listrik, tenaga angin, energi listrik, Generator, baterai, biaya listrik, turbin angin savonius

ANALYSIS OF CHARGING BATTERY ON DESIGNED OF VERTICAL  
AXIS WIND TURBINE SAVONIUS TYPE FOR SUPPLY  
ELECTRICAL LOAD

**ABSTRACT**

One effort to overcome the energy crisis is to reduce dependence on fossil energy sources by utilizing alternative energy sources. One of the alternative energy that can be used is wind energy. Wind energy can be utilized in wind power. Wind power is a method for generating electrical energy by rotating wind turbines connected to generators, and electrical energy generated by the generator is stored in the elements of electrical energy storage (batteries). Electrical energy stored in the storage element will be charged to expense burden of households with low power so that this generation will be seen savings on residential electricity costs.

**Key words :** Electric generate, wind power, generator, battery, cost, savonius turbine

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
<b>1. PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penulisan	2
1.3. Pembatasan Masalah	3
1.4. Metodologi Penulisan	3
1.5. Sistematika Penulisan	3
<b>2. DASAR TEORI</b>	<b>4</b>
2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Angin	4
2.1.1. Energi Angin	4
2.1.2. Turbin Angin	4
2.1.3. Perkiraan Daya dan Energi Listrik	7
2.1.4. Jenis Turbin Angin	9
2.2. Prinsip Pembangkitan Energi Listrik	11
2.2.1. Induksi Elektromagnet	11
2.2.2. Gaya Gerak Listrik	11
2.2.3. Prinsip Generator	12
2.3. Generator Aksial	13
2.3.1. Prinsip Kerja Generator Fluks Aksial	13
2.4. Bridge Rectifier	15
2.5. Akumulator	15
2.5.1. Pengertian Akumulator	15
2.5.2. Tipe Akumulator	16
2.5.3. Proses Elektrokimia Akumulator	19
2.5.3.1. Pembangkitan Arus	19
2.5.3.2. Proses Pengisian Elektrokimia	20
2.5.3.3. Proses Pengaliran Arus pada Beban	22
2.5.5. Kapasitas Akumulator	23
2.5.6. Konstruksi Akumulator	24
2.5.7. Prinsip Kerja Akumulator	25
2.6. Regulator LM2575	27
2.7. Inverter	27
2.7.1. Pengertian Inverter	27

2.7.2. Jenis Gelombang Inverter	28
2.7.3. Prinsip Kerja Inverter	28
2.8. Gambaran Umum Listrik Perumahan	29
<b>3. PERANCANGAN DAN PENGUJIAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN</b>	<b>30</b>
3.1. Konfigurasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin	30
3.2. Konfigurasi Sistem Pembangkit	32
3.2.1. Perencanaan Turbin Angin	32
3.2.2. Perancangan Sistem Hubungan Turbin dengan Generator	33
3.2.3. Perancangan Bridge Rectifier	34
3.2.4. Perancangan Generator Fluks Aksial	35
3.2.5. Perencanaan Pengendali Tegangan	36
3.2.6. Perencanaan Akumulator	37
3.2.7. Perencanaan Inverter	38
3.2.8. Perancangan Regulator Output	38
3.3. Perencanaan Beban	40
3.3.1. Radio	40
3.3.2. Ponsel	41
3.3.3. Lampu LED	41
3.3.4. Lampu LED 12 volt	42
3.3.5. Lampu Hemat Energi	42
3.4. Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Angin	43
3.4.1. Objek Pengujian	43
3.4.2. Peralatan Pengujian	43
3.4.3. Diagram dan Parameter Pengujian	46
3.4.3.1. Pengujian Tegangan dan Arus keluaran Generator	46
3.4.3.2. Pengujian Pengisian Akumulator	46
3.4.3.3. Pengujian Pencatuan ke Beban Listrik	47
3.5. Prosedur Pengujian	48
3.5.1. Pengujian Tegangan dan Arus Keluaran Generator	48
3.5.2. Pengujian Pengisian Akumulator	48
3.5.3. Pengujian Pencatuan ke Beban Listrik	48
<b>4. HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS</b>	<b>50</b>
4.1. Analisis Hasil Pengujian Tegangan dan Arus Terhadap Kecepatan	50
4.2. Analisis Hasil Pengujian Pengisian Akumulator	52
4.3. Analisis Hasil Pengujian Pencatuan ke Beban Listrik	57
4.4. Analisis Kebutuhan Listrik Perumahan	63
<b>5. KESIMPULAN</b>	<b>65</b>
<b>DAFTAR ACUAN</b>	<b>66</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>67</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Kondisi tingkat pengisian akumulator 12 volt	22
Tabel 3.1. Karakteristik regulator	40
Tabel 4.1. Hasil Pengujian Tegangan dan Arus Genarator	49
Tabel 4.2. Hasil keluaran dari Rangkaian Penyearah	52
Tabel 4.3. Hasil Tegangan Keluaran controller	54
Tabel 4.1. Data Hasil Pengujian Pengisian Akumulator selama 30 Menit dengan Kecepatan angin 4 m/s	55
Tabel 4.5 Pencatuan Beban Ponsel	58
Tabel 4.6 Pencatuan Beban Lampu LED	58
Tabel 4.7 Pencatuan Beban Radio	58
Tabel 4.8 Pencatuan Beban LED 12 V	59
Tabel 4.9 Daya Yang Dihasilkan	59
Tabel 4.10. Hasil pengujian pencatuan akumulator ke beban lampu 18 watt pengujian diambil dengan kecepatan angin 6 m/s	62
Tabel 4.2. Daya listrik yang dihasilkan pada pengujian pencatuan ke beban lampu 18 watt	62
Tabel 4.9. Konsumsi Daya Perumahan 900VA	63
Tabel 4.10 Daya yang dapat ditanggung PLTB	65

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Aliran Angin pada permukaan bumi	4
Gambar 2. 2 kerja turbin angin	5
Gambar 2.3 Kurva Karakteristik Daya listrik Terhadap Kecepatan Angin	7
Gambar 2.4 Berbagai Jenis dari Turbin angin tipe Horizontal	9
Gambar 2.5 Hubungan Torsi dan Efisiensi	10
Gambar 2.6. Induksi Elektromagnet	11
Gambar 2.7. Hukum Tangan Kanan <i>Fleming</i>	12
Gambar 2.8. Prinsip Generator 1	12
Gambar 2.9. Prinsip Generator 2	13
Gambar 2.10. Gambar Rangkaian dan output bridge rectifier	15
Gambar 2.11. Konstruksi Dasar dari Sel Akumulator	17
Gambar 2.12. Konstruksi Akumulator	25
Gambar 2.13 Rangkaian Regulator IC LM2575	27
Gambar 2.14. Prinsip Kerja Inverter	29
Gambar 3.1. Blok Diagram Pembangkit Listrik Tenaga Angin	31
Gambar 3.2. Konfigurasi Turbin Angin	32
Gambar 3.2. Hubungan roda-roda yang dihubungkan bersinggungan	33
Gambar 3.3. Gambar Rangkaian dan output bridge rectifier	34
Gambar 3.4 Rangkaian penyearah	35
Gambar 3.5. Generator Aksial	36
Gambar 3.6. Solar Charge Controller (Shinyoku)	37
Gambar 3.7. Akumulator 12V – 3,5Ah	38
Gambar 3.8 Inverter	38
Gambar 3.9. Rangkaian Regulator	39
Gambar 3.10 Radio	41
Gambar 3.11 Ponsel	41
Gambar 3.12 LED	42

Gambar 3.13 Lampu AC	43
Gambar 3.14. Multimeter Digital MASDA	44
Gambar 3.15. Multimeter Digital Sanwa	44
Gambar 3.16. Tachometer Digital Yew model 3631	44
Gambar 3.17. Osiloskop	45
Gambar 3.18. Anemometer	45
Gambar 3.19. Diagram Pengujian tegangan dan arus keluaran generator	46
Gambar 3.20. Diagram Pengujian Pengisian akumulator	46
Gambar 3.21 Rangkaian beban AC	47
Gambar 3.22 Rangkaian beban DC	47
Gambar 4.1. Hasil Osiloskop	50
Gambar 4.2. Grafik hubungan antara tegangan output alternator terhadap kecepatan putar alternator	51
Gambar 4.3. Grafik hubungan antara arus listrik output alternator Terhadap kecepatan putar alternator	52
Gambar 4.4. Grafik hubungan antara arus listrik output alternator terhadap kecepatan putar alternator	56
Gambar 4.5 Grafik Arus Beban	59
Gambar 4.6. Grafik arus pencatuan dari akumulator ke beban selama 5 menit	60
Gambar 4. 7. Grafik Tegangan Akumulator untuk Menyuplai setiap Beban selama 5 Menit	61

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Kebutuhan Energi Listrik di Indonesia khususnya dan di dunia pada umumnya terus meningkat. Hal ini disebabkan oleh pertambahan jumlah penduduk, pertumbuhan ekonomi serta pola konsumsi energi yang terus meningkat. Energi listrik merupakan energi yang sangat penting bagi peradaban manusia baik dalam kegiatan sehari-hari hingga dalam kegiatan industri. Energi listrik tersebut digunakan untuk berbagai kebutuhan, seperti penerangan dan juga proses-proses yang melibatkan barang-barang elektronik dan mesin industri. Dengan kebutuhan energi listrik yang besar maka dibutuhkan sumber energi pembangkit listrik yang mencukupi kebutuhan tersebut. Tentunya dengan tetap menjaga ketersediaan energi fosil yang diketahui semakin menipis. Mengingat hal tersebut diperlukan suatu sumber daya terbaru yang keberadaannya tidak terbatas, untuk mendapatkan kondisi ini diperlukan langkah strategis yang dapat menunjang penyediaan energi listrik secara optimal dan terjangkau.

Saat ini, ketersediaan sumber energi listrik tidak mampu memenuhi peningkatan kebutuhan listrik di Indonesia. Terjadinya pemadaman bergilir merupakan salah satu dampak dari terbatasnya energi listrik yang dapat disalurkan oleh Perusahaan Listrik Negara. Hal ini terjadi karena laju pertumbuhan sumber energi baru dan pengadaan pembangkit tenaga listrik tidak sebanding dengan peningkatan konsumsi listrik.

Upaya penambahan pembangkit sebenarnya telah dilakukan pemerintah. Namun membutuhkan proses yang lama dan anggaran yang besar. Apalagi saat ini PLN sedang mengalami kerugian dan menanggung hutang yang cukup besar. Oleh karena itu, kerja sama dan partisipasi berbagai pihak sangat diperlukan untuk mengatasi krisis energi listrik ini.

Salah satu upaya untuk mengatasi krisis energi adalah mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi fosil dengan cara memanfaatkan sumber energi alternatif. Salah satu energi alternatif yang dapat digunakan adalah energi yang terdapat pada alam ini seperti angin. Energi angin dapat dimanfaatkan pada

pembangkit listrik tenaga angin atau yang lebih dikenal dengan pembangkit listrik tenaga bayu. Pembangkit listrik tenaga angin merupakan suatu metode untuk membangkitkan energi listrik dengan cara memutar turbin angin yang dihubungkan ke generator sebagai pembangkit listrik, kemudian energi listrik yang dihasilkan oleh generator disimpan dalam elemen penyimpan energi listrik (baterai). Untuk menjaga tegangan keluaran dari generator maka dibutuhkan suatu pengendali agar energi listrik yang masuk kedalam baterai optimal. Energi listrik yang tersimpan dalam baterai ini digunakan untuk menyalakan beberapa peralatan listrik rumah tangga seperti lampu, televisi, radio, dan beberapa peralatan listrik yang memiliki kapasitas daya listrik yang tidak terlalu besar. Karena peralatan listrik rumah tangga kebanyakan menggunakan tegangan arus bolak-balik, maka energi listrik yang disimpan dalam baterai harus diubah dahulu dari tegangan arus searah 12 volt menjadi tegangan arus bolak-balik 220 volt dengan inverter.

Turbin Angin yang dirancang dalam skripsi ini bertujuan untuk menangkap angin yang akan di konversi menjadi listrik namun mengingat kondisi angin di Indonesia yang fluktuatif maka dalam pengisian baterai pun akan terjadi kondisi yang dinamik, oleh karena itu pada skripsi ini dijelaskan kondisi pengisian baterai pada rancang bangun turbin angin poros vertikal, serta kondisi pencatuan beban sehingga dapat terlihat penghematan yang terjadi.

## **1.2. Tujuan Penulisan**

Tujuan dari penulisan skripsi ini secara umum adalah untuk membahas perancangan serta pembuatan pembangkit listrik tenaga angin untuk memenuhi sebagian kebutuhan listrik rumah tangga sebagai salah satu upaya mengatasi krisis energi. Namun secara lebih khusus akan dijelaskan mengenai kondisi pengisian baterai dan kondisi pencatuan beban sehingga dapat terlihat penghematan biaya listrik yang dilakukan dengan estimasi beban rumah tangga terhadap rancang bangun turbin angin poros vertikal tipe savonius.

### **1.3. Pembatasan Masalah**

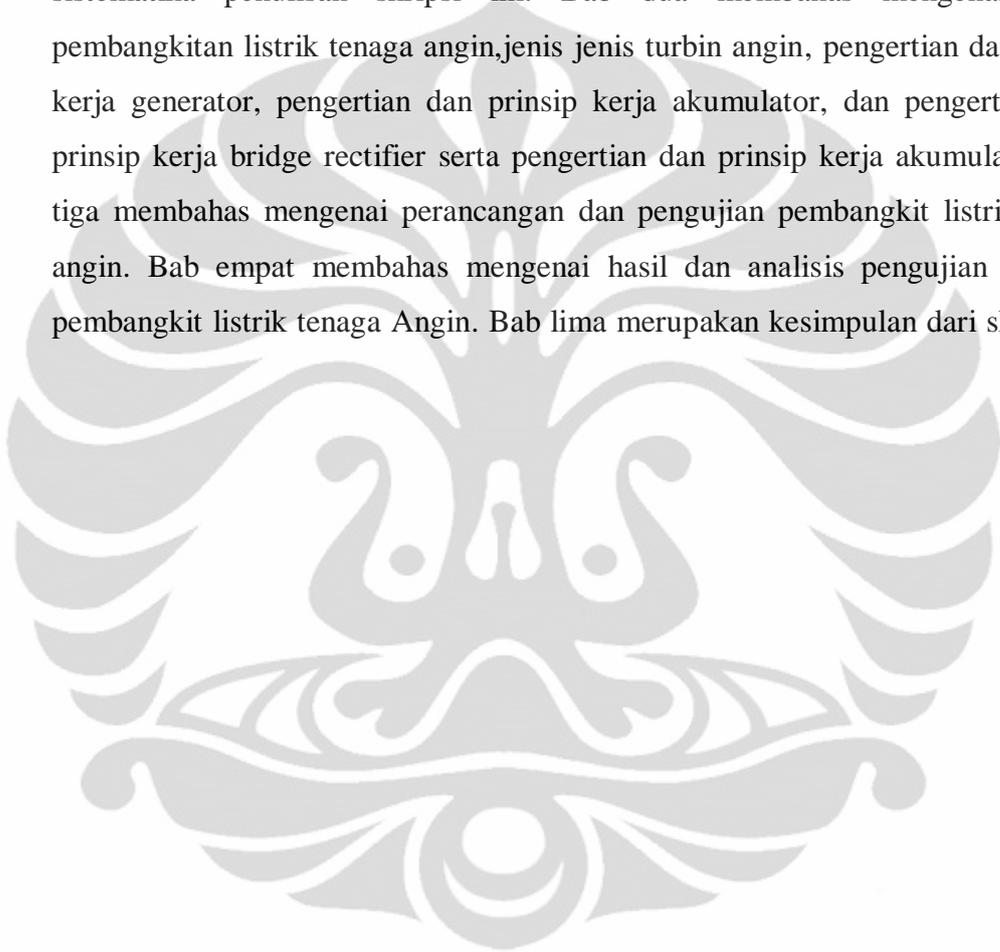
Masalah yang akan dibahas pada skripsi ini adalah perancangan serta pembuatan pembangkit listrik tenaga angin untuk menghasilkan tegangan keluaran generator yang cukup untuk mengisi ulang baterai (akumulator). Kemudian energi listrik yang disimpan dalam baterai. Pada skripsi ini akan dibahas lamanya waktu yang dibutuhkan untuk mengisi akumulator sampai penuh. Selain itu, skripsi ini juga membahas pencatuan beban listrik pada sistem dan sebagai akhir dilakukan perbandingan perhitungan biaya listrik pada beban rumah tangga terhadap kerja dari pembangkit listrik tenaga angin.

### **1.4. Metodologi Penulisan**

Metode penulisan skripsi ini diawali dengan studi literatur mengenai komponen yang dibutuhkan untuk merancang dan membuat pembangkit listrik tenaga angin. Kemudian tahap selanjutnya adalah perancangan dan pembuatan pembangkit listrik tenaga angin. Setelah alat selesai dibuat, dilakukan pengujian terhadap pembangkit listrik tenaga angin. Kemudian penulis menganalisis hasil pengujian yang dilakukan terhadap pembangkit listrik tenaga angin, yang secara khusus menganalisis kondisi pengisian baterai dan pencatuan beban listrik serta diakhir akan dilakukan perbandingan perhitungan pada konsumsi daya rumah tangga dengan penghematan yang dilakukan dengan sistem pembangkit listrik tenaga angin.

### **1.5. Sistematika Penulisan**

Penulisan skripsi ini dibagi dalam lima bab. Bab satu membahas mengenai latar belakang, tujuan penulisan, pembatasan masalah, metodologi penulisan, dan sistematika penulisan skripsi ini. Bab dua membahas mengenai angin, pembangkitan listrik tenaga angin, jenis jenis turbin angin, pengertian dan prinsip kerja generator, pengertian dan prinsip kerja akumulator, dan pengertian serta prinsip kerja bridge rectifier serta pengertian dan prinsip kerja akumulator. Bab tiga membahas mengenai perancangan dan pengujian pembangkit listrik tenaga angin. Bab empat membahas mengenai hasil dan analisis pengujian terhadap pembangkit listrik tenaga Angin. Bab lima merupakan kesimpulan dari skripsi ini



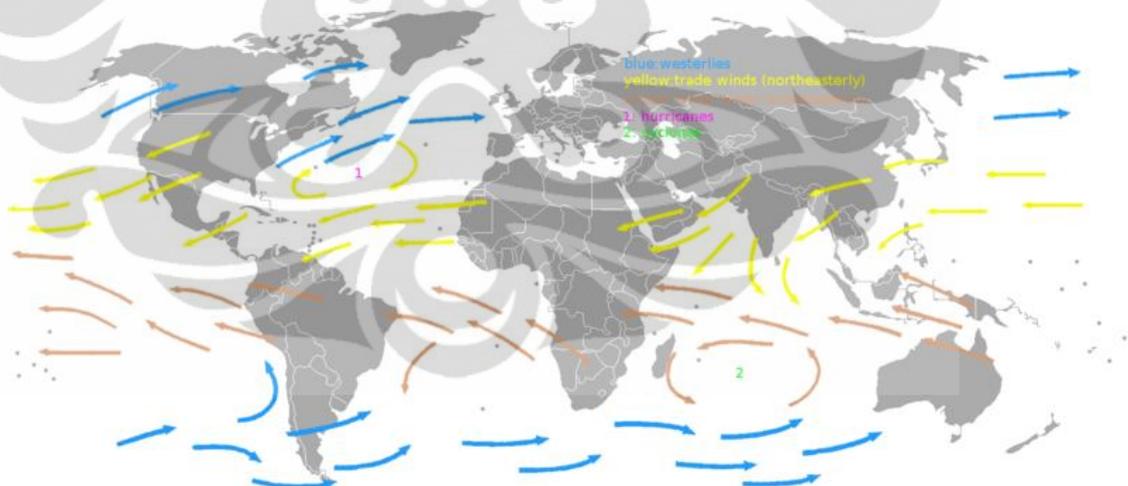
## BAB 2

### DASAR TEORI

#### 2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Angin

##### 2.1.1. Energi Angin

Angin adalah udara yang bergerak yang diakibatkan oleh rotasi bumi dan juga karena adanya perbedaan tekanan udara di sekitarnya. Angin bergerak dari tempat bertekanan udara tinggi ke tempat bertekanan udara rendah. Apabila dipanaskan, udara memuai. Udara yang telah memuai menjadi lebih ringan sehingga naik. Apabila hal ini terjadi, tekanan udara turun karena udaranya berkurang. Udara dingin di sekitarnya mengalir ke tempat yang bertekanan rendah. Udara menyusut menjadi lebih berat dan turun ke tanah. Di atas tanah udara menjadi panas lagi dan naik kembali. Aliran naiknya udara panas dan turunnya udara dingin ini dinamakan konveksi. Sirkulasi ini selain menyebabkan perbedaan iklim pada zona yang berbeda, kecepatan angin yang dihasilkan pun berbeda pula.



Gambar 2.1. Aliran Angin pada Permukaan Bumi  
(sumber : [renewableenergyworld.com](http://renewableenergyworld.com))

##### 2.1.2. Turbin Angin

Alat yang akan mengubah energi angin menjadi energi kinetik yang mana akan digunakan untuk memutar generator dinamakan turbin angin. Tenaga angin mengacu pada seberapa besar energi yang dapat dihasilkan oleh angin, dalam hal

Ini energi listrik. Pada pemanfaatan tenaga angin secara modern untuk menghasilkan listrik laju angin akan di konversi menjadi rotasi pada turbin yang kemudian akan memutar rotor generator yang terpasang sehingga menghasilkan listrik, listrik ini kemudian akan dinaikan tegangannya oleh transformator untuk selanjutnya ditransmisikan kepada konsumen atau bisa juga digunakan untuk memproduksi listrik suatu rumah atau gedung. Turbin angin sendiri dipasang pada sebuah menara, untuk hasil yang baik, menara dengan tinggi 30 meter dibutuhkan agar mendapatkan laju angin yang lebih baik serta mengurangi kemungkinan golkakan angin (*wind turbulence*). Energi  $E$  (Wh) yang terkandung dalam angin ketika kecepatan angin,  $v$  (m/s), dan kerapatan udara,  $\rho$  ( $\text{kg/m}^3$ ),  $r$  (m) rotor tegak lurus melalui wilayah dengan radius lingkaran mengalir dari sebuah turbin angin dengan sumbu horisontal dalam waktu  $t$  (s) diberikan oleh rumus :

$$E = \frac{\pi}{2} r^2 \cdot \rho \cdot v^3 \cdot t$$



Gambar 2. 2 Kerja Turbin Angin

(Sumber : [http://www1.eere.energy.gov/windandhydro/wind\\_animation.html](http://www1.eere.energy.gov/windandhydro/wind_animation.html))

Menurut ilmu fisika klasik energi kinetik dari sebuah benda dengan massa  $m$  dan kecepatan  $v$  adalah  $E = 0,5 m \cdot v^2$ , dengan asumsi bahwa kecepatan  $v$  tidak mendekati kecepatan cahaya. Rumus tersebut juga berlaku untuk menghitung

energi kinetik yang diakibatkan oleh gerakan angin. Sehingga kita bisa tulis sebagai berikut :

$$E = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \quad (2.1)$$

dengan  $E =$  energi (joule)  
 $m =$  massa udara (Kg)  
 $v =$  kecepatan angin (m/s)

Bila suatu blok udara yang mempunyai penampang  $A$  ( $m^2$ ), dan bergerak dengan kecepatan  $v$  (m/s), maka jumlah massa yang melewati suatu tempat adalah:

$$m = A \cdot v \cdot \rho \quad (\text{Kg/s}) \quad (2.2)$$

dengan  $A =$  luas penampang ( $m^2$ )  
 $v =$  kecepatan angin (m/s)  
 $\rho =$  kepadatan udara ( $\text{kg/m}^3$ )

Dengan melihat persamaan sebelumnya kita bisa menghitung daya ( $P$ ) yang dihasilkan oleh energi angin sebagai berikut :

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

Daya angin maksimum yang dapat diekstrak oleh turbin angin dengan luas sapuan rotor  $A$  adalah :

$$P = \frac{16}{27} \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (\text{W}) \quad (2.4)$$

Angka  $\frac{16}{27}$  (=59,3%) ini disebut batas *Betz* (*Betz limit*, diambil dari ilmuwan Jerman Albert Betz). Angka ini secara teori menunjukkan efisiensi maksimum yang dapat dicapai oleh rotor turbin angin tipe sumbu horisontal. Pada kenyataannya karena ada rugi-rugi gesekan dan kerugian di ujung sudu, efisiensi aerodinamik dari rotor, rotor ini akan lebih kecil lagi yaitu berkisar pada harga maksimum 0.45 saja untuk sudu yang dirancang dengan sangat baik. Maka daya yang dapat diserap oleh turbin angin menjadi

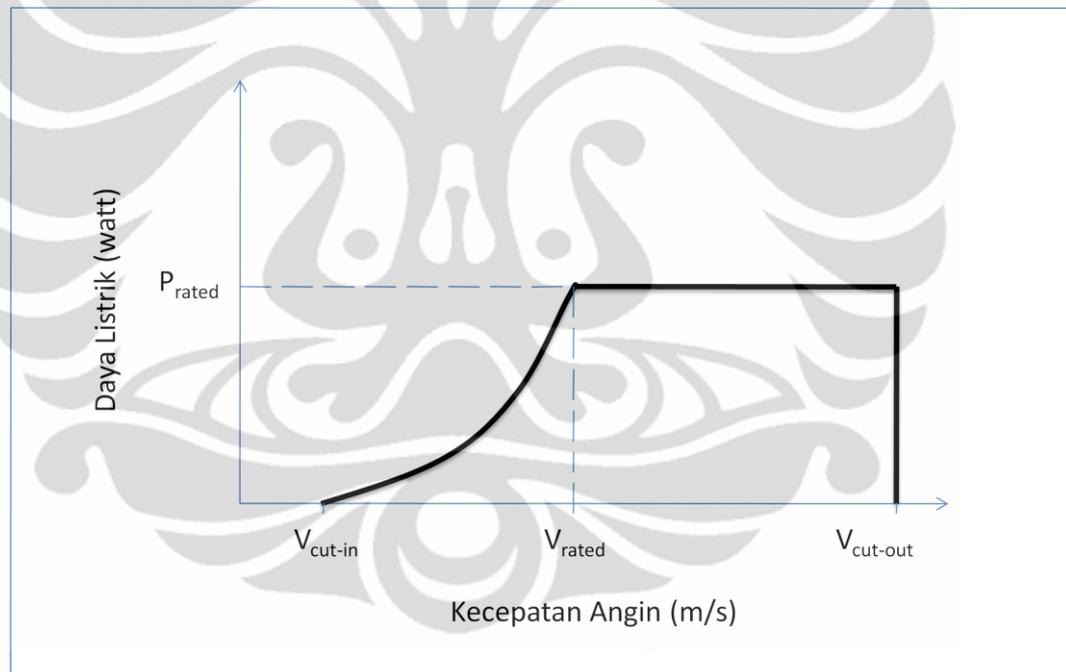
$$P = \eta_{\text{rotor}} \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3 \text{ (W)} \quad (2.5)$$

### 2.1.3. Perkiraan Daya dan Energi Listrik

Untuk memperkirakan besar daya listrik yang dihasilkan oleh PLTB, maka diperlukan keluaran daya generator sebagai fungsi kecepatan angin dan kurva distribusi kecepatan.

Seperti terlihat pada gambar, pada saat kecepatan angin kurang dari  $V_{\text{cut-in}}$ , energi angin hanya mampu memutar turbin tanpa menghasilkan listrik.

$$P(v_i) = 0 \quad v_i < v_{\text{cut-in}} \quad (2.6)$$



Gambar 2.3 Kurva Karakteristik Daya Listrik Terhadap Kecepatan Angin

Untuk menghasilkan listrik maka kecepatan angin harus mencapai atau melebihi  $V_{\text{cut-in}}$  tersebut. Daya listrik yang dihasilkan akan bertambah besar bila kecepatan angin yang menerpa sudu turbin bertambah sampai pada kecepatan  $V_{\text{rated}}$ .

$$P(v_i) = \frac{v_i - v_{\text{cut-in}}}{v_{\text{rated}} - v_{\text{cut-in}}} P_r \quad v_{\text{cut-in}} < v_i < v_{\text{rated}} \quad (2.7)$$

$P(v_i)$  = daya listrik yang dihasilkan generator pada saat kecepatan angin  $v_i$   
(watt)

$v_i$  = kecepatan angin (m/s)

$v_{cut-in}$  = kecepatan *cut in* turbin (m/s)

$v_{rated}$  = kecepatan *rated* turbin (m/s)

$P_r$  = daya *rated* turbin (watt)

Pada saat kecepatan angin mencapai  $v_{rated}$ , daya listrik yang dihasilkan tidak lagi bertambah besarnya melainkan konstan.

$$P(v_i) = P_r \quad v_{rated} < v_i < v_{cut-out} \quad (2.8)$$

$v_{cut-out}$  = kecepatan *cut out* turbin (m/s)

Namun pada suatu batas kecepatan  $v_{cut-out}$ , energi angin tersebut tidak lagi dapat dimanfaatkan karena akan mengakibatkan kerusakan pada sistem pembangkit listrik.

$$P(v_i) = 0 \quad v_i > v_{cut-out} \quad (2.9)$$

Energi listrik yang dihasilkan generator adalah daya listrik yang dihasilkan dikalikan dengan durasi waktu daya tersebut dan dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

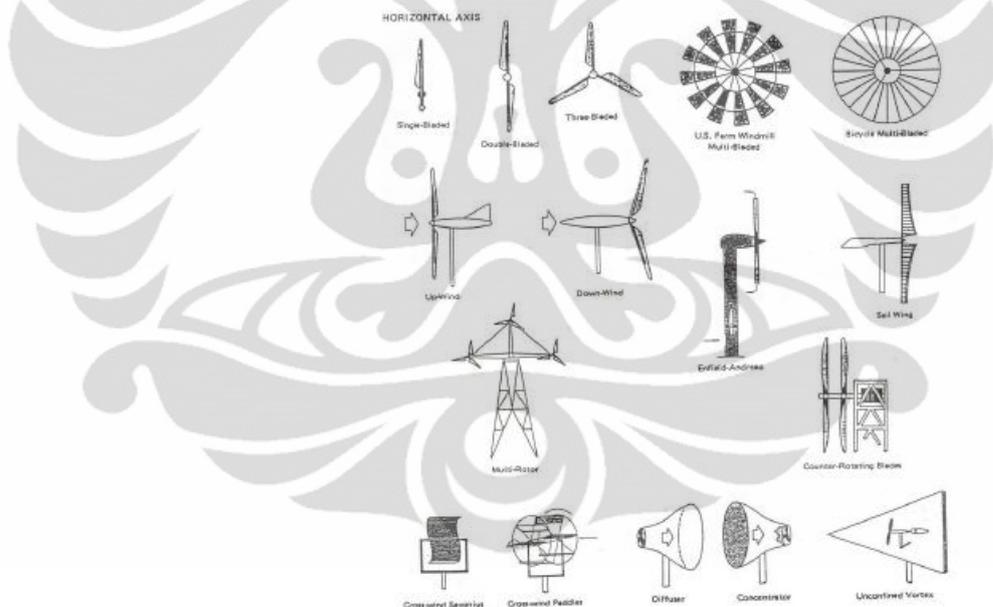
$$E(v_i) = P(v_i) \cdot t_d(v_i) \quad (2.10)$$

$E(v_i)$  = energi listrik yang dihasilkan turbin pada saat kecepatan angin  $v_i$   
(watt hour)

### 2.1.4. Jenis Turbin Angin

Untuk Menghasilkan Listrik, energi angin membutuhkan turbin sebagai penggerak mula (*Prime Mover*). Dalam perkembangannya turbin angin sendiri dibagi menjadi dua kelompok besar berdasarkan arah sumbunya, yaitu :

1. Tipe Horizontal. Turbin angin ini bergerak dengan arah sumbu horizontal, yang mana memiliki sudu yang berputar dalam bidang vertikal layaknya propeler pesawat terbang. Turbin angin biasanya memiliki sudu dengan bentuk irisan melintang khusus dimana aliran udara pada salah satu sisinya dapat bergerak lebih cepat dari aliran udara disisi lain ketika angin melewatinya. Hal ini akan menimbulkan daerah tekanan rendah pada belakang sudu dan daerah tekanan tinggi di depan sudu. Perbedaan tekanan ini membentuk gaya yang menyebabkan sudu berputar

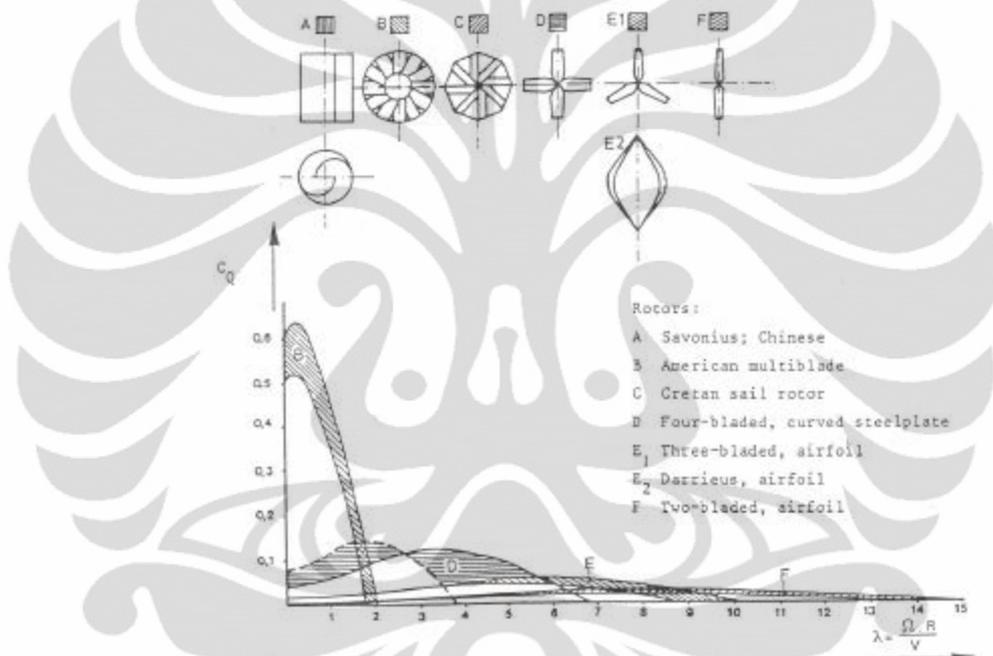


Gambar 2.4 Berbagai Jenis dari Turbin angin tipe Horizontal

2. Tipe Vertikal. Turbin angin dengan sumbu vertikal bekerja dengan prinsip yang sama halnya kelompok horizontal, namun yang membedakannya ialah sudunya berputar dalam bidang paralel dengan tanah.

Setiap jenis turbin angin memiliki ukuran dan efisiensi yang berbeda. Untuk memilih jenis turbin angin yang tepat untuk suatu kegunaan diperlukan tidak hanya sekedar pengetahuan tetapi juga analisis yang tepat.

Pada umumnya turbin angin memiliki jumlah sudu dengan soliditas yang tinggi yang mengakibatkan memiliki torsi yang besar. Sedangkan turbin angin dengan jumlah sudu sedikit digunakan dengan torsi yang rendah tetapi memiliki putaran rotor yang tinggi, berikut diperlihatkan hubungan antara efisiensi, *Tip Speed ratio* dengan torsi, yang menjelaskan bahwa rotor dengan jumlah sudu terbanyak memiliki torsi yang besar namun efisiensi rendah begitu sebaliknya.



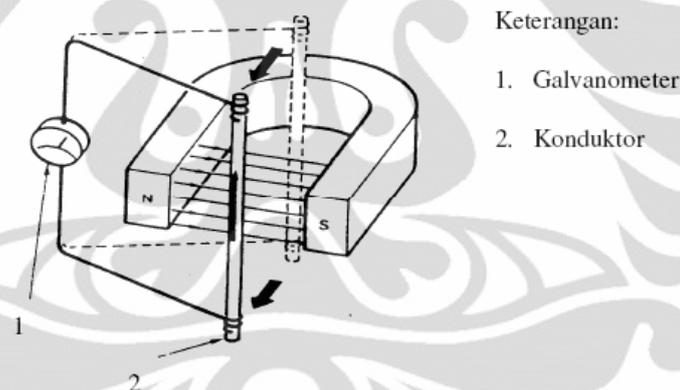
Gambar 2.5 Hubungan Torsi dan Efisiensi

Bila dilihat dengan keadaan lingkungan Indonesia, maka yang lebih cocok digunakan pada daerah dengan energi angin rendah ialah turbin angin dengan jumlah sudu terbanyak. Sedangkan turbin angin dengan sudu sedikit tidak akan beroperasi secara efisien pada daerah dengan kecepatan angin yang kurang. Dengan melihat keadaan Indonesia dengan potensi energi angin yang rendah, yaitu kecepatan angin rata-rata kurang dari 4 m/s, maka akan lebih cocok untuk dikembangkan turbin angin seperti Savonius.

## 2.2 Prinsip Pembangkitan Energi Listrik

### 2.2.1. Induksi Elektromagnet

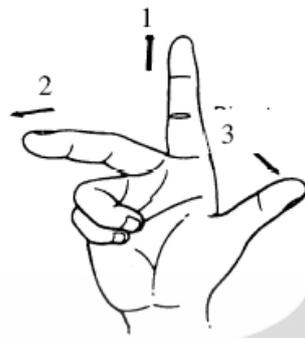
Induksi elektromagnet terjadi apabila sebuah penghantar (2) bergerak melintas garis-garis gaya magnet, maka pada penghantar tersebut akan mengalir arus listrik, apabila dipasang sebuah galvanometer (1) dan penghantar digerakan maju-mundur diantara kutub utara dan kutub selatan magnet, maka jarum galvanometer akan bergerak. Fenomena ini menyimpulkan bahwa, arah gerakan jarum galvanometer akan bervariasi mengikuti arah gerakan penghantar atau magnet dan besarnya gerakan jarum galvanometer akan semakin besar sebanding dengan kecepatan gerakan. Penghantar dilewatkan melalui garis gaya magnet, maka dalam penghantar akan terbangkit gaya gerak listrik. Peristiwa ini disebut dengan induksi elektromagnet dan mengubahnya menjadi tenaga listrik.



Gambar 2.6. Induksi Elektromagnet

### 2.2.2. Gaya Gerak Listrik

Arah gaya gerak listrik yang terbangkit di dalam penghantar diantara medan magnet bervariasi mengikuti perubahan arah garis gaya magnet dan gerakan penghantar. Arah garis gaya magnet dapat dipahami dengan menggunakan hukum tangan kanan *Fleming (Fleming's Right-Hand Rule)*, dalam kaidah ini digunakan ibu jari, jari telunjuk dan jari tengah tangan kanan dibuka dengan sudut yang tepat satu sama lain. Jari telunjuk (1) akan menunjukkan arah gerakan penghantar dan jari tengah (2) menunjukkan arah gaya gerak listrik.



Keterangan:

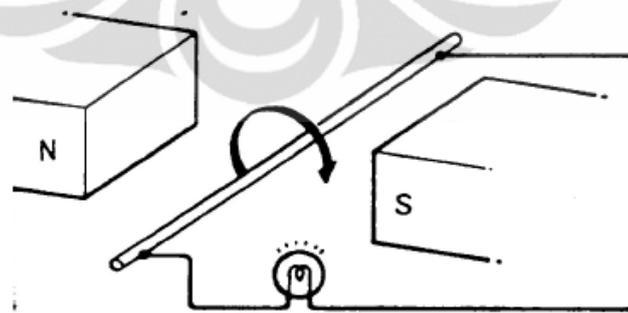
1. *Direction of flux*
2. *Direction of curren*
3. *Direction of motion*

Gambar 2.7. Hukum Tangan Kanan Fleming

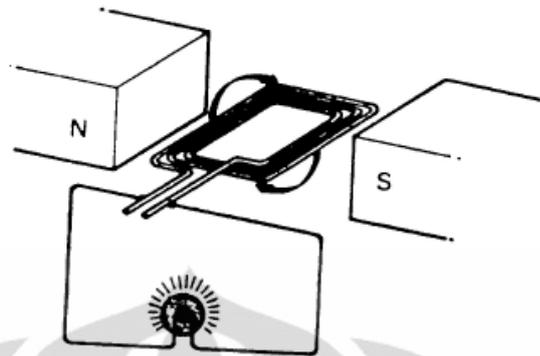
Besarnya gaya gerak listrik yang dibangkitkan pada saat penghantar memotong garis gaya magnet diantara medan magnet sebanding dengan banyaknya garis gaya magnet yang dipotong pada suatu satuan waktu dan gaya gerak listrik dalam satuan volt.

### 2.2.3. Prinsip Generator

Sebuah penghantar yang diputar dalam medan magnet akan menghasilkan gaya gerak listrik yang sangat kecil, sedangkan dua buah penghantar disambung ujung ke ujung, maka akan timbul gaya gerak listrik pada keduanya akan berlipat ganda, jadi semakin banyak penghantar yang berputar dalam medan magnet semakin besar pada gaya gerak listrik yang dihasilkan penghantar tersebut.



Gambar 2.8. Prinsip Generator 1



Gambar 2.9. Prinsip Generator 2

Jumlah total gaya gerak listrik yang dibangkitkan penghantar yang berbentuk kumparan akan menjadi lebih besar, demikian juga besarnya tenaga listrik (arus dan tegangan) yang dihasilkan. Generator membangkitkan tenaga listrik dengan cara memutar sebuah kumparan didalam medan magnet, ada dua macam listrik yaitu arus searah dan arus bolak balik, maka generator juga dibedakan dalam generator jenis arus searah dan arus bolak balik, perbedaan kedua jenis generator tersebut terletak pada cara menghasilkan listrik.

### 2.3. Generator Aksial

Generator fluks aksial adalah suatu mesin yang dapat mengkonversikan energi mekanik menjadi energi listrik yang menghasilkan arus bolak – balik yang terdiri dari stator dan rotor dengan memiliki arah aliran fluks yang memotong stator secara aksial. Tentunya berbeda dengan generator generator konvensional lainnya yang aliran fluksnya secara radial. Generator fluks aksial ini tentunya memiliki ukuran yang jauh lebih kecil yang biasanya dimanfaatkan untuk pembangkit listrik tenaga angin.



Gambar 2.10. Generator Axial

### 2.3.1 Prinsip Kerja Generator Fluks Aksial

Prinsip kerja dari generator fluks aksial sebenarnya tidak jauh berbeda dengan prinsip kerja pada generator konvensional yang memiliki fluks radial. Hanya saja pada generator fluks aksial memiliki medan magnet tetap yang berasal dari magnet permanen di rotornya sehingga tidak memerlukan pencatutan arus searah pada rotornya. Medan magnet ( $B_f$ ) dari rotor tersebutlah yang akan menembus bidang kumparan stator sehingga menghasilkan fluks pada stator, dengan persamaan sebagai berikut:

$$\Phi_a = B_f \cdot A \cos \Theta \quad (2.11)$$

Keterangan:

A=Luas bidang yang ditembus oleh medan magnet

$\cos \Theta$  = sudut antara  $B_f$  dengan bidang normal (neutral plane)

Besar nilai fluks ( $\Phi_a$ ) akan berubah-ubah karena adanya perubahan  $\Theta$ . Sudut  $\Theta$  berubah karena medan  $B_f$  yang bergerak menembus stator dan menghasilkan sudut tembus terhadap bidang normal stator yang berbeda-beda. Perubahan fluks terhadap waktu akan menghasilkan ggl induksi dengan persamaan.

$$E_a = - \frac{d\Phi_a}{dt} \quad (2.12)$$

Tanda negatif pada persamaan 2.3 menunjukkan bahwa arah gaya gerak listrik berlawanan dengan tegangan sumber. Dari persamaan 2.3 terlihat bahwa nilai GGL yang dihasilkan tergantung dari nilai perubahan fluks terhadap waktu.

Penempatan kumparan pada stator menentukan tegangan output dari generator. Tiap pasang kumparan pada stator akan memiliki sudut fasa tertentu sehingga jika kita menempatkan 1 pasang kumparan saja, kita akan mendapatkan tegangan output dengan 1 fasa saja. Namun jika menempatkan 3 pasang

kumparan pada stator dengan beda sudut 120 derajat, maka akan diperoleh tegangan keluaran dengan fasa yang berbeda 120 derajat juga.

Persamaan frekuensi yang dihasilkan oleh generator aksial adalah sama dengan frekuensi yang dibangkitkan oleh generator konvensional. Yaitu:

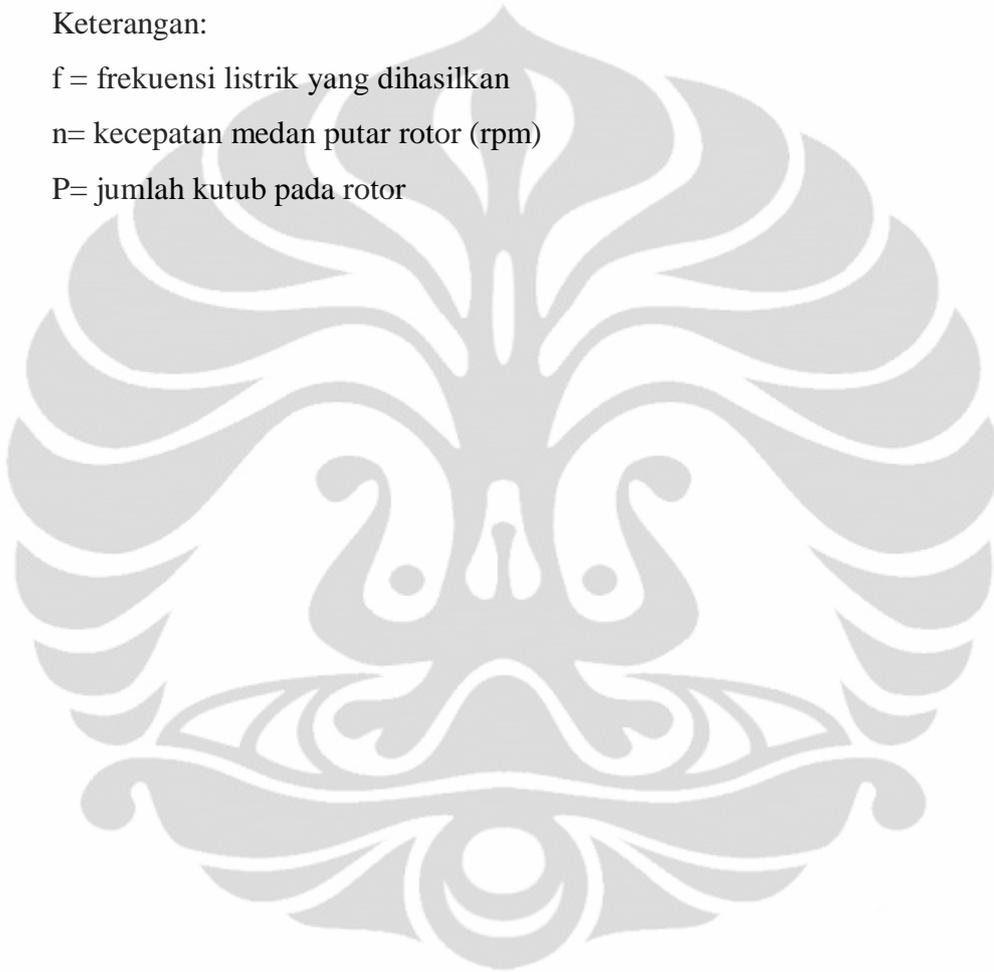
$$f = \frac{nP}{120} \quad (2.13)$$

Keterangan:

f = frekuensi listrik yang dihasilkan

n= kecepatan medan putar rotor (rpm)

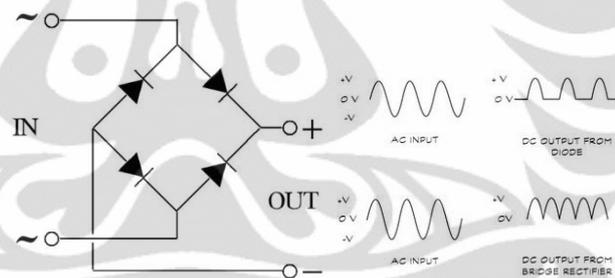
P= jumlah kutub pada rotor



## 2.4. Rectifier

Terdiri dari empat buah rectifier yang berhubungan satu sama lain ( membentuk formasi kotak ). Bridge rectifier menyearahkan arus ( AC ke DC ) dengan lebih efisien. Prinsip penyearah (rectifier) yang paling sederhana adalah dengan Transformator (T1) diperlukan untuk menurunkan tegangan AC dari jala-jala listrik pada kumparan primernya menjadi tegangan AC yang lebih kecil pada kumparan sekundernya.

Pada rangkaian Power Supply sederhana ini yang berperan menjadi jantung dalam penyearahan arus AC menjadi Arus DC adalah Rangkaian Bridge Rectifier. Rangkaian Bridge Rectifier adalah Rangkaian dasar penyearah type jembatan yang terdiri atas satu transformer dan 4(empat) dioda yang disusun sedemikian rupa sehingga arus listrik hanya mengalir kesatu arah saja melalui beban. Sirkuit ini tidak memerlukan sekunder bersenter tapi sebagaimana pada rangkaian penyearah gelombang penuh.



Gambar 2.11. Gambar Rangkaian dan output bridge rectifier

## 2.5. Akumulator

### 2.5.1. Pengertian Akumulator

Akumulator merupakan salah satu contoh dari sumber tenaga listrik arus searah yang saat ini banyak digunakan oleh masyarakat sebagai pemberi energi listrik untuk berbagai macam kebutuhan seperti motor stater, pengapian busi dan penerangan pada kendaraan bermotor. Demikian pula untuk bidang rumah tangga seperti penerangan rumah dan alat-alat elektronik seperti radio, televisi dan sebagainya. Pada daerah-daerah di Indonesia yang khususnya belum dijangkau jaringan listrik dari PLN, akumulator mempunyai peranan yang sangat penting dalam penggunaannya sebagai sumber listrik arus searah bagi masyarakat.

Akumulator dapat diartikan sebagai sel listrik yang berlangsung proses elektrokimia secara bolak-balik (*reversible*) dengan nilai efisiensi yang tinggi. Disini terjadi proses perubahan tenaga kimia menjadi tenaga listrik, dan sebaliknya tenaga listrik menjadi tenaga kimia dengan cara regenerasi dari elektroda yang dipakai, yaitu dengan melewati arus listrik dengan arah yang berlawanan di dalam sel-sel yang ada dalam akumulator. Saat pengisian tenaga listrik dari luar diubah menjadi tenaga listrik didalam akumulator dan disimpan didalamnya. Sedangkan saat pengosongan, tenaga di dalam akumulator diubah lagi menjadi tenaga listrik yang digunakan untuk mencatu energi dari suatu peralatan listrik.

### 2.5.2. Tipe Akumulator

Akumulator dibedakan menjadi dua jenis, yaitu akumulator basah dan akumulator kering.

#### 1. Akumulator Basah

Rakitan dasar dari konstruksi setiap sel akumulator adalah sel yang terdiri dari elektrode positif (*elektrode plus*) dan elektrode negatif (*elektrode minus*). Susunan akumulator ini terdiri dari :

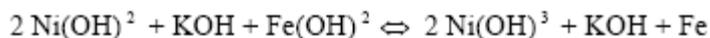
##### a. Elektroda

Dalam penyimpanan muatan bahan aktif elektrode positif terdiri dari *timah peroxida* ( $PbO_2$ ) berwarna coklat gelap, ketika bahan aktif dalam elektrode negatif adalah timah murni ( $Pb$ ) berwarna abu-abu metalik. Timah pada bahan elektrode aktif merupakan timah murni ( $Pb$ ) dan yang lainnya sebagai timah gabungan. *Timah peroxida* dapat juga sebagai *timah sulfat* ( $PbSO_4$ ), ini mungkin karena timah hitam memiliki elektron valensi berbeda. Valensi adalah muatan listrik dalam sebuah atom, sebagai contoh atom timah dalam keadaan *timah peroxida* mempunyai elektron valensi +4 (empat muatan positif) dan dalam timah metalik mempunyai valensi kosong.

### b. Larutan Elektrolit

Asam sulfur lemah ( $H_2SO_4$ ), berat jenis 1,28 kg per liter digunakan sebagai larutan elektrolit. Elektrolit adalah penghantar listrik yang karakteristiknya memainkan peranan penting dalam proses pengisian dan pengaliran arus muatan. Elektrolit terdapat dua penggolongan tingkatan penghantar yang disebut konduktor kelas pertama, contohnya logam dimana arus mengalir membawa konduksi elektron. Dan disebut dengan konduktor kelas kedua, dimana arus mengalir membawa partikel muatan (*ion*). Kelas kedua ini adalah gabungan bahan kimia yang tidak larut dalam air ketika diuraikan kedalam komponen positif dan negatif. Dalam hal ini ( $H_2SO_4$ ) merupakan jenis penghantar kedua. Larutan elektrolit sendiri juga menunjukkan muatan listrik netral secara seimbang satu sama lain. Biasanya konsentrasi elektrolit (berat jenis 1,28 Kg per liter) hampir semua molekul asam sulfat terurai. Penguraian molekul asam sulfat ini sangat mutlak untuk perkembangan elektrolit juga untuk mengalirkan pengisian ataupun pengosongan arus. Sel ini mempunyai rating arus tinggi dan banyak digunakan di kalangan masyarakat. Misalnya pemberi daya pada lampu kendaraan, alat-alat elektronika dan sebagainya. Sel ini sering disebut dengan accu basah. Tiap sel akumulator memiliki ggl 2 volt. Berikut merupakan proses pembelahan molekul asam sulfat, tanda plus (+) dan minus (-) menunjukkan adanya muatan listrik.





Jika dilihat dari kedua arah panah ini menunjukkan bahwa rumus kimia diatas dapat bekerja ke arah kanan dan ke kiri. Ke kanan diwaktu sedang mengisi dan yang ke kiri diwaktu akumulator sedang diberi muatan atau dengan kata lain dalam keadaan dipakai. Pada pengosongan (dimuati) terjadi kebalikannya *hydroxid nikel* karena kekurangan zat asam direduksi menjadi bentuk yang lebih rendah, sedangkan besi di oksidir lagi. *Hydroxid kalium* (KOH) yang dipakai untuk campuran akan mencapai temperatur kira-kira  $1,16^\circ \text{ Baume (Be)}$ . Selama pengisian dan pengosongan proses yang terjadi hanya karena zat asam berpindah-pindah tempat dan KOH-nya sama sekali tidak ikut dalam reaksi kimia, dalam hal ini KOH hanya bekerja sebagai katalisator atau pengantar.

Jelaslah hal-hal diatas salah satu perbedaan antara akumulator basah dan kering. Pada akumulator basah bahwa cairan asam belerang ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) memang ikut bekerja pada persenyawaan-persenyawaan kimia dengan timah hitam atau *oxid* timah hitam. Pada akumulator kering KOH-nya tidak mengambil bagian dalam reaksi, hanya airnya dimana KOH dilarutkan berubah menjadi zat asam ( $\text{O}_2$ ) dan zat air ( $\text{H}_2$ ) selama pengisian berlangsung. Sebetulnya KOH itu sesuatu zat yang sangat merugikan, karena semua zat dapat dilarutkan kecuali besi ini sebabnya, maka bak akumulator kering terbuat dari besi. Pada akumulator kering berat kadarnya tetap besar meskipun akumulator itu dalam keadaan kosong ataupun penuh. Tetapi hanya sewaktu-waktu perlu ditambah dengan air distilasi dan tiap dua tahun sekali elektrolitnya sama sekali harus diganti karena KOH ini mengambil gas asam arang dari udara dan membentuk karbonat kalium ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) yang dapat merusak pelat.

## 2.5.4. Proses Elektrokimia Akumulator

### 2.5.4.1. Pembangkitan Arus

Apabila sebuah elektrode dicelupkan ke dalam larutan elektrolit maka ion-ion partikel listrik didorong dari elektrode ke dalam elektrolit yang hasilnya dinamakan “tekanan larutan” Dalam hal ini elektrode-elektrode timah melepaskan 2 elektron ke dalam elektrolit, sebagai akibat pelepasan ion positif timah, muatan

negatif berada/tinggal di elektrode timah. Dalam sebuah sel penyimpanan, perbedaan potensial atau voltase ini adalah 2 volt, gambaran tersebut dimana oleh partikel muatan (ion timah) dilepas kedalam elektrolit sangat cepat sehingga mengakibatkan kondisi baru pada keseimbangan dengan elektrolit karena muatan negatif tinggal pada elektrode timah dan berusaha mendorong kembali ion positif tempat dimasuki elektrolit. Tenaga pengembalian ini secara tepat untuk tekanan larutan membuat kondisi keseimbangan baru. Hanya ketika sel diperlukan untuk mengemudikan arus listrik, keseimbangan antara tekanan larutan dan atraksi pengembalian berjalan, serta penambahan partikel muatan ke dalam dan keluar elektrolit pada elektrode.

#### **2.5.4.2. Proses Pengisian Elektrokimia**

Pada akumulator diisi pada kedua elektrode positif dan negatif yang terdiri dari timah sulfat ( $PbSO_4$  warna putih). Elektrolit adalah asam sulfat lemah dengan berat jenis 1,12 kg per liter. Disusun sekitar 17 % asam sulfat murni dan sekitar 83 % air. Sebagai akibat hasil komponen asam sulfat, penghantaran listrik yang cukup ke dalam elektrolit dapat ditentukan, air murni tidak dapat menghantarkan arus listrik. Jika sel timah bermuatan maka kedua elektrodanya dihubungkan ke sumber yang sesuai pada arus langsung. Sumber arus pengisian membawa elektron-elektron dari elektroda positif dan mendorongnya ke elektroda negatif. Oleh karena elektron-elektron di dorong ke dalam elektroda negatif oleh sumber pengisian arus timah bervalensi nol yang dibentuk pada elektrode negatif dari dua valensi positif atom timah, memecah molekul timah sulfat ( $PbSO_4$ ). Pada waktu bersamaan muatan negatif ion sulfat ( $SO_4$ ) dilepas dari elektrode negatif ke dalam elektrolit. Pada elektrode positif timah bivalensi diubah ke dalam bentuk tetravalensi timah positif melalui pemindahan elektron. Tetravalensi positif dikombinasikan dengan oksigen yang dilepas dari air ( $H_2O$ ) ke bentuk *timah peroxida* ( $PbSO_2$ ). Pada waktu yang sama ion-ion dilepas selama proses oksidasi,  $SO_4$  memasuki elektrolit dan elektrode negatif, sebagai hasil proses pengisian. Untuk itu ion  $H^+$  dan  $SO_4$  dalam elektrolit ditambah, asam sulfat baru terbentuk dan berat jenis elektrolit meningkat. Sesudah timah sulfat pada elektrode positif

diubah ke timah *peroxida* dan timah sulfat pada elektrode negatif diubah ke logam timah maka proses pengisian telah lengkap. Sel timah penyimpan arus dapat diputuskan sekarang dari sumber. Sebagai hasil proses pengisian arus, energi listrik terbentuk ke dalam sel telah diubah menjadi energi kimia dan disimpan.

Ada tiga metode pengisian baterai :

- a. Pengisian perawatan (*maintenance charging*) digunakan untuk mengimbangi kehilangan isi (*self discharge*), dilakukan dengan arus rendah sebesar  $\frac{1}{1000}$  dari kapasitas baterai. Ini biasa dilakukan pada baterai tak terpakai untuk melawan proses penyulfatan. Bila baterai memiliki kapasitas 45 Ah maka besarnya arus pengisian perawatan adalah 45 mA (miliAmpere).
- b. Pengisian lambat (*slow charging*) adalah suatu pengisian yang lebih normal. Arus pengisian harus sebesar  $\frac{1}{10}$  dari kapasitas baterai. Bila baterai memiliki kapasitas 45 Ah maka besarnya arus pengisian lambat adalah 4,5 A. Waktu pengisian ini bergantung pada kapasitas baterai, keadaan baterai pada permulaan pengisian, dan besarnya arus pengisian. Pengisian harus sampai gasnya mulai menguap dan berat jenis elektrolit tidak bertambah walaupun pengisian terus dilakukan sampai 2 - 3 jam kemudian.
- c. Pengisian cepat (*fast charging*) dilakukan pada arus yang besar yaitu mencapai 60 - 100 A pada waktu yang singkat kira-kira 1 jam dimana baterai akan terisi sebesar tiga per empatnya. Fungsi pengisian cepat adalah memberikan baterai suatu pengisian yang memungkinkannya dapat menstarter motor yang selanjutnya generator memberikan pengisian ke baterai.

Secara umum, lamanya pengisian akumulator dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$Ta = \frac{C}{I} \quad (2.14)$$

Keterangan :

Ta = Lamanya pengisian arus (hour)

C = Besarnya kapasitas akumulator (Ah / Ampere hour)

I = Besarnya arus pengisian ke akumulator (Ampere)

**Tabel 2.2.** Kondisi tingkat pengisian akumulator 12 volt

State of Charge	12 Volt battery	Volts per Cell
100%	12.7	2.12
90%	12.5	2.08
80%	12.42	2.07
70%	12.32	2.05
60%	12.20	2.03
50%	12.06	2.01
40%	11.9	1.98
30%	11.75	1.96
20%	11.58	1.93
<b>10%</b>	<b>11.31</b>	<b>1.89</b>
<b>0</b>	<b>10.5</b>	<b>1.75</b>

Kondisi tingkat pengisian akumulator 12 volt ditunjukkan oleh tabel 2.1. Baterai timbal-asam 12 V yang disekat menyediakan tegangan yang berbeda tergantung pada kondisi penyimpanan dayanya. Ketika baterai penuh dengan daya dalam sebuah sirkuit terbuka, tegangan output adalah sekitar 12,8 V. Tegangan output turun dengan cepat sampai 12,6 V ketika terdapat beban. Pada saat baterai menyediakan arus yang konstan selama operasi, tegangan baterai berkurang secara linear dari 12,6 ke 11,6 V tergantung pada kondisi penyimpanan daya. Baterai timbal-asam yang disekat memberikan 95% dari dayanya dalam tegangan ini. Jika kita membuat asumsi yang lebih luas bahwa baterai yang sepenuhnya terisi mempunyai tegangan 12,6 V pada saat "penuh" dan 11,6 V pada saat "kosong", kita dapat memperkirakan bahwa baterai sudah mengeluarkan 70% ketika baterai mencapai tegangan 11,9 V. Nilai ini hanyalah perkiraan kasar karena mereka bergantung pada umur dan kualitas baterai, suhu, dan lain-lain.

#### **2.5.4.3. Proses Pengaliran Arus pada Beban**

Apabila dua terminal sel timah penyimpan dihubungkan satu sama lain melalui sebuah beban listrik (misalkan lampu), elektron mengalir dari elektrode negatif melalui beban kemudian ke elektrode positif karena perbedaan potensial

antar terminal. Sebagai akibat *influk* elektron-elektron, tetravalensi timah positif dalam elektrode positif diubah ke bivalen timah positif dan ikatan yang menghubungkan tetravalen timah positif ke atom oksigen pecah. Atom oksigen dilepas dan bergabung dengan ion hidrogen  $H^+$  dibawa dari asam sulfur ke bentuk air. Pada elektrode negatif bivalen timah positif juga telah dibentuk sebagai akibat pergerakan elektron dari logam timah ke elektrode positif. Bivalen ion sulfat negatif dari asam, sulfat merupakan kombinasi dengan bivalen timah positif pada kedua elektrode, lalu timah sulfat ( $PbSO_4$ ) dibentuk sebagai produk pengaliran pada kedua elektrode. Kedua elektrode kembali ke kondisi semula, energi kimia disimpan dalam sel yang telah diubah kembali ke dalam energi dan telah dibalik dalam bentuk ini oleh muatan listrik, sehingga sel timah penyimpan juga telah mencapai tingkat energi sempurna.

#### 2.5.5. Kapasitas Akumulator

Kapasitas baterai atau akumulator adalah jumlah ampere jam ( $Ah = \text{kuat arus/Ampere} \times \text{waktu/hour}$ ), artinya baterai dapat memberikan/menyuplai sejumlah isinya secara rata-rata sebelum tiap selnya menyentuh tegangan/voltase turun (*drop voltage*) yaitu sebesar 1,75 V (tiap sel memiliki tegangan sebesar 2 V; jika dipakai maka tegangan akan terus turun dan kapasitas efektif dikatakan sudah terpakai semuanya bila tegangan sel telah menyentuh 1,75 V). Misal, baterai 12 V 75 Ah. Baterai ini bisa memberikan kuat arus sebesar 75 Ampere dalam satu jam artinya memberikan daya rata-rata sebesar 900 Watt ( $\text{Watt} = V \times I = \text{Voltase} \times \text{Ampere} = 12 V \times 75 A$ ). Secara hitungan kasar dapat menyuplai alat berdaya 900 Watt selama satu jam atau alat berdaya 90 Watt selama 10 jam, walaupun pada kenyataannya tidak seperti itu. Ada tiga faktor yang menentukan besar kecilnya kapasitas baterai yaitu :

- Jumlah bahan aktif

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

- Temperatur

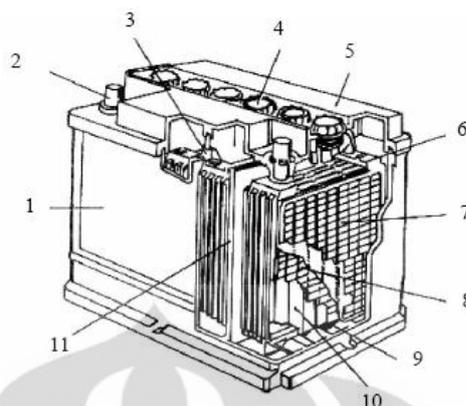
Makin rendah temperatur (makin dingin) maka makin kecil kapasitas baterai saat digunakan karena reaksi kimia pada suhu yang rendah makin lambat tidak peduli apakah arus yang digunakan tinggi ataupun rendah. Kapasitas baterai biasanya diukur pada suhu tertentu, biasanya 25 derajat Celcius.

- Waktu dan arus pengeluaran

Pengeluaran lambat (berupa pengeluaran arus yang rendah) mengakibatkan waktu pengeluaran juga diperpanjang atau kapasitas lebih tinggi. Kapasitas yang dinyatakan untuk baterai yang umum pemakaiannya pada pengeluaran tertentu, biasanya **20 jam**. Contoh, baterai 12 V 75 Ah bisa dipakai selama 20 jam jika kuat arus rata-rata yang digunakan dalam 1 jam adalah 3,75 Ampere ( $75 \text{ Ah}/20 \text{ h}$ ), sedangkan bila digunakan sebesar 5 Ampere maka waktu pemakaian bukannya 15 jam ( $75 \text{ Ah}/5 \text{ A}$ ) tapi lebih kecil yaitu 14 jam, sedangkan pada penggunaan Ampere yang jauh lebih besar, yaitu 7,5 Ampere maka waktu pemakaian bukan 10 jam ( $75 \text{ A}/7,5 \text{ A}$ ) tapi hanya 7 jam.

#### 2.5.6. Konstruksi Akumulator

Akumulator terdiri dari dua kumpulan pelat yang dicelupkan dalam larutan asam-sulfat encer. Kedua kumpulan pelat dibuat dari timbal, sedangkan lapisan timbal dioksida akan dibentuk pada pelat positif ketika elemen pertama kali dimuati. Letak pelat positif dan negatif sangat berdekatan tetapi dicegah tidak langsung menyentuh oleh pemisah yang terbuat dari bahan penyekat (isolator). Adapun konstruksinya ditunjukkan oleh Gambar 2.19.



Gambar 2.13. Konstruksi Akumulator

Bagian-bagian akumulator timah hitam dan fungsinya sebagai berikut :

1. Rangka, berfungsi sebagai rumah akumulator.
2. Kepala kutub positif, berfungsi sebagai terminal kutub positif.
3. Penghubung sel, berfungsi untuk menghubungkan sel-sel.
4. Tutup Ventilasi, berfungsi menutup lubang sel..
5. Penutup, berfungsi untuk menutup bagian atas akumulator.
6. Plat-plat, berfungsi sebagai bidang pereaktor.
7. Plat negatif, terbuat dari Pb, berfungsi sebagai bahan aktif akumulator.
8. Plat positif, terbuat dari PbO<sub>2</sub>, berfungsi sebagai bahan aktif akumulator.
9. Ruang sedimen, berfungsi untuk menampung kotoran.
10. Plastik pemisah, berfungsi untuk memisahkan plat positif dan negatif.
11. Sel-sel.

### 2.5.7. Prinsip Kerja Akumulator

Akumulator bekerja berdasarkan reaksi kimia yaitu reaksi redoks yang terjadi baik selama pengisian maupun selama pengosongan. Reaksi kimia pada akumulator tersebut bersifat *reversible*, artinya reaksi kimia yang terjadi selama pengisian sangat berlawanan dengan reaksi yang terjadi pada saat pengosongan.

Selama pengisian terjadi perubahan energi listrik ke energi kimia, dan sebaliknya pada saat pengosongan terjadi perubahan energi kimia menjadi energi listrik. Ketika akumulator dalam keadaan kosong (tidak ada energi listrik) maka elektroda-elektroda dihubungkan dengan sumber tenaga listrik dari luar.

Kutub positif dari sumber tenaga listrik dari luar sebagai katoda dihubungkan dengan kutub positif akumulator. Dan kutub negatif sumber tenaga listrik dari luar sebagai anoda dihubungkan dengan kutub negatif akumulator. Dengan demikian pada sumber energi listrik terjadi aliran listrik yaitu elektron mengalir dari anoda ke katoda dan arus listrik mengalir dari anoda ke katoda. Sedangkan aliran listrik yang terjadi pada akumulator basah yaitu elektron yang mengalir dari katoda ke anoda, dan arus listrik mengalir dari anoda ke katoda. Dengan adanya aliran listrik tersebut, maka akan menimbulkan reaksi kimia (reaksi redoks) yang mengakibatkan terbebasnya zat-zat dalam akumulator yaitu  $PbSO_4$  menjadi  $Pb$ ,  $O_2$ , ion  $H^+$ , dan ion  $SO_4^{2-}$ , sedangkan pada akumulator kering terjadi reaksi kimia  $Ni(OH)_2$  akan berubah menjadi  $Ni(OH)_3$ , sedangkan  $Fe(OH)_2$  karena dikurangi zat asamnya berubah menjadi Fe.

Selama pengosongan pada akumulator, juga terjadi perubahan energi yaitu dari energi kimia menjadi energi listrik. Pada pengosongan, terjadi pengaliran listrik yaitu elektron mengalir dari  $Pb$  atau kutub negatif (sebagai anoda) ke  $PbO_2$  atau kutub positif (sebagai katoda). Sedangkan arus listrik mengalir dari kutub positif atau  $PbO_2$  (sebagai katoda) ke kutub negatif atau  $Pb$  (sebagai anoda) sehingga adanya aliran tersebut mengakibatkan terjadinya reaksi kimia. Pada akumulator kering elektron mengalir dari kutub negatif  $Fe(OH)_2$ , ke  $Ni(OH)_2$  atau kutub positif. Sedangkan arus listrik mengalir dari kutub positif ke kutub negatif.

## 2.7. Inverter

### 2.7.1. Pengertian inverter

Inverter merupakan suatu rangkaian listrik yang berfungsi untuk mengubah tegangan input DC menjadi tegangan output AC. Sumber tegangan input inverter dapat menggunakan baterai, sel bahan bakar, akumulator, atau sumber tegangan DC yang lain.

### 2.7.2. Jenis Gelombang Inverter

Ada tiga jenis gelombang yang dihasilkan oleh inverter. Pemilihan dari ketiga jenis gelombang ini sangat penting dalam menentukan jenis inverter yang dibutuhkan

### 1. Gelombang Kotak (Square Wave)

Beberapa tahun lalu, hanya inverter ini yang tersedia. Namun saat ini sudah sangat jarang ditemukan. Hal ini disebabkan oleh banyaknya peralatan elektronik yang tidak dapat bekerja jika mendapat tegangan input dari inverter dengan bentuk gelombang kotak ini.

### 2. Gelombang Sinus Termodifikasi

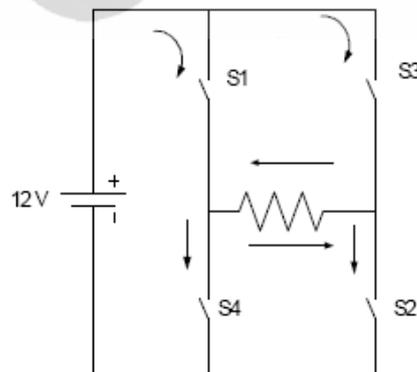
Bentuk gelombang inverter jenis ini merupakan pilihan masyarakat karena inverter dengan gelombang ini lebih ekonomis dan penggunaannya lebih fleksibel, antara lain peralatan listrik rumah tangga, komputer, dan lain-lain. Namun, bentuk gelombang ini tidak cocok bila digunakan pada alat-alat listrik dengan presisi gelombang sangat tinggi, seperti laser jet dan alat-alat kedokteran.

### 3. Gelombang Sinus Murni

Inverter jenis ini memiliki bentuk gelombang keluaran yang paling baik. Bentuk gelombang sinus murni dari inverter ini setara bahkan lebih baik dari kualitas gelombang listrik rumahan yang berasal dari PLN.

#### 2.7.3. Prinsip Kerja Inverter

Prinsip kerja inverter dapat dijelaskan dengan menggunakan rangkaian 4 sakelar seperti ditunjukkan pada Gambar X . Bila saklar S1 dan S2 dalam kondisi on, maka akan mengalir arus DC ke beban R dari arah kiri ke kanan. Jika yang hidup adalah saklar S3 dan S4, maka akan mengalir arus DC ke beban R dari arah kanan ke kiri.



Gambar 2.14. Prinsip Kerja Inverter

## 2.8 Gambaran Umum Listrik Perumahan

Secara umum, Sistem kelistrikan di Indonesia masih mengandalkan pasokan listrik PLN. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor seperti kondisi sosial, ekonomis, teknis, dan geografis. Oleh karena itu, dituntut memiliki sumber listrik alternatif lain yang dapat menunjangnya, meskipun hanya kebutuhan kebutuhan dasar seperti penerangan dan lain sebagainya pemanfaatan energi alternatif seperti angin dirasa cukup membantu..

Pada umumnya, beban listrik yang terdapat di perumahan adalah:

1. Lampu penerangan
2. Televisi dan radio
3. Charge Ponsel
4. Peralatan lain seperti setrika, penanak nasi, dan lain-lain.

Tidak Semua kebutuhan listrik perumahan dapat terpenuhi oleh sebuah pembangkit listrik dengan energi alternative paling tidak sumber energi listrik alternatif yang dapat digunakan sebagai cadangan bila terjadi pemadaman bergilir.

## BAB 3

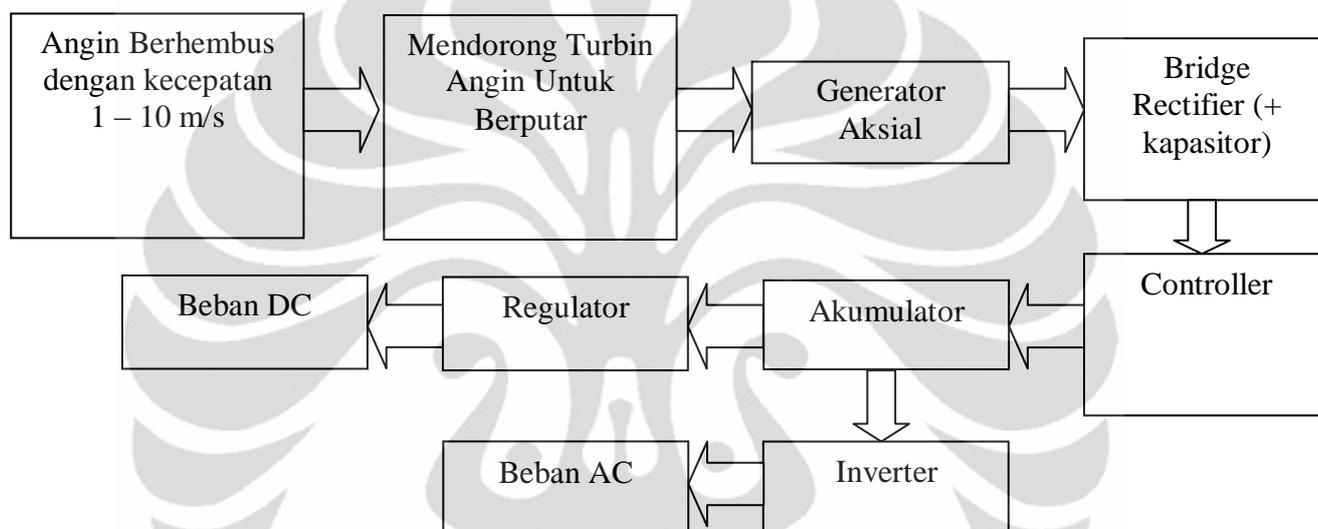
### PERANCANGAN DAN PENGUJUAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN

#### 3.1. Konfigurasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Membangkitkan listrik dengan tenaga angin merupakan suatu cara yang digunakan sebagai salah satu cara menghemat bahan bakar fosil yang digunakan sehari-hari. Pembangkitan listrik dengan tenaga angin terjadi dengan cara membuat kincir angin yang karakteristiknya disesuaikan dengan angin di daerah tropis seperti Indonesia, dalam hal ini turbin angin berporos vertikal (*vertical axis wind turbine*) yang dihubungkan ke generator flux aksial, kemudian tegangan keluaran akan di tingkatkan serta disimpan dalam elemen penyimpanan energi listrik dalam hal ini akumulator yang selanjutnya digunakan pada beban beban perumahan berdaya rendah. Energi listrik yang tersimpan dalam elemen ini nantinya akan digunakan untuk menyalakan peralatan listrik seperti lampu, radio dan untuk pengisian ponsel. Yang mana sebelumnya tegangan dan arus akan diubah dari searah menjadi bolak-balik dengan inverter atau diturunkan tegangannya menggunakan regulator mengikuti spesifikasi beban.

Energi angin diubah menjadi energi listrik dilakukan dengan cara memanfaatkan energi angin untuk memutar turbin angin yang telah dirancang untuk karakteristik angin daerah tropis yang selanjutnya diubah menjadi energi listrik dengan bantuan generator yang dihubungkan langsung ke turbin angin yang berputar. Energi yang dihasilkan oleh generator akan mengalami penyearahan arus dan pengaturan tegangan sebelum disimpan dalam baterai atau akumulator. Energi yang disimpan dalam baterai atau akumulator ini dapat berlaku sebagai sumber energi pelengkap untuk bank baterai yang telah digunakan untuk sistem lain seperti pembangkit listrik tenaga surya. Selain itu, energi yang disimpan dalam akumulator dapat digunakan sebagai sumber listrik DC untuk menjalankan peralatan listrik yang membutuhkan sumber listrik DC, jika terdapat peralatan listrik yang membutuhkan sumber listrik AC seperti lampu, maka inverter harus digunakan untuk mengubah tegangan listrik DC menjadi tegangan listrik AC 220 volt.

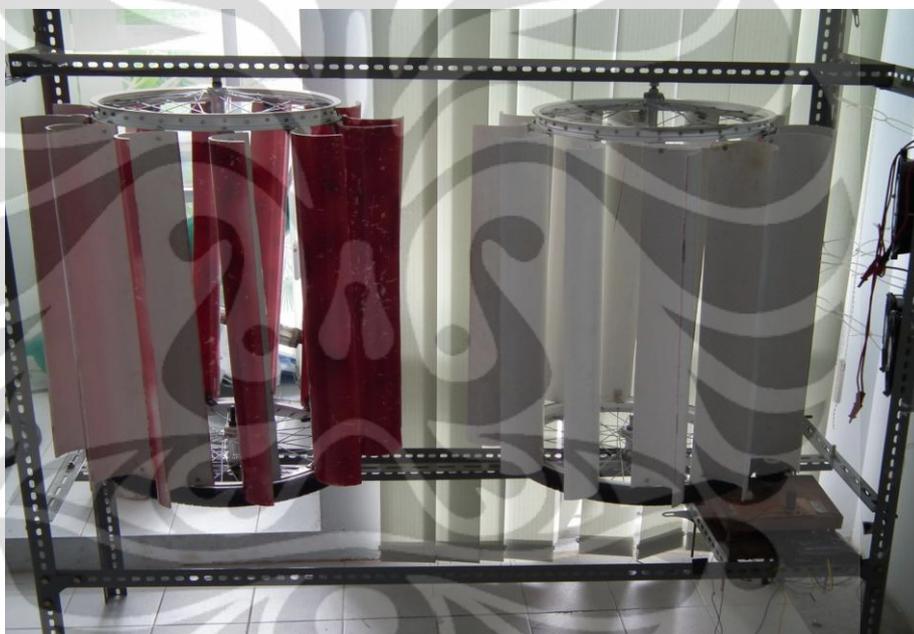
Secara umum, Sistem yang akan dirancang digambarkan pada blok diagram sistem pembangkit listrik tenaga angin ditunjukkan oleh gambar 3.1. Turbin angin yang dihubungkan dengan puli Generator. Jika Angin berhembus dan mengenai *blade* dari turbin angin akan mendorong turbin angin untuk berputar. Sehingga menyebabkan generator berputar dengan kecepatan tertentu. Generator yang berputar akan menghasilkan tegangan dan arus listrik. Tegangan dan arus keluaran generator digunakan untuk mengisi muatan akumulator.



Gambar 3.1. Blok Diagram Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Sebelum masuk kedalam akumulator tegangan dan arus harus memasuki rangkaian *bridge rectifier* karena tegangan yang dihasilkan generator aksial berupa tegangan AC maka dengan *bridge rectifier* disearahkan menjadi tegangan DC, selain itu di tambahkan kapasitor yang berfungsi sebagai penghilang ripple. Tegangan dan arus keluaran dari *bridge rectifier* harus memasuki sebuah *controller* untuk distabilkan tegangannya. Akumulator yang digunakan memiliki tegangan 12 volt DC. Agar akumulator dapat diisi, maka tegangan keluaran generator harus sama dengan atau sedikit melebihi 12 volt DC. Semakin cepat putaran generator, maka tegangan dan arus listrik yang dihasilkan akan semakin besar. Oleh karena itu, besar tegangan keluaran generator harus dijaga agar tetap sama dengan atau sedikit lebih besar dari 12 volt DC dengan menambah rangkaian *Controllerr*. Hal ini dilakukan agar tegangan keluaran generator dapat

mengisi akumulator tanpa merusak akumulator. Lama pengisian akumulator ditentukan oleh besar tegangan dan arus yang keluar dari pengendali. Semakin besar arus yang dihasilkan generator dan keluar dari pengatur tegangan, maka semakin cepat akumulator terisi, dengan catatan besar tegangan keluaran generator yang telah dilewatkan melalui pengatur tegangan sama dengan atau sedikit lebih besar 12 volt DC. Jika akumulator telah terisi penuh, maka dapat langsung digunakan untuk menyuplai peralatan listrik DC (arus searah). Untuk pemakaian beban AC maka listrik dari akumulator harus diubah terlebih dahulu dengan menggunakan Inverter.



Gambar 3.2. Konfigurasi Turbin Angin

## **3.2. Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin**

### **3.2.1. Perencanaan Turbin Angin**

Seperti yang telah diuraikan pada bab sebelumnya bahwa dalam perkembangan turbin angin memiliki beberapa jenis dan karakteristik. Setiap jenis turbin angin memiliki ukuran dan efisiensi yang berbeda. Untuk memilih jenis turbin angin yang tepat untuk suatu kegunaan diperlukan tidak hanya sekedar pengetahuan tetapi juga analisa yang tepat. Bila dilihat dengan keadaan lingkungan indonesia, maka dalam proyek penelitian kali ini lebih cocok

digunakan turbin angin jenis savonius dengan jumlah sudu banyak karena lebih cocok digunakan pada daerah dengan energi angin rendah.

Sedangkan untuk menetapkan besar diameter dari rotor turbin angin ditentukan berdasarkan pemenuhan kebutuhan energi angin yang tersedia. Dengan mempertimbangkan efisiensi, estimasi diameter ini tidak membutuhkan rumus khusus, hal ini dilakukan hanya dalam rangka optimisasi dengan kekuatan struktur blade dan juga biaya pembuatan.

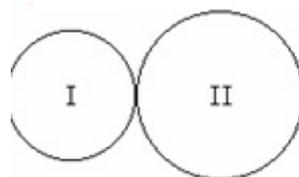
Pada proyek penelitian ini, digunakan *wheelset* dari sepeda yang digunakan sebagai poros dari turbin angin yang penulis buat. Roda dengan jari-jari berukuran 20 cm. Sementara itu Pipa paralon dengan ukuran 4 *inch* digunakan sebagai baling baling yang menangkap angin. Yang mana tinggi dari paralon tersebut ialah 66,67 cm, pipa paralon ini dipotong sedemikian rupa sehingga berbentuk huruf U. Gambar 3.2 menunjukkan turbin angin yang digunakan pada penelitian ini.

### 3.2.2. Perancangan Sistem Hubungan Roda Sepeda dengan Generator

Turbin angin yang di hubungkan ke puli generator secara langsung. Berdasarkan hukum fisika pada gerak melingkar, pada roda-roda yang dihubungkan secara langsung (bersinggungan) berlaku dua hal. Pertama, arah putar kedua roda berlawanan. Kedua, Kelajuan linear kedua roda sama. Persamaan yang berlaku pada hubungan roda-roda yang dihubungkan dengan sebuah sabuk adalah sebagai berikut:

$$v_1 = v_2$$

$$\omega_1 \cdot R_1 = \omega_2 \cdot R_2$$



$$v_1 = v_2, \text{ tetapi } \omega_1 \neq \omega_2$$

Gambar 3.3. Hubungan roda-roda yang dihubungkan bersinggungan

Pada penelitian ini, generator yang digunakan memiliki puli dengan jari-jari berukuran 3 cm. Sedangkan sepeda yang digunakan memiliki roda dengan jari-jari berukuran 20 cm. Dari data tersebut, dapat dihitung perbandingan kecepatan sudut antara roda sepeda dengan generator sebagai berikut :

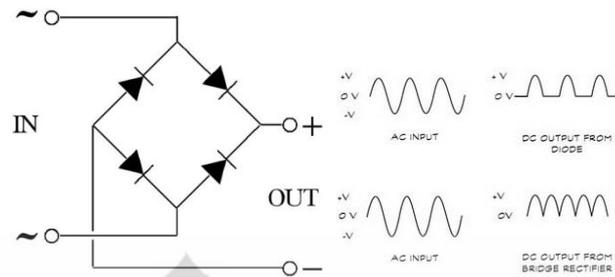
$$\begin{aligned}v_1 &= v_2 \\ \omega_1 g R_1 &= \omega_2 g R_2 \\ \omega_1 R_1 &= \omega_2 R_2 \\ \frac{\omega_1}{\omega_2} &= \frac{3}{20}\end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas, didapatkan hasil bahwa kecepatan sudut generator hampir tujuh kali lebih besar daripada kecepatan sudut roda sepeda.

### 3.2.3. Perancangan Bridge Rectifier

Tegangan dan arus keluaran dari generator yang digunakan pada pembangkit listrik dengan tenaga angin ini merupakan tegangan dan arus listrik AC. Untuk menghasilkan tegangan listrik yang searah (DC) dibutuhkan suatu penyearah yang memiliki noise rendah, oleh karena itu digunakan dioda bridge yang berfungsi sebagai penyearah arus bolak balik, yang mana Rangkaian ini Terdiri dari empat buah rectifier yang berhubungan satu sama lain ( membentuk formasi kotak ). Bridge rectifier menyearahkan arus ( AC ke DC ) dengan lebih efisien.

Pada rangkaian Pembangkit ini yang berperan menjadi jantung dalam penyearahan arus AC menjadi Arus DC adalah Rangkaian Bridge Rectifier. Rangkaian Bridge Rectifier adalah Rangkaian dasar penyearah type jembatan yang terdiri 4(empat) dioda yang disusun sedemikian rupa sehingga arus listrik hanya mengalir kesatu arah saja melalui beban. Sirkuit ini tidak memerlukan sekunder bersenter tapi sebagaimana pada rangkaian penyearah gelombang penuh.



Gambar 3.4. Gambar Rangkaian dan output bridge rectifier

Sebagaimana telah kita lihat pada bab sebelumnya bahwa arus listrik DC yang keluar dari dioda masih berupa deretan pulsa-pulsa. Tentu saja arus listrik DC semacam ini tidak cocok atau tidak dapat digunakan oleh perangkat elektronik apapun.

Untuk itu perlu dilakukan suatu cara filtering agar arus listrik Dc yang masih berupa deretan pulsa itu menjadi arus listrik DC yang halus/ rata. Ada beberapa cara yang dapat dilakukan diantaranya dengan C filter, RC filter dan LC filter. Pada bab berikut hanya akan dibahas C filter (basic). Sedangkan RC maupun LC filter merupakan pengembangan C filter yang fungsinya lebih menghaluskan tegangan output dioda.

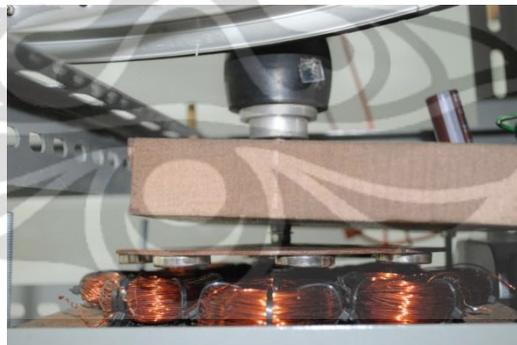
Filtering yang paling sederhana ialah dengan menggunakan capacitor yang dihubungkan seperti terlihat pada gambar. Tegangan input rata-rata (average) 115 volt. Capacitor harus membuang (*discharge*) muatannya melalui beban yang mempunyai resistansi tertentu. Oleh karenanya waktu discharge capacitor lebih lama dibanding waktu yang dibutuhkan AC untuk melakukan satu periode (cycle). Akibatnya sebelum *capacitor* mencapai nol volt diisi kembali oleh pulsa berikutnya. Pada gambar 3.5 gambar rangkaian perancangan



Gambar 3.5 Rangkaian penyearah

### 3.2.4 Perancangan Generator Aksial

Karena sulitnya mencari generator axial yang sudah jadi di pasaran, maka penulis mencoba untuk membangun sendiri generator axial sederhana yang cocok digunakan pada turbin angin dengan kecepatan rendah dan kapasitas daya kecil yaitu generator fluks axial single side atau cakram tunggal yang menggunakan satu rotor dan satu stator sehingga cocok dengan turbin kecepatan rendah dengan torsi yang kecil.



**Gambar 3.5 Generator Axial Cakram Tunggal**

#### 3.2.4.1 Rotor Generator Axial Cakram Tunggal

Rotor pada generator axial adalah sebagai tempat medan magnet utama dihasilkan. Rotor juga terdiri dari plat besi tipis setebal 2 mm dan berdiameter 16,5 cm yang berfungsi sebagai tatakan penyanggah magnet permanen. Poros yang digunakan adalah batang besi diameter 6 mm sepanjang 20 cm yang akan berputar dengan menggunakan bearing. Diameter pulley yang digunakan pada rotor adalah sepanjang 55 mm

Pada rotor medan magnet dihasilkan oleh magnet permanen sehingga tidak diperlukan arus eksitasi. Magnet permanent yang digunakan adalah neodymium-iron-boron NdFeB yaitu magnet yang paling kuat diantara jenis magnet lainnya. Jumlah pasang kutub pada rotor adalah 8 kutub yang diletakkan di tiap ujung lingkaran plat besi. Diameter magnet yang digunakan adalah 25 mm dengan ketebalan 5 mm. Besar air gap antara rotor ke stator adalah 5 mm dan kuat medan magnet dari magnet permanen adalah 1,27 Tesla. Tipe penyebaran fluks dari generator ini adalah axial ini berdasarkan konstruksi dari generator tersebut.

Untuk penempatan posisi magnet, diletakkan secara “Surface-Mounted”. Pada tipe bentuk rotor ini magnet permanen ditempelkan pada permukaan penyanggah magnet. Sehingga terlihat adanya celah udara pada rotor tersebut yang berfungsi sebagai ventilasi pada saat rotor berputar lebih cepat yang dapat mengurangi panas dan mengurangi proses demagnetisasi. Tidak hanya itu, konstruksi dan biaya pada rotor ini lebih mudah dan lebih murah daripada menggunakan rotor dengan magnet permanen “Embedded” yang letak magnetnya tertanam pada plat besi.



**Gambar 3.6 Surfaced Mounted Rotor Generator Axial Cakram Tunggal**

#### 3.2.4.2 Stator Generator Axial Cakram Tunggal

Stator pada generator axial merupakan rangkaian jangkar dimana ggl induksi dihasilkan pada bagian ini. Pada rancang bangun generator axial ini digunakan stator tanpa inti besi, karena tipe ini cocok untuk putaran rendah dan torsi beban yang rendah. Hal ini disebabkan oleh tidak adanya inti besi yang terdapat didalamnya yang bisa menyebabkan magnet permanen tertarik ke inti besi tersebut.

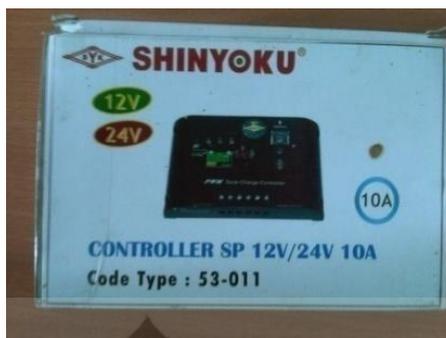


**Gambar 3.7 Stator Generator Axial Cakram Tunggal**

Untuk susunan kumparannya disusun secara *non-overlapping*, susunan kumparannya berada sejajar dan berimpit di samping kumparan lainnya. Jumlah kumparan pada stator yang dirancang bangun ada 8 kumparan dengan tiap kumparan dihubung seri yang bertujuan untuk menguatkan tegangan yang akan dihasilkan generator. Masing-masing kumparan mempunyai 400 lilitan dengan diameter kawat tembaga adalah 0,6 mm. Jumlah gulungan di stator akan menentukan besarnya tegangan, arus keluaran, dan daya pada generator tersebut. Hambatan total dari kumparan adalah  $27,2 \Omega$  dengan tebal kumparan 15 mm. Energi listrik yang dihasilkan pada stator adalah listrik AC satu fasa.

### **3.2.5. Penggunaan Pengendali Tegangan**

Pada proyek penelitian ini, digunakan rangkaian pengatur tegangan agar besar tegangan output generator terjaga besarnya pada kecepatan tinggi. Hal ini dilakukan agar generator dapat mengisi akumulator tanpa merusak akumulator. Tegangan sel pada sebuah akumulator biasa adalah 2volt/sel. Tetapi sebetulnya tegangan kerjanya adalah lebih tinggi. Seperti diketahui, untuk mengalirkan arus ke sebuah akumulator, tegangan generatornya harus lebih tinggi dari tegangan akumulator itu sendiri. Sementara itu tegangan yang dihasilkan harus dijaga supaya nilainya tidak terlalu tinggi untuk mencegah mendidihnya (gas) dari akumulator. Sebagai tegangan pengatur yang aman pada  $20^\circ\text{C}$  harus dipertahankan 2,35 V/sel sampai 2,4 V/sel. Bagi akumulator 12 volt, hal itu berarti tegangan kerja sebesar 14,1 V - 14,4 V. Adapun dalam penelitian kali ini digunakan controler tipe PWM solar charge controller dengan merk Shinyoku 12/24V 10A



Gambar 3.8. Solar Charge Controller (Shinyoku)

### 3.2.6. Penggunaan Akumulator

Akumulator yang digunakan pada proyek penelitian ini adalah akumulator kering dengan merek *GS* dengan nomor seri *GTZ5S*. Spesifikasi dari akumulator ini adalah sebagai berikut :

Tegangan : 12 volt.

Kapasitas : 3,5 Ah.

Dari spesifikasi tersebut dapat dijelaskan bahwa akumulator ini memiliki tegangan kerja 12 volt. Artinya, akumulator tersebut memiliki 6 buah sel yang disusun secara seri dan masing-masing sel memiliki besar tegangan 2 volt. Antara satu sel dengan sel lainnya dipisahkan oleh dinding penyekat yang terdapat dalam bak akumulator, artinya tiap ruang pada sel tidak berhubungan sehingga cairan elektrolit pada tiap sel juga tidak berhubungan (dinding pemisah antarsel tidak boleh ada yang bocor). Akumulator yang digunakan memiliki kapasitas 3,5 Ah. Artinya, akumulator ini dapat memberikan kuat arus sebesar 3,5 ampere dalam 1 jam atau 1 ampere selama 3,5 jam. Akumulator yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan oleh gambar 3.6.



Gambar 3.9. Akumulator 12V – 3,5Ah

### 3.2.7. Penggunaan Inverter

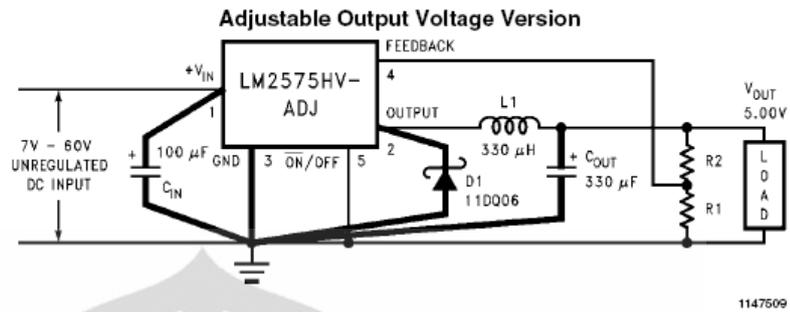
Inverter yang digunakan pada penelitian ini adalah inverter dengan merek *SUVPR* dengan daya listrik sebesar 150 watt. Inverter ini mampu mengubah tegangan 12 volt DC menjadi tegangan 220 volt AC. Ada dua tipe inverter yang sekaligus membedakan penggunaannya yaitu *pure sinewave* yang khusus bagi alat elektronik menggunakan motor listrik seperti pompa air dan lemari es, dan tipe *modified sinewave* bagi alat listrik yang tanpa motor atau kerjanya ringan seperti lampu. Inverter yang digunakan pada penelitian ini adalah inverter tipe *modified sinewave* karena beban yang digunakan pada penelitian ini hanya lampu hemat energi, Radio dan charge ponsel. Efisiensi tertinggi dari inverter yaitu 90 %. Artinya daya listrik yang dihasilkan setelah melewati inverter (output) akan berkurang 10 %. Contohnya, daya 300 watt setelah masuk inverter hanya memiliki output sebesar watt ( $300 \text{ watt} \times 90 \% = 270 \text{ watt}$ ). Rata - rata tingkat efisiensi inverter di pasaran sebesar 75 %. Inverter yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan oleh gambar 3.7.



Gambar 3.10 Inverter

### 3.2.8. Perencanaan Regulator Output

Selain menggunakan Inverter keluaran dari akumulator dapat juga langsung di konsumsikan untuk beban DC, namun besar tegangan harus disesuaikan sesuai spesifikasin beban tersebut. Objek pengujian pada beban DC ini menggunakan lampu LED, Radio dan Charge ponsel. Sesuai spesifikasinya maka dibutuhkan penurun tegangan yang akan digunakan. Adapun pengatur tegangan itu menggunakan IC LM2575 yang dapat diatur tegangan keluarannya sesuai kebutuhan. Pada gambar dpat terlihat rangkaian yang digunakan serta perhitungan untuk mencari tegangan keluaran sesuai yang diinginkan.



$$V_{OUT} = V_{REF} \left( 1 + \frac{R2}{R1} \right)$$

$$R2 = R1 \left( \frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1 \right)$$

where  $V_{REF} = 1.23V$ ,  $R1$  between 1k and 5k.  
 $R1 = 2k$ , 0.1%  
 $R2 = 6.12k$ , 0.1%



Gambar 3.11. Gambar Rangkaian Regulator

Pada Perancangan regulator output ini untuk menghasilkan tegangan keluaran yang diinginkan yaitu 5 volt, penelitian menggunakan nilai resistor 3K Ohm dan 1K Ohm. Tegangan keluaran 5 volt telah disesuaikan untuk beban beban yang diujikan sebesar 3,7 – 4,5 volt.

$$V_{out} = V_{ref} \left( 1 + \frac{R2}{R1} \right)$$

$$V_{out} = 1,23V \left( 1 + \frac{3K}{1K} \right)$$

$$V_{out} = 5,08$$

Pada Tabel 3.1 akan terlihat karakteristik dari regulator yang digunakan pada percobaan ini.

**Tabel 3.1.** Karakteristik regulator

No.	Vin (Volt)	Vout (Volt)
1	1	0,4
2	2	0,8
3	3	1,3
4	4	2,1
5	5	3,4
6	6	4,1
7	7	5,3
8	8	5,4
9	9	5,4
10	10	5,4
11	11	5,4
12	12	5,4
13	13	5,4
14	14	5,4
15	15	15

Pada Tabel diatas terlihat bahwa regulator ini mulai stabil ketika tegangan input 7 volt dan mulai tidak bekerja hingga tegangan 15 volt, yang akibatkan oleh IC LM2575 yang Panas.

### 3.3 Penggunaan Beban

#### 3.3.1 Radio

Dalam pengujian beban DC dengan pencatuan langsung dari akumulator digunakan beban dengan kapasitas daya yang rendah. Adapun spesifikasi radio yang digunakan pada penelitian ini ialah :

Merk : Nisso AM/FM/TV/SW Radio Cassette Recorder

Power Supply : DC 4.5 volt

AC 220 volt – 50 Hz

Dalam pengujian supply menggunakan tegangan DC keluaran akumulator yang sebelumnya masuk ke regulator untuk diturunkan tegangannya.



Gambar 3.12 Radio

### 3.3.2 Ponsel Huawei

Beban dengan Kapasitas daya rendah selanjutnya ialah ponsel yang akan discharge. Adapun Spesifikasi ponsel yang digunakan ialah :

Merk	: Huawei
Tipe	: c2802
Tipe Battery	: Huawei HBL3A
Tegangan	: 3,7 Volt
Arus	: 600 mA

Dalam pengujian supply menggunakan tegangan DC keluaran akumulator, namun karena keluaran dari akumulator memiliki tegangan 12 V sementara tegangan baterai ponsel sekitar 3,7 volt maka sebelum melakukan charging keluaran akumulator memasuki regulator LM2575 untuk diturunkan tegangannya.



Gambar 3.13 Ponsel

### 3.3.3 Lampu LED

Beban DC lainnya yang diuji pada penelitian kali ini ialah lampu LED ( Light Emitting Diode), LED pada pengujian kali ini dirangkai dengan menggunakan LED sebanyak 10 buah yang tersusun secara paralel serta penambahan resistor sebagai pembatas arus yang masuk. Satu buah LED membutuhkan tegangan

sebesar 3 volt. Penyusunan LED secara paralel akan menyebabkan tegangan tetap namun arus bertambah. Sama halnya dengan beban DC sebelumnya dalam pengujian supply menggunakan tegangan DC keluaran akumulator, namun karena keluaran dari akumulator memiliki tegangan 12 V sementara tegangan lampu LED sebesar 3 volt maka sebelum melakukan pencatuan keluaran dari akumulator memasuki regulator LM2575 untuk diturunkan tegangannya. Intensitas Cahaya yang diberikan setara dengan cahay lampu tidur atau belajar.



Gambar 3.14 LED

#### 3.3.4. Lampu LED 12 Volt

Beban DC lainnya yang diuji ialah LED 12 volt, berbeda dengan percobaan pada beban DC sebelumnya. Pada percobaan menggunakan LED 12 volt, pencatuan langsung diberikan dari akumulator tanpa harus melewati regulator step-down, yang selanjutnya akan menghidupkan lampu LED 12 volt tersebut. Intensitas Cahaya yang diberikan setara dengan cahay lampu tidur atau belajar.

#### 3.3.5 Lampu Hemat Energy

Pada pengujian kali ini tidak hanya beban DC yang dilakukan pengujian namun beban AC juga dilakukan pengujian. Adapun beban yang digunakan ialah

Jenis	: Lampu Hemat Energi
Merk	: Yaki
Daya	: 11 watt dan 18 watt
Tegangan	: 220 volt – 240 volt

Dalam pengujian supply menggunakan tegangan DC keluaran akumulator, namun karena keluaran dari akumulator memiliki tegangan 12 V DC sementara tegangan yang dibutuhkan untuk menghidupkan lampu hemat energi yaitu 220

volt AC maka sebelum melakukan pencatuan keluaran akumulator memasuki Inverter untuk dirubah ke tegangan AC 220 volt.



Gambar 3.15 Lampu AC

### **3.4. Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Angin**

#### **3.4.1. Objek Pengujian**

Objek pengujian pada penelitian ini adalah kemampuan pembangkit listrik tenaga angin dalam menghasilkan energi listrik. Pengujian yang dilakukan dibagi menjadi tiga tahapan. Pertama, pengujian terhadap kemampuan turbin angin dalam menangkap angin serta kemampuan generator dalam menghasilkan tegangan dan arus listrik pada putaran tertentu. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik generator yang digunakan. Karakteristik generator yang ingin diketahui adalah tegangan dan arus listrik, serta potensi daya listrik yang dihasilkan oleh generator pada putaran tertentu. Dari pengujian ini akan diketahui berapa kecepatan putaran generator yang sesuai untuk menghasilkan tegangan dan arus listrik yang cukup untuk mengisi akumulator. Kedua, pengujian yang dilakukan pada saat proses pengisian akumulator. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan generator untuk mengisi akumulator. Pada pengujian ini akan diperoleh data mengenai tegangan dan arus listrik serta waktu yang dibutuhkan untuk mengisi akumulator sampai penuh. Ketiga, pengujian pada saat pencatuan ke beban listrik. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan akumulator dalam menyuplai energi listrik ke beban listrik. Pada pengujian ini akan diperoleh data mengenai tegangan serta arus listrik yang dipakai oleh beban, serta waktu yang dibutuhkan sehingga akumulator tidak mampu menyuplai beban listrik lagi karena daya listriknya habis.

### 3.4.2. Peralatan Pengujian

Peralatan yang digunakan pada pengujian pembangkit listrik tenaga pedal adalah sebagai berikut:

1. Turbin Angin
2. Generator Aksial (*handmade*)
3. Akumulator basah 12 volt – 3,5 Ah
4. Controller Shinyoku 12/ 24v 5/ 10amp
5. Multimeter Digital Masda DT830D, sebagai alat ukur tegangan dan Arus listrik



Gambar 3.16. Multimeter Digital MASDA

6. Multimeter Digital Heles model UX-838TR, sebagai alat ukur tegangan listrik pada akumulator.



Gambar 3.17. Multimeter Digital Sanwa

7. Tachometer Digital Yew model 3631, sebagai alat ukur kecepatan putaran turbin dan generator



Gambar 3.18. Tachometer Digital Yew model 3631

8. Kabel
9. Resistor variabel (pada pengujian ini, resistor yang digunakan memiliki hambatan sebesar 0,5 ohm)
10. Lampu hemat energi (18 watt, 11 watt)
11. Lampu LED
12. Stopwatch
13. Kamera digital
14. Osiloskop, sebagai alat untuk menampilkan bentuk gelombang output generator.



Gambar 3.19. Osiloskop

15. Anemometer

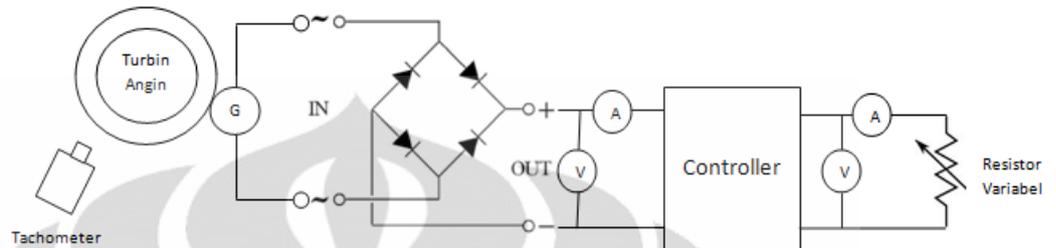


Gambar 3.20. Anemometer

16. Regulator
17. Inverter
18. Solder
19. Kabel
20. Kipas *Exhaust*
21. DC power supply

### 3.4.3 Diagram dan Parameter Pengujian

#### 3.4.3.1 Pengujian Tegangan dan Arus Keluaran Generator terhadap Kecepatan Angin

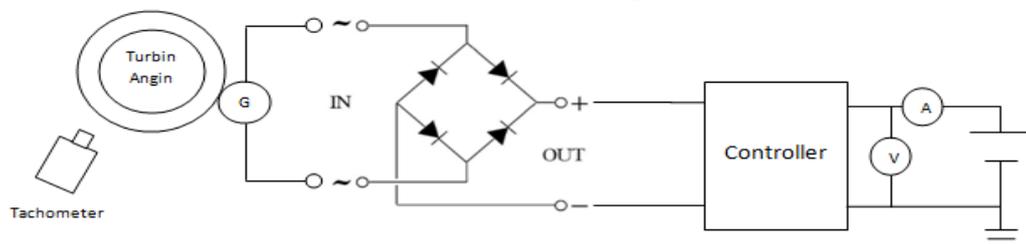


Gambar 3.18. Diagram Pengujian tegangan dan arus keluaran generator

Gambar 3.21. Diagram Pengujian tegangan dan arus keluaran generator

Pengujian Tegangan dan Arus ini membandingkan terhadap variasi kecepatan angin dan tegangan dan arus yang dihasilkan oleh generator. Suatu pembangkit listrik tenaga angin membutuhkan suatu sistem pengonversi ke energi listrik yang mana alat konversi itu akan menghasilkan tegangan dan arus dengan bergantung terhadap kecepatan putarnya. Suatu pembangkit dikatakan handal terhadap sistem apabila telah mampu memenuhi kebutuhan beban yang diinginkan. Nilai tegangan dan arus menjadi parameter pada percobaan ini, dengan variasi kecepatan angon yang mana nilai tegangan dan arus ini akan memasuki akumulator sebagai elemen penyimpanan.

#### 3.4.3.2 Pengujian Pengisian Akumulator



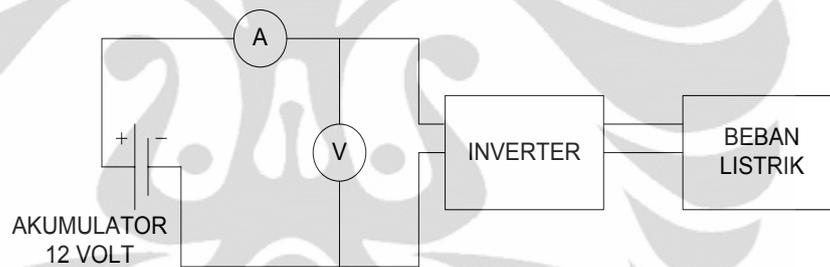
Gambar 3.19. Diagram Pengujian Pengisian akumulator

Gambar 3.22. Diagram Pengujian Pengisian akumulator

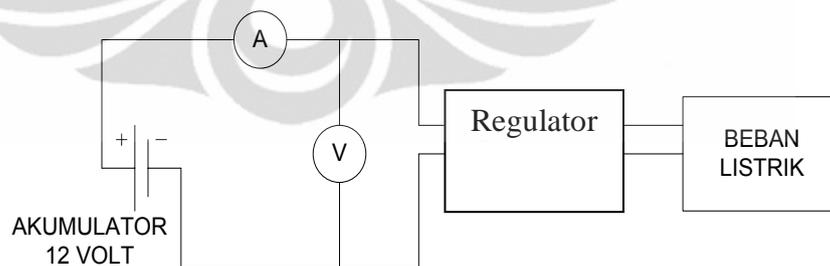
Pada pengujian ini yang menjadi parameter ialah arus dan tegangan yang masuk ke akumulator dari generator yang melewati controller sebelumnya terhadap waktu pengisian hingga akumulator penuh dalam hal ini 13 volt.

### 3.4.3.3 Pengujian Pencatuan ke beban listrik

Pada pengujian pencatuan ke beban listrik dilakukan dengan tiga macam pengujian, yaitu pengujian pencatuan ke beban dengan melepas akumulator dari sistem pembangkit listrik tenaga angin dengan beban DC yang sebelumnya melewati rangkaian regulator *step down*, selanjutnya pengujian pencatuan dengan beban AC yang sebelumnya melewati Inverter dan yang terakhir pengujian pencatuan beban secara langsung ke sistem pembangkit listrik. Ditunjukkan pada gambar berikut



Gambar 3.23 Rangkaian beban AC



Gambar 3.24 Rangkaian beban DC

### 3.5. Prosedur Pengujian

#### 3.5.1. Pengujian Tegangan dan Arus terhadap Kecepatan Angin

1. Memasang rangkaian seperti pada rangkaian pengujian gambar 3.20.
2. Mencatat Kecepatan Putaran turbin dengan tachometer
3. Mencatat Kecepatan Putaran generator dengan tachometer
4. Mencatat tegangan listrik yang terukur di voltmeter
5. Mencatat arus listrik yang terukur di amperemeter.
6. Pengujian dilakukan dengan kecepatan angin yang bervariasi dari 1 m/s hingga 10 m/s

#### 3.5.2. Pengujian Pengisian Akumulator

1. Memasang rangkaian seperti pada rangkaian pengujian gambar 3.21.
2. Memutar turbin dengan angin exhaust dengan Kecepatan Angin 4m/s.
3. Mencatat kecepatan putaran generator yang terukur di tachometer.
4. Mencatat tegangan listrik yang terukur di voltmeter.
5. Mencatat arus listrik yang terukur di amperemeter.
6. Pengujian dilakukan selama 6x5 menit.

#### 3.5.3. Pengujian Pencatuan ke Beban Listrik

##### a. Pengujian dengan melepas akumulator dari pembangkit listrik tenaga angin

1. Memasang rangkaian seperti pada rangkaian pengujian gambar 3.22 dan 23.
2. Mencatat tegangan listrik yang terukur di voltmeter.
3. Mencatat arus listrik yang terukur di amperemeter.
4. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan beban listrik yang digunakan, yaitu Radio, Lampu LED, Charge ponsel dan Lampu Hemat Energi 11 watt dan 18 watt

##### b. Pengujian dengan menghubungkan akumulator dengan pembangkit listrik tenaga angin

1. Memutar turbin dengan angin *exhaust*
2. Mencatat kecepatan putaran generator yang terukur di tachometer.

3. Mencatat tegangan listrik yang terukur di voltmeter.
4. Mencatat arus listrik yang terukur di amperemeter.
5. Pengujian dilakukan dengan beban lampu 18 watt



## BAB 4

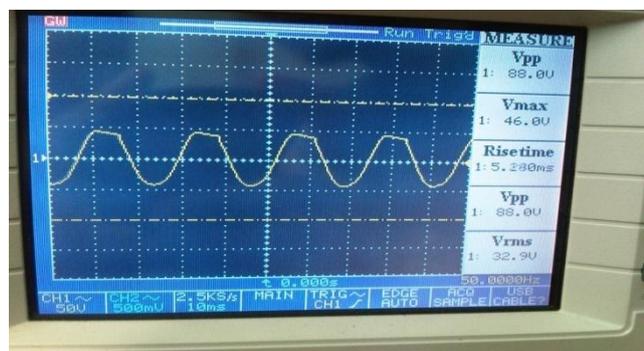
### HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pada bab 4 skripsi ini membahas tentang hasil pengujian yang telah dilakukan serta analisis data hasil pengujian tersebut. Pengujian yang dilakukan terdiri dari 3 bagian, yaitu pengujian tegangan dan arus terhadap kecepatan angin, pengujian pengisian akumulator, dan pengujian pencatuan ke beban listrik.

#### 4.1. Analisis Hasil Pengujian Tegangan dan Arus Terhadap Kecepatan Angin

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tegangan dan arus keluaran generator yang digunakan berdasarkan kecepatan angin. Dari pengujian ini, diperoleh data berupa tegangan listrik dan arus listrik serta bentuk gelombang yang dihasilkan oleh generator saat generator berputar. Pada pengujian ini, puli generator dihubungkan secara langsung dengan turbin angin yang digunakan. Untuk menggerakkan turbin tersebut dihembuskan angin dari kipas *exhaust* yang dapat di atur kecepatan keluaran angin tersebut. Ketika *exhaust* dinyalakan maka angin akan berhembus dan diarahkan ke turbin angin, yang mana turbin angin ini akan dijadikan sebagai *prime mover* untuk memutar generator. Setelah generator berputar, maka tegangan dan arus output generator diukur dengan menggunakan voltmeter dan amperemeter. Dalam hal ini tegangan dan arus output generator berupa tegangan dan arus AC Bentuk gelombang output generator dilihat dengan menggunakan osiloskop. Pengujian dilakukan dengan menambah kecepatan angin yang mana akan menambahkan pula kecepatan putar dari turbin angin tersebut.

Hasil pengujian yang didapat dari pengujian ini ditunjukkan oleh tabel 4.1.

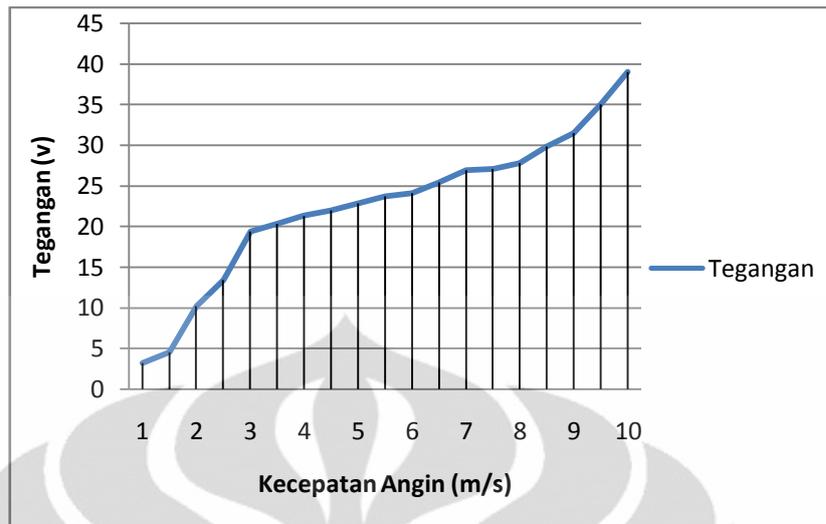


Gambar 4.1. Hasil Osiloskop

**Tabel 4.1.** Hasil Pengujian Tegangan dan Arus Generator

No.	Kecepatan Angin (m/s)	Kecepatan Turbin no load (RPM)	Kecepatan Turbin load (RPM)	Kecepatan Putar Generator (RPM)	Tegangan (AC) Volt	Arus (AC) mA	Tegangan (DC) Volt	Arus (DC) mA
1	1	20	9	67	3,5	0,4	3,2	0,4
2	1,5	23	13	106	4,6	2,3	4,5	2,3
3	2	29	24	195	8,6	6,6	10,2	6,4
4	2,5	34	31	233	10,4	7,8	13,4	7,6
5	3	41	35	279	13,4	9,2	19,4	9,2
6	3,5	44	38	344	15,5	10,3	20,3	10,2
7	4	51	39	374	18,1	10,4	21,3	10,2
8	4,5	54	40	380	19	10,8	22	11
9	5	57	41	412	19,7	10,8	22,8	11,8
10	5,5	59	42	427	19,7	11,6	23,7	12,6
11	6	63	45	436	20,6	12,4	24,1	13,6
12	6,5	66	47	466	21,1	13,8	25,4	14
13	7	68	50	482	22,3	14,6	26,9	14,2
14	7,5	69	51	491	23	15	27,1	14,6
15	8	70	53	502	23,3	15	27,8	15
16	8,5	74	57	531	25,2	16	29,8	16,2
17	9	78	61	560	28	16	31,5	18,6
18	9,5	80	73	607	28,3	17,8	35	19
19	10	85	75	667	28,5	20	39	20

Dari tabel 4.1., dibuat grafik hubungan antara kecepatan Angin dengan tegangan listrik yang dihasilkan oleh Generator.



Gambar 4.2. Grafik hubungan antara tegangan output generator terhadap kecepatan angin

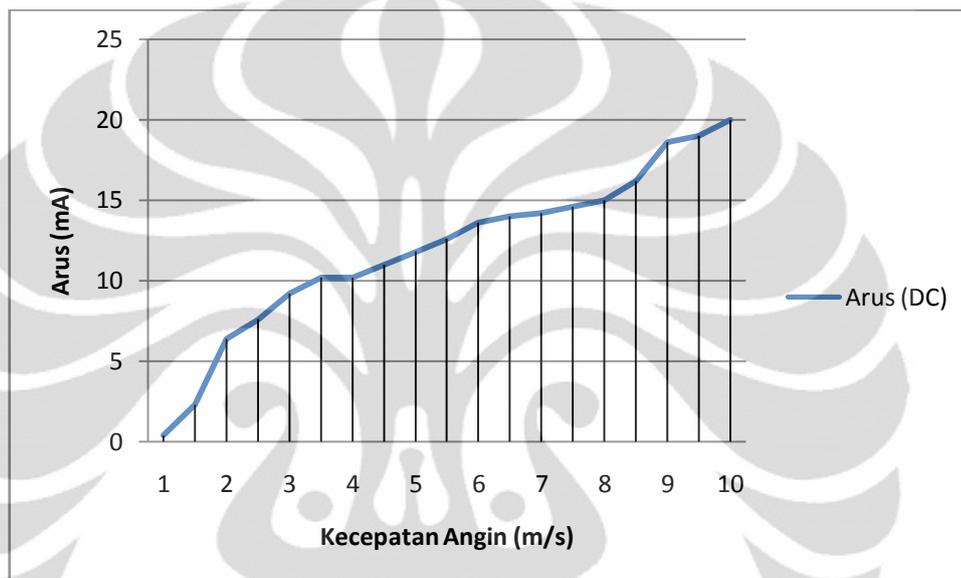
Gambar 4.2 menunjukkan bahwa kecepatan angin yang berhembus sangat berpengaruh terhadap tegangan listrik yang dihasilkan oleh generator. Jika kecepatan angin yang semakin tinggi, maka tegangan listrik yang dihasilkan oleh generator akan semakin besar. Hal ini membuktikan bahwa kecepatan angin berbanding lurus dengan tegangan listrik yang dihasilkan oleh generator.

Berdasarkan tabel 4.1 bahwa kecepatan angin yang berhembus dimulai dari 1 m/s hingga 10 m/s. Hubungan antara kecepatan angin dan kecepatan putar dari turbin juga berbanding lurus artinya ketika laju angin meningkat maka kecepatan putar dari turbin juga meningkat, yang mana hal itu akan meningkatkan laju putar dari puli generator aksial yang digunakan dan akan menghasilkan energi listrik yang besar.

Besar tegangan listrik yang dibutuhkan untuk mengisi akumulator 12 volt adalah sama dengan atau sedikit melebihi 12 volt. Tegangan listrik yang digunakan untuk mengisi akumulator 12 volt tidak boleh terlalu besar atau jauh melebihi 12 volt agar akumulator tidak cepat rusak. Dari tabel 4.1, terlihat bahwa pada kecepatan angin 2,5 m/s – 3 m/s akan memutar turbin dengan laju putaran sebesar 34 RPM – 41 RPM, generator menghasilkan tegangan listrik sekitar 12 volt. Kemudian pada kecepatan angin diatas itu akan memutar turbin dengan sangat cepat lagi, sehingga kecepatan putar dari turbin angin juga bertambah dan

menghasilkan tegangan listrik yang lebih besar dari 12 volt Hal ini menunjukkan bahwa batas-batas kecepatan putar yang dibutuhkan agar generator mampu menghasilkan tegangan listrik yang cukup untuk mengisi akumulator 12 volt adalah antara kecepatan angin 2,5 m/s hingga 3 m/s.

Dari tabel 4.1, selain grafik hubungan antara tegangan dan kecepatan angin, dapat pula dibuat hubungan antara arus listrik output generator terhadap kecepatan angin.



Gambar 4.3. Grafik hubungan antara arus listrik output generator terhadap kecepatan angin

Dari gambar 4.3, terlihat bahwa kecepatan angin sangat berpengaruh terhadap putaran dari turbin angin yang mana akan mempengaruhi laju dari generator itu sendiri. Laju putaran generator akan menghasilkan arus listrik sesuai tabel. Jika kecepatan angin semakin tinggi, maka semakin besar arus listrik yang dihasilkan oleh generator. Hal ini membuktikan bahwa kecepatan angin berbanding lurus dengan arus listrik yang dihasilkan oleh generator.

Dalam melakukan pengukuran arus listrik yang dihasilkan dibutuhkan komponen resistor variabel sebesar 0,5 ohm, sehingga besar arus listrik yang dihasilkan oleh generator juga dipengaruhi oleh resistor variabel yang digunakan. Jika nilai resistor yang digunakan semakin besar maka arus listrik yang terdeteksi oleh amperemeter akan semakin kecil.

Besar arus listrik yang dihasilkan oleh generator akan menentukan waktu pengisian akumulator yang sebelumnya disearahkan oleh rangkaian *bridge rectifier*. Semakin besar arus listrik yang dihasilkan, semakin cepat waktu yang dibutuhkan untuk mengisi akumulator. Sebaliknya, semakin kecil arus listrik yang dihasilkan oleh generator, semakin lama pula waktu yang dibutuhkan untuk mengisi akumulator.

#### 4.2. Analisis Hasil Pengujian Pengisian Akumulator

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan generator saat melakukan pengisian ke akumulator. Pada pengujian ini, Turbin Angin langsung dihubungkan dengan puli dari generator dengan cara dihubungkan secara bersingungan. Kemudian angin dihembuskan dengan kecepatan tertentu (pada percobaan ini hanya digunakan kecepatan angin 4 m/s) sehingga menyebabkan turbin berputar dan puli generator ikut berputar. Kecepatan putar generator dijaga agar mampu menghasilkan tegangan listrik yang cukup untuk mengisi akumulator. Karena tegangan yang keluar dari generator ialah tegangan AC maka dibutuhkan rangkaian penyearah guna membuat tegangan menjadi DC, oleh karena itu sebelum dilakukan pengisian disearahkan terlebih dahulu tegangan keluaran dari generator. Selanjutnya dimasukkan kedalam pengendali agar tegangan dijaga konstan untuk dapat mengisi akumulator. Pada tabel 4.2 diperlihatkan tabel output dari rangkaian penyearah (*bridge rectifier*).

**Tabel 4.2.** Hasil keluaran dari Rangkaian Penyearah

No.	Kecepatan Angin (m/s)	Kecepatan Turbin no load (RPM)	Kecepatan Turbin load (RPM)	Kecepatan Putar Generator (RPM)	Tegangan (DC)	Arus (DC)
1	1	20	9	67	3,2	0,4
2	1,5	23	13	106	4,5	2,3
3	2	29	24	195	10,2	6,4
4	2,5	34	31	233	13,4	7,6
5	3	41	35	279	19,4	9,2
6	3,5	44	38	344	20,3	10,2

7	4	51	39	374	21,3	10,2
8	4,5	54	40	380	22	11
9	5	57	41	412	22,8	11,8
10	5,5	59	42	427	23,7	12,6
11	6	63	45	436	24,1	13,6
12	6,5	66	47	466	25,4	14
13	7	68	50	482	26,9	14,2
14	7,5	69	51	491	27,1	14,6
15	8	70	53	502	27,8	15
16	8,5	74	57	531	29,8	16,2
17	9	78	61	560	31,5	18,6
18	9,5	80	73	607	35	19
19	10	85	75	667	39	20

Besar tegangan listrik yang dibutuhkan untuk mengisi akumulator 12 volt adalah sama dengan atau sedikit melebihi 12 volt. Tegangan listrik yang digunakan untuk mengisi akumulator 12 volt tidak boleh terlalu besar atau jauh melebihi 12 volt agar akumulator tidak cepat rusak. Dari tabel 4.1, terlihat bahwa pada kecepatan angin 2,5 m/s – 3 m/s akan memutar turbin dengan laju putaran sebesar 34 RPM – 41 RPM, generator menghasilkan tegangan listrik sebesar 12 volt. Kemudian pada kecepatan angin diatas itu akan memutar turbin dengan sangat cepat lagi, sehingga kecepatan putar dari turbin angin juga bertambah dan menghasilkan tegangan listrik yang lebih besar dari 12 volt Hal ini menunjukkan bahwa batas-batas kecepatan putar yang dibutuhkan agar generator mampu menghasilkan tegangan listrik yang cukup untuk mengisi akumulator 12 volt adalah antara kecepatan angin 2,5 m/s hingga 3 m/s. Jika tegangan yang akan memasuki akumulator berlebih atau kurang maka akan dikendalikan oleh controller Pada tabel 4.4 diperlihatkan nilai arus dan tegangan yang keluar dari controller.

**Tabel 4.3.** Hasil Tegangan Keluaran controller

No.	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan DC (Volt)	Arus DC (mA)
1	1	12,5	0,2
2	1,5	12,5	1,3
3	2	12,5	5,4
4	2,5	12,5	7,8
5	3	12,45	17,6
6	3,5	12,5	18,7
7	4	12,46	19,2
8	4,5	12,47	21,3
9	5	12,5	22,8
10	5,5	12,45	23,7
11	6	12,5	24,8
12	6,5	12,49	28,5
13	7	12,5	36,6
14	7,5	12,5	38,9
15	8	12,48	41,2
16	8,5	12,4	44,3
17	9	12,47	47
18	9,5	12,49	57
19	10	12,5	67

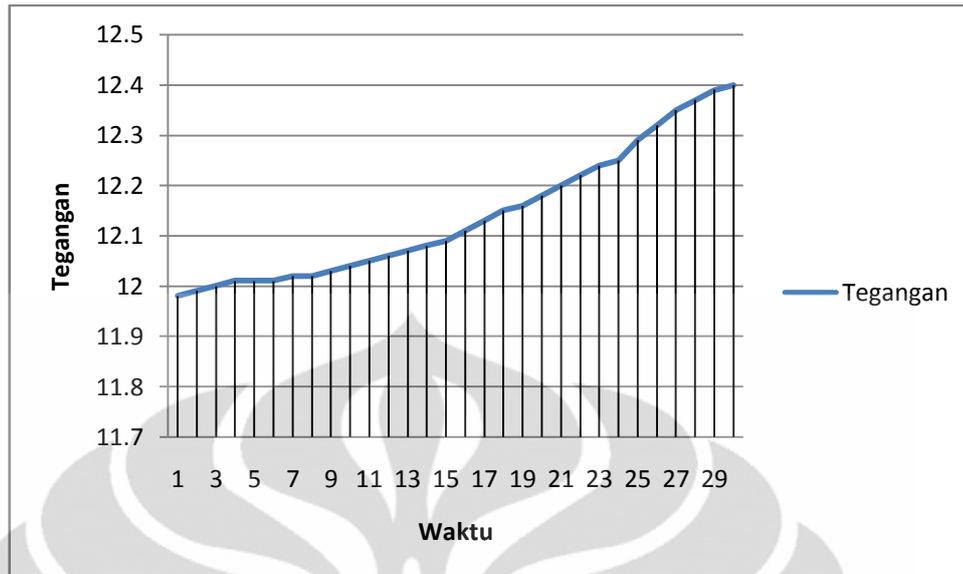
Hal ini dilakukan dengan cara melihat tegangan listrik akumulator yang terukur di voltmeter. Besar tegangan listrik yang dibutuhkan agar akumulator dapat diisi adalah sama dengan atau sedikit melebihi 12 volt. Pengujian dilakukan selama 30 menit.

Data yang diperoleh pada pengujian ini adalah kecepatan putar Generator, tegangan listrik, dan arus listrik yang dihasilkan oleh generator, serta waktu yang menyatakan lama pengisian akumulator. Hasil pengujian yang diperoleh dari pengujian pengisian akumulator ditunjukkan oleh tabel 4.4.

**Tabel 4.3.** Data Hasil Pengujian Pengisian Akumulator selama 30 Menit dengan Kecepatan angin 4 m/s

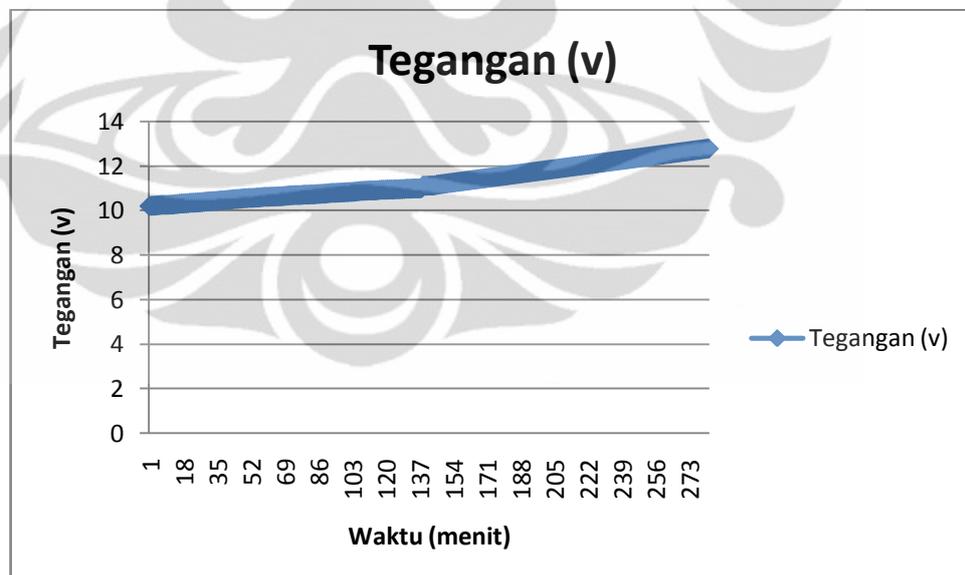
No.	Waktu (menit)	Tegangan listrik (volt)	Arus listrik (mA)	Kecepatan putar generator (rpm)
1	1	11,98	19,2	300
2	2	11,99	19	301
3	3	12,00	18,9	299
4	4	12,01	19,3	303
5	5	12,01	18,8	298
6	6	12,01	18,8	298
7	7	12,02	19,2	300
8	8	12,02	18,6	295
9	9	12,03	18,6	295
10	10	12,04	19,3	300
11	11	12,05	19,2	300
12	12	12,06	19,3	301
13	13	12,07	18,8	295
14	14	12,08	18,8	294
15	15	12,09	19	300
16	16	12,11	19,1	300
17	17	12,13	18,8	299
18	18	12,15	18,8	301
19	19	12,16	19	300
20	20	12,18	18,9	299
21	21	12,20	19,2	302
22	22	12,22	19,3	302
23	23	12,24	19,2	301
24	24	12,25	19,3	302
25	25	12,29	19,4	303
26	26	12,32	19,4	303
27	27	12,35	19,5	304
28	28	12,37	19,2	302
29	29	12,39	19,3	303
30	30	12,40	19,6	304

Dari tabel 4.4, didapatkan hasil bahwa tegangan listrik maksimum yang dihasilkan pada kecepatan angin 4 m/s adalah 12,40 volt Data-data tersebut menunjukkan bahwa tegangan listrik yang dihasilkan oleh generator cukup untuk mengisi akumulator. Gambar 4.5 menunjukkan tegangan listrik yang dihasilkan selama 30 menit pengujian.



Gambar 4.4. Grafik Tegangan Pengisian Akumulator

Dari gambar 4.4, terlihat bahwa tegangan listrik yang dibutuhkan untuk mengisi akumulator dijaga konstan antara 12 volt sampai dengan 13 volt. Hal ini dilakukan agar terjadi aliran arus listrik dari generator ke akumulator karena tegangan listrik generator lebih tinggi daripada tegangan listrik akumulator.



Gambar 4.5 Grafik pengisian akumulator dari kosong hingga penuh

Sedangkan pada grafik menunjukkan pengisian akumulator dari mulai keadaan kosong yaitu 10,2 volt ke keadan hampir penuh yaitu 12,8 volt selama

285 menit. Besar arus pengisian untuk mengisi akumulator telah cukup terbukti dengan terjadinya aliran listrik dari generator ke akumulator

Tabel 4.4 juga memperlihatkan arus listrik yang dihasilkan oleh generator untuk mengisi akumulator. Arus listrik maksimum dan minimum yang dihasilkan oleh generator pada kecepatan angin 4 m/s yang dijaga konstan untuk mengisi akumulator adalah 19,6mA. Sedangkan arus listrik rata-rata yang dialirkan ke akumulator adalah 19,4 mA. Aliran arus listrik dari generator ke akumulator terjadi karena tegangan listrik generator dijaga sedikit lebih tinggi daripada tegangan listrik akumulator.

Pada pengujian awal, tegangan listrik awal akumulator sebelum dilakukan pengisian adalah 11,99 volt. Sedangkan, tegangan listrik akumulator setelah 30 menit pengisian adalah 12,4 volt. Hal ini berarti tegangan listrik akumulator bertambah sebanyak 0,4 volt dalam 30 menit. Tegangan listrik akumulator yang terisi penuh adalah 13 volt. Data ini didapatkan setelah melakukan pengisian akumulator dengan pengisian biasa. Sedangkan tegangan listrik akumulator yang kosong adalah 10 volt. Data ini didapatkan setelah melakukan pengujian pencatutan ke beban. Dari kedua data tersebut, maka selisih antara tegangan akumulator yang terisi penuh dan kosong adalah 3 volt. Dengan data yang diperoleh dari hasil pengujian pengisian akumulator dengan pembangkit listrik tenaga angin, diperoleh hasil bahwa untuk mengisi akumulator dari keadaan kosong sampai penuh membutuhkan waktu sekitar 3,75 jam dengan kecepatan angin 4 m/s yang dijaga konstan. Seperti yang dapat dilihat pada tabel pengisian dari kosong hingga penuh pada lampiran, dapat terlihat bahwa waktu pengisian yaitu 285 menit atau 4 jam 45 menit artinya dapat dihitung arus pengisian yaitu sebesar 0,35 mA yang mana pengujian ini dilakukan dengan memberikan angin konstan.

#### **4.3. Analisis Hasil Pengujian Pencatutan ke Beban Listrik**

Pada pengujian ini, dilakukan Tiga macam pengujian, yaitu pengujian pencatutan ke beban dengan melepas akumulator dari sistem pembangkit dengan pencatutan pada beban DC, Pengujian pencatutan dengan beban AC dengan

melepas akumulator dari sistem pembangkit, serta pengujian pencatuan beban AC dengan akumulator terhubung dari sistem pembangkit.



### 4.3.1 Analisis Hasil Pengujian Pencatuan ke Beban Listrik dengan Akumulator Terlepas dari Pembangkit Listrik Tenaga angin beban DC

Pada pengujian ini, akumulator dihubungkan ke regulator kemudian ke beban listrik DC. Terdapat 4 beban DC yang diujikan pada pengujian ini yaitu, Ponsel, Lampu LED 3v dan 12v dan radio Data yang diperoleh dari pengujian ini adalah tegangan listrik keluaran regulator dan arus listrik yang dicatukan ke beban. Berikut adalah data yang diperoleh selama pengujian.

**Tabel 4.5** Pencatuan Beban Ponsel

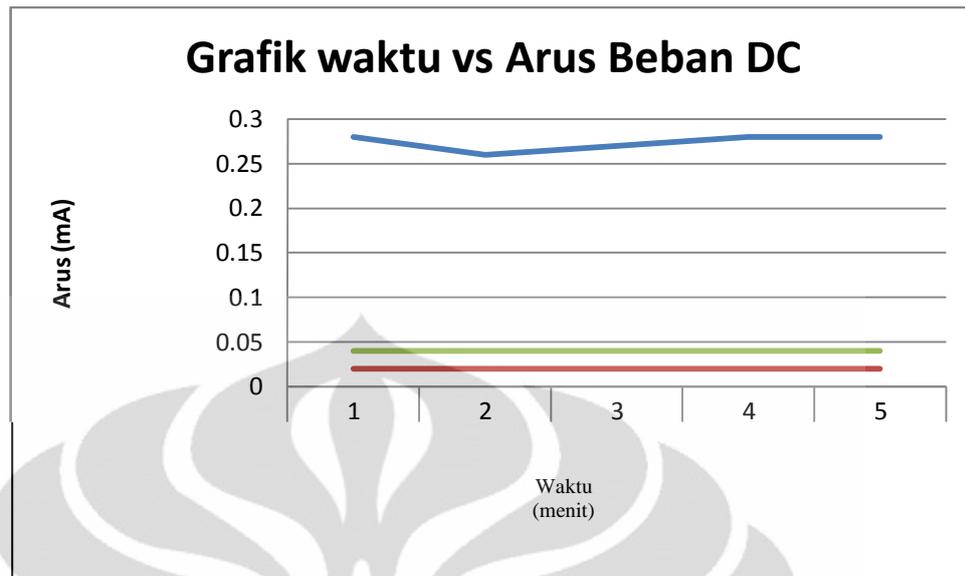
No	Waktu (menit)	Tegangan (V)	Arus dari Accu (mA)	Arus ke ponsel (mA)
1	1	5,49	0,2	0,28
2	2	5,48	0,19	0,26
3	3	5,48	0,21	0,27
4	4	5,47	0,2	0,28
5	5	5,46	0,2	0,28

**Tabel 4.6** Pencatuan Beban Lampu LED

No	Waktu (menit)	Tegangan	Arus dari Accu	Arus ke LED
1	1	5,41	0,02	0,02
2	2	5,49	0,019	0,02
3	3	5,43	0,02	0,02
4	4	5,41	0,02	0,02
5	5	5,44	0,02	0,02

**Tabel 4.7** Pencatuan Beban Radio

No	Waktu (menit)	Tegangan	Arus dari Accu	Arus ke Radio
1	1	5,41	0,06	0,04
2	2	5,49	0,056	0,04
3	3	5,43	0,059	0,04
4	4	5,41	0,06	0,04
5	5	5,44	0,06	0,04



Gambar 4.6 Grafik Arus Beban

Tabel 4.8 Pencatuan Beban LED 12 V

No	Waktu (menit)	Tegangan	Arus ke LED 12v
1	1	5,41	0,08
2	2	5,49	0,07
3	3	5,43	0,06
4	4	5,41	0,08
5	5	5,44	0,08

Dari Tabel dan grafik yang ditunjukkan diatas, menggambarkan bahwa ketika pembebanan dilakukan pada beban DC, Arus yang mengalir ke beban cenderung tetap, dan arus tertinggi di dapat oleh arus yang mengalir ke beban ponsel sementara LED dan Radio dialiri arus yang kecil. Beban beban yang digunakan pada pengujian ini merupakan beban beban yang berdaya rendah. Pada pengujian ini dapat terlihat bahwa arus yang dicatukan ke beban cenderung tetap dengan pengujian yang dilakukan selama lima menit.

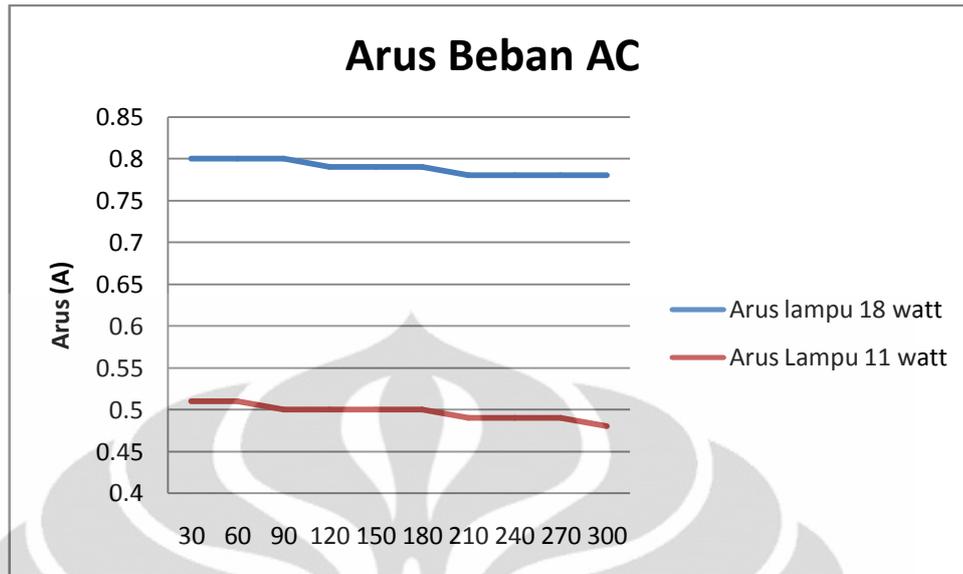
**Tabel 4.9** Daya Yang Dihasilkan

Jenis Beban	Tegangan (v)	Arus (A)	Daya (watt)
Ponsel	5,49	0,28	1,53
LED 3v	5,49	0,02	0,1
Radio	5,49	0,04	0,21
LED 12 v	5,49	0,08	0,44

Dari tabel 4.8, didapatkan hasil bahwa daya listrik Tertinggi dikonsumsi oleh beban ponsel sebesar 1,53 watt dari pengujian yang dilakukan selama lima menit sementara itu daya terendah dikonsumsi oleh beban lampu LED dari pengujian yang sama yang dilakukan selama lima menit

#### **4.3.2 Analisis Hasil Pengujian Pencatutan ke Beban Listrik dengan Akumulator Terlepas dari Pembangkit Listrik Tenaga angin beban AC**

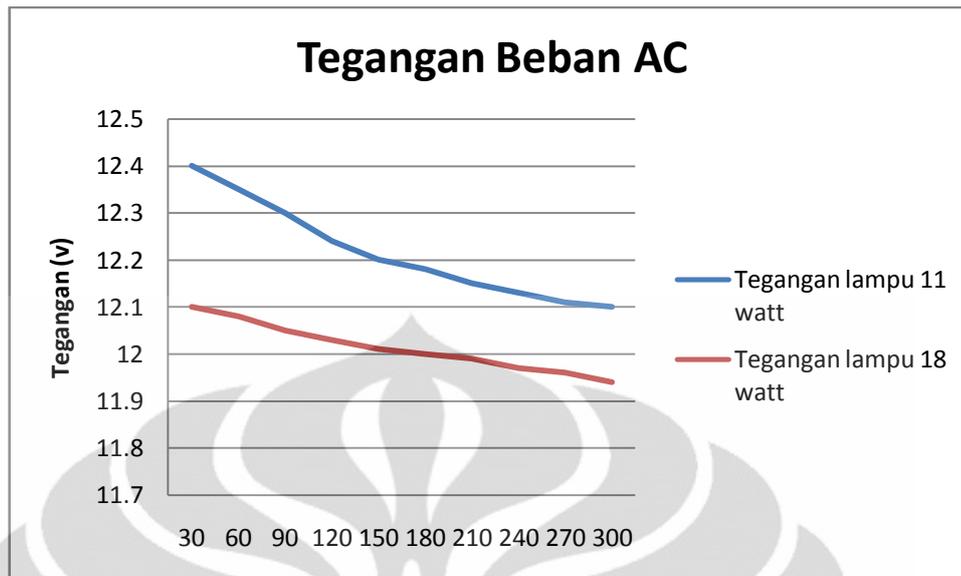
Pada pengujian ini, akumulator dihubungkan ke inverter kemudian ke beban listrik, yaitu lampu hemat energi. Data yang diperoleh dari pengujian ini adalah tegangan listrik akumulator dan arus listrik yang dicatutkan ke beban (lampu). Menurut hasil pengujian, dibuat grafik yang menunjukkan nilai arus yang dicatutkan ke lampu.



Gambar 4.7. Grafik arus pencatuan dari akumulator ke beban selama 5 menit

Gambar 4.8 menunjukkan grafik arus yang dicatu oleh akumulator ke setiap lampu selama 5 menit. Pada pengujian beban lampu 18 watt, arus listrik yang dicatukan cenderung tetap sekitar 0,8 A . Pada pengujian beban lampu 11 watt, arus listrik yang dihasilkan juga cenderung tetap dengan nilai sekitar 0,5 A. Hal ini menunjukkan bahwa arus listrik yang dicatu oleh akumulator ke beban bernilai tetap. Dari gambar 4.8 terlihat bahwa arus listrik yang dicatukan ke beban lampu 18 watt lebih besar daripada arus listrik yang dicatukan ke beban lampu 11 watt. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar daya listrik dari beban yang digunakan, semakin besar pula arus listrik yang dicatu oleh akumulator ke beban.

Besar tegangan akumulator untuk setiap beban lampu ditunjukkan oleh gambar 4.9.



Gambar 4. 8. Grafik Tegangan Akumulator untuk Menyuplai setiap Beban selama 5 Menit

Tegangan akumulator setelah dicatukan pada beban pada kedua lampu akan drop dan turun terus hingga akhir pengujian.. Dari gambar 4.9 terlihat bahwa semakin besar daya listrik dari beban yang digunakan, maka penurunan tegangan akumulator akan semakin cepat. Sementara itu konsumsi daya listrik sudah sesuai bila dibandingkan perhitungan, dengan rumus :  $P = V.I$

Maka untuk lampu 11 watt dengan arus 0,51A dan tegangan 220 V mengkonsumsi daya sebesar 11,2 watt begitu pula dengan lampu 18 watt dengan arus 0,8 dan tegangan 220 V mengkonsumsi daya sebesar 17,6 watt.

#### 4.3.3 Analisis Hasil Pengujian Pencatuan ke Beban Listrik Dengan Akumulator Terhubung oleh Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Pada pengujian ini, pembangkit listrik tenaga angin dihubungkan dengan akumulator. Kemudian akumulator dihubungkan ke inverter dan selanjutnya ke beban. Beban listrik yang digunakan adalah lampu 18watt.

Hasil pengujian untuk beban lampu 18 watt ditunjukkan oleh tabel 4.7.

**Tabel 4.10.** Hasil pengujian pencatuan akumulator ke beban lampu 18 watt pengujian diambil dengan kecepatan angin 6 m/s

Waktu (detik)	Arus ke Akumulator (mA)	Arus ke Inverter (ampere)	Tegangan Akumulator (volt)
30	24,3	0,9	12,49
60	24,6	0,89	12,48
90	24,7	0,88	12,46
120	24,9	0,9	12,47
150	24,1	0,9	12,09
180	24,6	0,9	12,06
210	24,6	0,89	11,9
240	24,1	0,87	12,18
270	24,7	0,9	12,11
300	24,5	0,9	12,09

Dari tabel 4.10, diperoleh hasil rata-rata untuk arus listrik yang mengalir ke akumulator sebesar 24,4 mA. Arus listrik rata-rata yang mengalir ke inverter sebesar 0,9 ampere. Tegangan akumulator rata-rata yang dihasilkan adalah 12,26 volt.

Potensi daya listrik yang dihasilkan dapat dihitung Menurut perhitungan, daya listrik yang dapat dihasilkan pada pengujian ini ditunjukkan oleh tabel 4.11.

**Tabel 4.11.** Daya listrik yang dihasilkan pada pengujian pencatuan ke beban lampu 18 watt

Waktu (detik)	Arus ke Akumulator (mA)	Tegangan Akumulator (volt)	Daya Listrik (watt)
30	24,3	12,49	0,303
60	24,6	12,48	0,307
90	24,7	12,46	0,307
120	24,9	12,47	0,31
150	24,1	12,09	0,291
180	24,6	12,06	0,296
210	24,6	11,9	0,292
240	24,1	12,18	0,293
270	24,7	12,11	0,299
300	24,5	12,09	0,296

Dari tabel 4.8, didapatkan hasil bahwa daya listrik maksimum dan minimum yang dihasilkan berturut-turut adalah 0,31 watt dan 0,291 watt. Sedangkan nilai daya listrik rata-rata yang dihasilkan adalah 0,3 watt. Energi listrik yang dihasilkan selama 5 menit pengujian dapat dihitung dengan persamaan 4.3. Menurut perhitungan, dengan mengasumsikan daya listrik rata-rata sebesar

0,3 watt, maka didapatkan besar energi listrik yang dihasilkan selama 5 menit pengujian pencatutan ke beban adalah 0,025 watt-jam.

#### 4.4 Analisis Kebutuhan Listrik Perumahan

Dari percobaan yang telah dilakukan dapat dilihat bahwa sistem pembangkit listrik tenaga angin ini dapat memenuhi beban beban berdaya rendah serta dapat digunakan sebagai back up listrik jika dibutuhkan. Selain itu keramahan lingkungan juga sebagai salah satu nilai tambah dari sistem pembangkit ini. Berikut akan dijelaskan penghematan yang terjadi dengan adanya sistem ini.

Berdasarkan survey yang dilakukan oleh Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia mengenai penggunaan beban listrik pada daerah rumah tangga, maka rata rata beban yang digunakan ialah sebagai berikut :

Tabel 4.12 Beban rumah tangga berdasarkan survey

Daya Terpasang	Penggunaan rata rata per-Hari	Penggunaan rata rata per-Bulan
900 VA	1,384 kWh	41,52 kWh
2200 VA	34,96 kWh	1048,8 kWh

Dengan Contoh Perhitungan biaya untuk tiap peralatan ialah sebagai berikut :

Contoh menghitung biaya pemakaian peralatan listrik rumah tangga, setelah mendapatkan harga per kWh dari rata rata pemakaian beban selama 1 bulan.



### Mesin Cuci

Mesin Cuci dengan daya 250 watt dipakai selama 1 jam menghasilkan 2 keranjang pakaian yang telah dicuci

$$\begin{aligned} \text{Pemakaian listrik :} \\ &= 250 \text{ watt} \times 1 \text{ jam} \times \text{Rp. } 681,- \\ &= 250 \text{ watt/jam} \times \text{Rp. } 681,- \\ &= \text{Rp. } 170,25/\text{hari} \end{aligned}$$



### Setrika Listrik

Setrika Listrik 150 watt dipakai selama 1 jam untuk menghasilkan pakaian yang rapi.

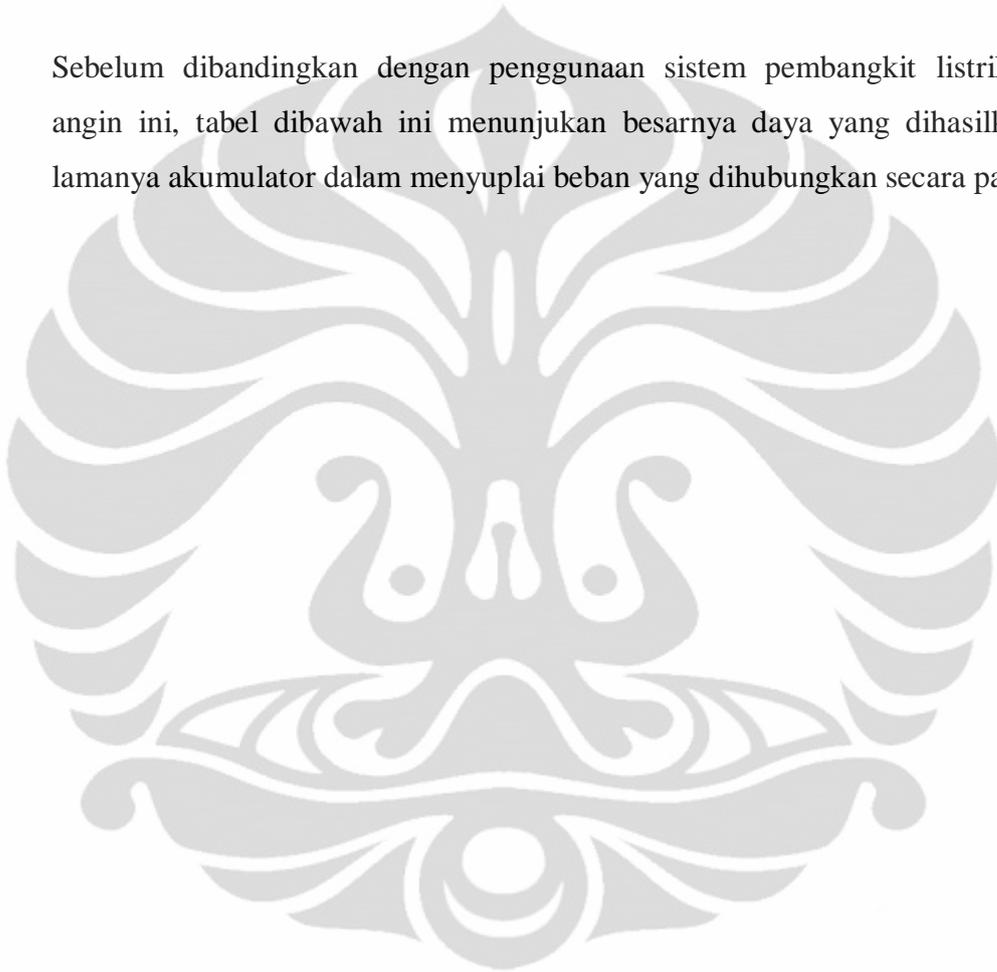
$$\begin{aligned} \text{Pemakaian Listrik :} \\ &= 150 \text{ watt} \times 1 \text{ jam} \times \text{Rp. } 681,- \\ &= 150 \text{ watt/jam} \times \text{Rp. } 681,- \\ &= \text{Rp. } 102,15 /\text{hari} \end{aligned}$$

Dari data survey diatas maka dapat dihitung biaya yang ditanggung tiap bulan perhitungan berdasarkan peraturan menteri ESDM no.7 tahun 2010:

- Untuk Rumah dengan daya 900VA	
1. Biaya Beban	= Rp. 20.000,-
2. Biaya Pemakaian Blok I (Rp.275/kWh)	= pemakaian < 20 kWh
	= 20kWh x Rp. 275,-
	= RP. 5.500,-
3. Biaya Pemakaian Blok II (Rp. 445/kWh)	= pemakaian 20 – 60 kWh
	= 21 kWh x Rp. 445,-
	= Rp. 9.345,-
<b>TOTAL</b>	<b>= Rp. 34.845,-</b>

- Untuk Rumah dengan daya 2200 VA  
Rata rata penggunaan beban rumah tangga berdasarkan survey ialah 1048,8 kWh, maka dengan tarif per kWh sebesar 795 rupiah, yang harus dibayarkan oleh pelanggan sebesar Rp. 833.796,-

Sebelum dibandingkan dengan penggunaan sistem pembangkit listrik tenaga angin ini, tabel dibawah ini menunjukkan besarnya daya yang dihasilkan serta lamanya akumulator dalam menyuplai beban yang dihubungkan secara paralel.



Teb1 4.13 Data Akumulator dan PLTB

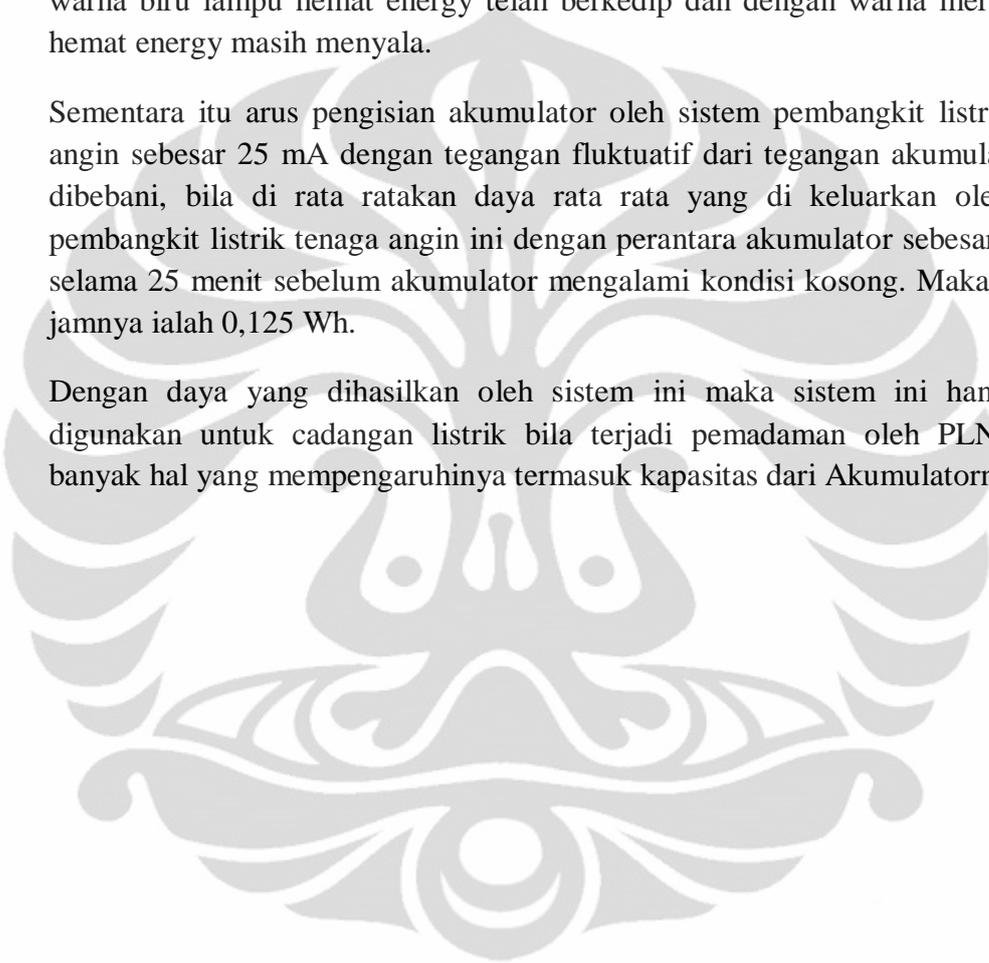
No.	Waktu (menit)	Tegangan keluaran pengendali (V)	Tegangan Akumulator (V)	Tegang an Radio (v)	Teganga n LED (v)	Tegaangan Lampu 18 watt (v)
1	1	21,8	12,5	5,41	5,41	220
2	2	21,7	12,3	5,49	5,49	220
3	3	21,8	12,2	5,43	5,43	220
4	4	21,7	12,1	5,41	5,41	220
5	5	21,8	12	5,44	5,44	220
6	6	21,6	11,9	5,41	5,41	220
7	7	21,8	11,8	5,49	5,49	220
8	8	21,7	11,6	5,43	5,43	220
9	9	21,7	11,4	5,41	5,41	220
10	10	21,8	11,2	5,44	5,49	220
11	11	21,6	11	5,41	5,43	220
12	12	21,8	10,7	5,49	5,41	220
13	13	21,8	10,6	5,43	5,44	220
14	14	21,7	10,5	5,41	5,41	220
15	15	21,7	10,2	5,44	5,49	220
16	16	21,6	10,18	5,41	5,43	< 220
17	17	21,8	10,13	5,49	5,41	< 220
18	18	21,7	10,12	5,43	5,44	< 220
19	19	21,7	10,02	5,41	5,41	< 220
20	20	21,8	10	5,44	5,49	< 220
21	21	21,6	9,998	5,41	5,43	< 220
22	22	21,8	9,8	5,49	5,41	< 220
23	23	21,8	9,7	5,43	5,49	< 220
24	24	21,7	9,8	5,41	5,43	< 220
25	25	21,7	9,5	5,44	5,41	< 220

Dengan penghubungan terhadap sistem pembangkit listrik tenaga angin. (beban yang digunakan ialah Radio, Lampu LED da lampu Hemat Energi 18 watt)

Dari tabel diatas dengan pengujian dengan angin yang dihembuskan sebesar 6 m/s secara konstan, tegangan yang diberikan generator selalu konstan namun bila dibebani dengan beban yang dihubungkan secara paralel tegangan akumulator turun sangat cepat hingga mengalami pengosongan pada menit ke 25, pada tabel warna biru lampu hemat energy telah berkedip dan dengan warna merah lampu hemat energy masih menyala.

Sementara itu arus pengisian akumulator oleh sistem pembangkit listrik tenaga angin sebesar 25 mA dengan tegangan fluktuatif dari tegangan akumulator yang dibebani, bila di rata ratakan daya rata rata yang di keluarkan oleh sistem pembangkit listrik tenaga angin ini dengan perantara akumulator sebesar 0,3 watt selama 25 menit sebelum akumulator mengalami kondisi kosong. Maka daya per jamnya ialah 0,125 Wh.

Dengan daya yang dihasilkan oleh sistem ini maka sistem ini hanya dapat digunakan untuk cadangan listrik bila terjadi pemadaman oleh PLN, namun banyak hal yang mempengaruhinya termasuk kapasitas dari Akumulatornya.



## BAB 5

### KESIMPULAN

1. Kecepatan Angin minimum yang tepat untuk Generator tipe axial pada turbin angin poros vertikal tipe savonius dapat menghasilkan listrik dan mengisi akumulator ialah 3 m/s Pengujian masih tidak dalam keadaan real lapangan masih menggunakan kipas eksternal untuk memutar turbin.
2. Pada saat pengisian akumulator, pembangkit listrik tenaga angin dengan turbin angin poros vertikal tipe savonius mampu menghasilkan tegangan listrik rata-rata sebesar 12,4 volt, arus listrik rata-rata sebesar 24 mA dalam waktu 30 menit, serta mampu mengisi akumulator dari keadaan kosong (10,2V) hingga hampir penuh (12,8V) selama 238 menit.
3. Pada pengujian pencatuan ke beban, akumulator yang tak dihubungkan dengan pembangkit listrik tenaga angin dengan turbin angin berporos vertikal tipe savonius dapat menyuplai peralatan listrik rumah tangga berdaya rendah seperti radio (0,8watt).
4. Pada pengujian pencatuan ke beban, akumulator yang tak dihubungkan dengan pembangkit listrik tenaga angin dengan turbin angin berporos vertikal tipe savonius untuk beban AC bergantung dari beban yang dikonsumsi, tegangan akumulator akan cepat habis bila daya semakin besar.
5. Pada pengujian pencatuan beban dengan menghubungkan antar beban dan akumulator mengalami pengisian oleh pembangkit listrik tenaga angin dengan turbin angin berporos vertikal tipe savonius daya rata rata yang dihasilkan sebesar 0,3 watt sebelum akhirnya akumulator tidak dapat menyuplai beban selama 25 menit.
6. Sistem pembangkit listrik tenaga angin dengan turbin angin berporos vertikal tipe savonius pada penelitian ini hanya mampu menghasilkan daya perjam sebesar 0,125 Wh, maka sistem ini hanya cocok digunakan untuk suplai cadangan bila listrik rumah tangga mengalami pemadaman.

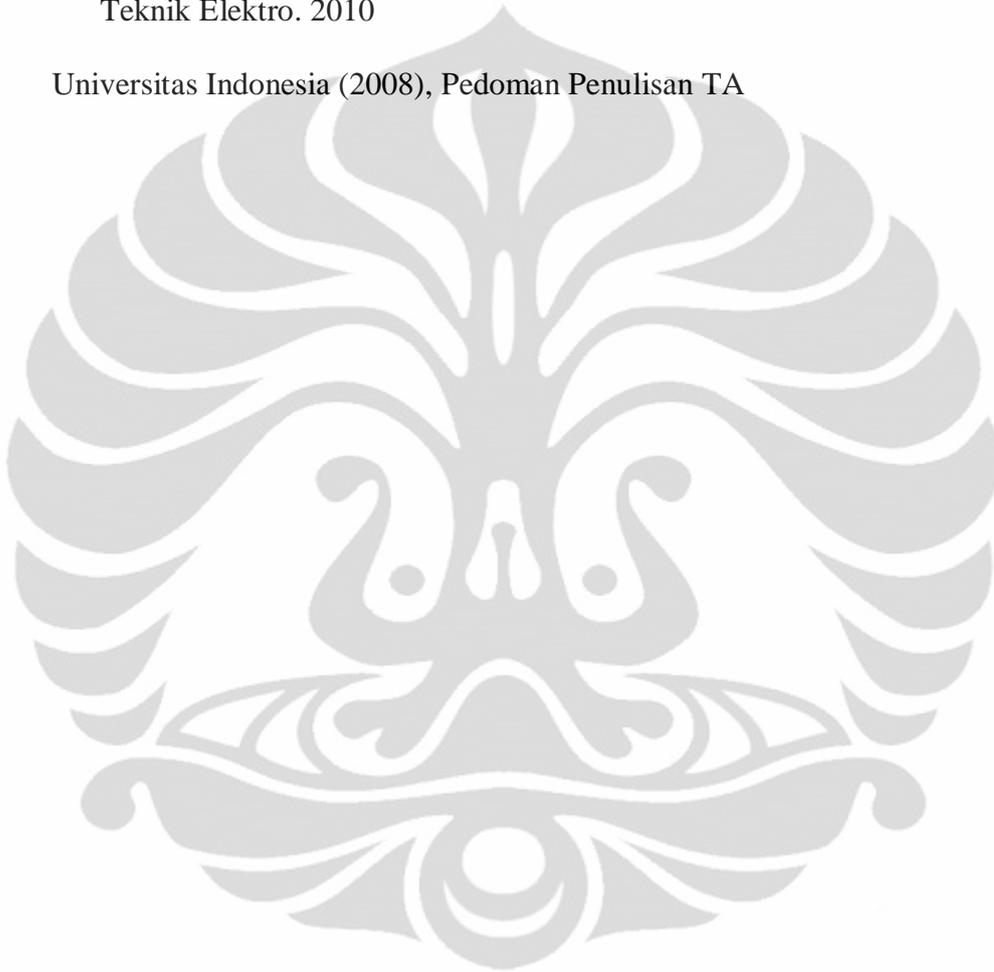
## DAFTAR ACUAN

- [1] Alamsyah, Hery., “Pemanfaatan Turbin Angin Dua Sudu sebagai Penggerak Mula Alternator pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin.” Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang, Semarang, 2007, hal. 28-33.
- [2] Puspitoningrum, Jatmiko., “Komparasi Kekuatan Penyimpanan Energi Listrik pada Akumulator Kering dan Basah pada Tegangan 12 Volt.” Tugas Akhir, Program Ahli Madya Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang, Semarang, 2006, hal. 6-25.
- [3] Bassam, N. El., Maegaard, P., “Integrated Renewable Energy for Rural Communities.” ( London : Elsevier ltd, 2004), hal. 8-11.
- [4] Atmojo, Andre Pasca, “Analisis Perbandingan Alternator Mobil dan Dinamo Starter Sebagai Pembangkit Pada Turbin Angin Kecepatan Rendah” Seminar,Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia. 2010
- [5] Aribowo, Agus, “Penelitian Karakteristik Aerodinamika Savonius Bersudu Banyak: Unit Uji LAPAN. 2006
- [6] Ginting Dines, “analisis Desain, Teknologi dan Prestasi Turbin Angin” Pusat Teknologi Dirgantara terapan, LAPAN 2007
- [7] Anwar Samsul, “analisis sistem Pengisian baterai nissan sunny” Tugas Akhir Universitas Negri Semarang, 2006
- [8] Daryanto.Y, “kajian potensi angin untuk pembangkit listrik tenaga bayu” Balai PPTAGG,2007

[9] Setiawan, Agus “ Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Pedal” Skripsi  
Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia, 2009

[10] Renatal, Novan Yahya, “ perancangan simulator turbin angin menggunakan  
penggerak mptpr DC dengan penyearah satu fasa” Seminar Departemen  
Teknik Elektro. 2010

Universitas Indonesia (2008), Pedoman Penulisan TA



## DAFTAR PUSTAKA

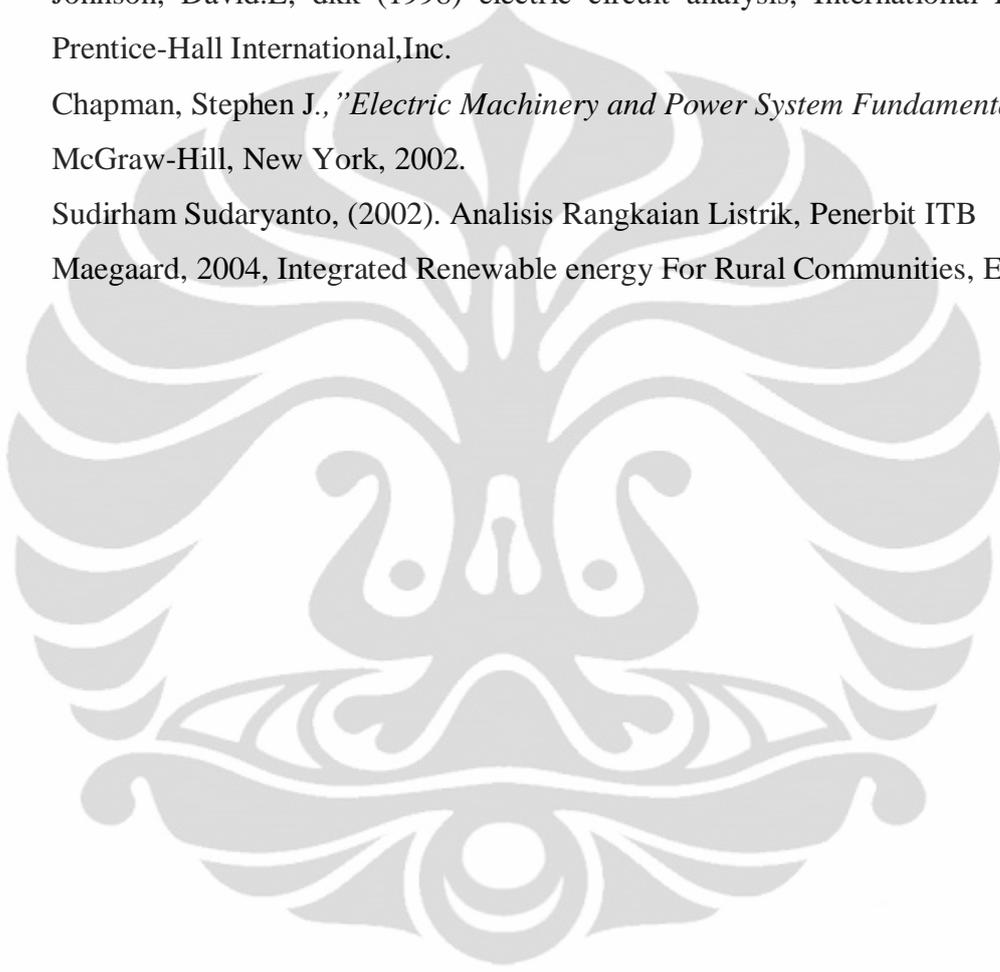
Muhammad H. Rashid. (1998). Power Electronics, 2th ed. New York: Prentice-Hall International, Inc.

Johnson, David.E, dkk (1998) electric circuit analysis, International Edition : Prentice-Hall International,Inc.

Chapman, Stephen J., "*Electric Machinery and Power System Fundamentals*", McGraw-Hill, New York, 2002.

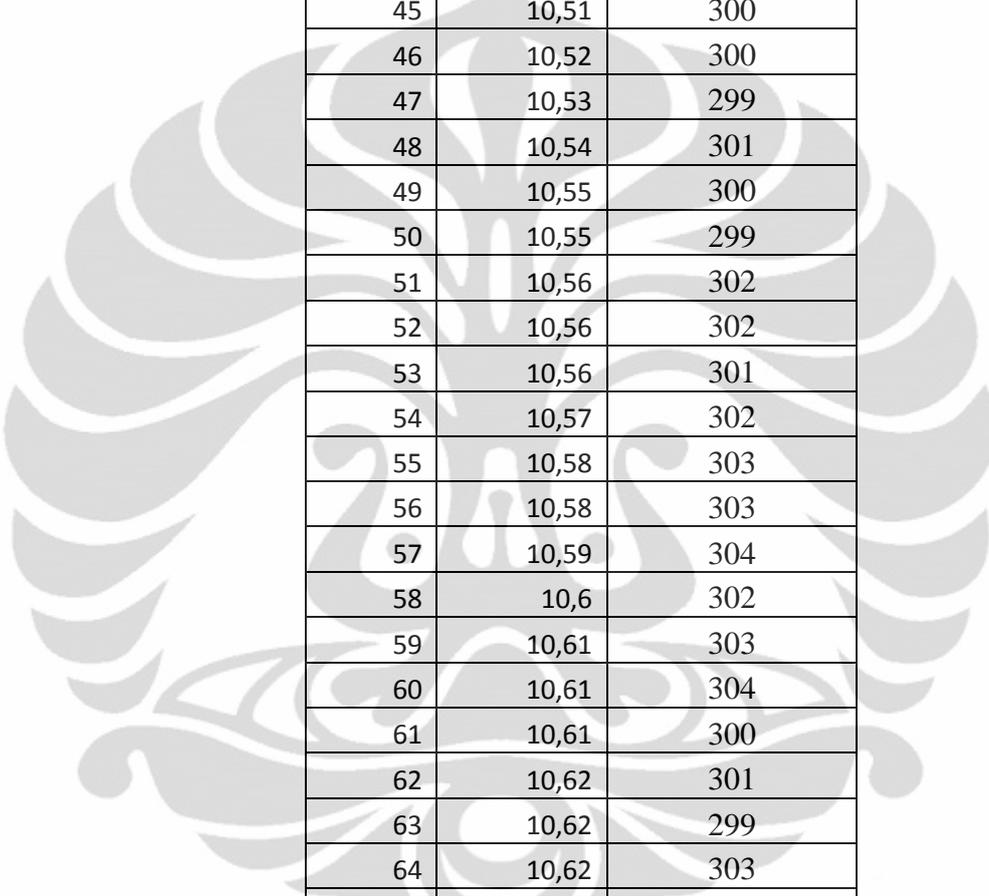
Sudirham Sudaryanto, (2002). Analisis Rangkaian Listrik, Penerbit ITB

Maegaard, 2004, Integrated Renewable energy For Rural Communities, Elsevier



## LAMPIRAN

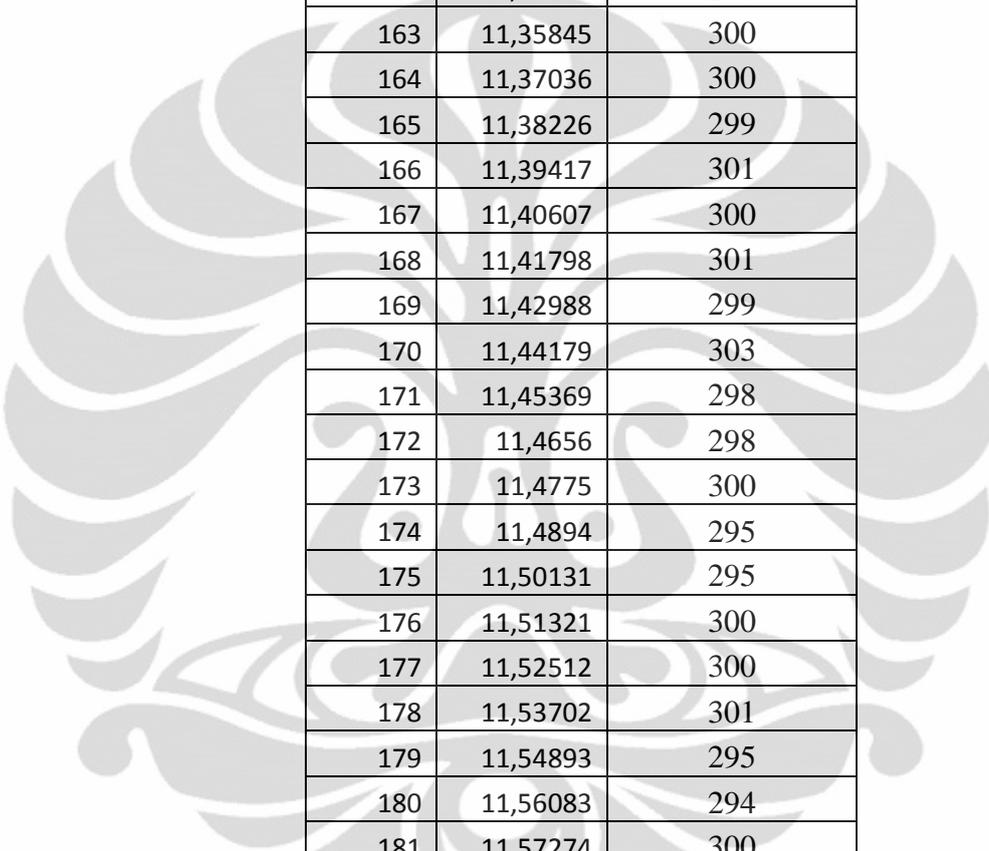
Waktu	Tegangan Akumulator	Kecepatan putar
1	10,2	300
2	10,21	301
3	10,21	299
4	10,22	303
5	10,23	298
6	10,24	298
7	10,25	300
8	10,25	295
9	10,25	295
10	10,25	300
11	10,26	300
12	10,26	301
13	10,27	295
14	10,28	294
15	10,29	300
16	10,3	300
17	10,31	299
18	10,31	301
19	10,32	300
20	10,32	299
21	10,34	302
22	10,34	302
23	10,35	301
24	10,35	302
25	10,36	303
26	10,36	303
27	10,37	304
28	10,38	302
29	10,39	303
30	10,4	304
31	10,41	300
32	10,41	301
33	10,42	299
34	10,42	303
35	10,43	298
36	10,44	298
37	10,45	300



38	10,45	295
39	10,46	295
40	10,47	300
41	10,48	300
42	10,49	301
43	10,5	295
44	10,51	294
45	10,51	300
46	10,52	300
47	10,53	299
48	10,54	301
49	10,55	300
50	10,55	299
51	10,56	302
52	10,56	302
53	10,56	301
54	10,57	302
55	10,58	303
56	10,58	303
57	10,59	304
58	10,6	302
59	10,61	303
60	10,61	304
61	10,61	300
62	10,62	301
63	10,62	299
64	10,62	303
65	10,63	298
66	10,63	298
67	10,63	300
68	10,64	295
69	10,65	295
70	10,66	300
71	10,67	300
72	10,68	301
73	10,68	295
74	10,69	294
75	10,69	300
76	10,69	300

77	10,69	299
78	10,7	301
79	10,71	300
80	10,71	299
81	10,71	302
82	10,72	302
83	10,72	301
84	10,72	302
85	10,73	303
86	10,74	303
87	10,74	304
88	10,75	302
89	10,75	303
90	10,76	304
91	10,77	300
92	10,78	301
93	10,79	299
94	10,79	303
95	10,79	298
96	10,8	298
97	10,8	300
98	10,81	295
99	10,81	295
100	10,82	300
101	10,82	300
102	10,83	301
103	10,83	295
104	10,84	294
105	10,85	300
106	10,86	300
107	10,87	299
108	10,88	301
109	10,88	300
110	10,89	299
111	10,89	302
112	10,9	300
113	10,9	301
114	10,9	299
115	10,9	303

116	10,91	298
117	10,92	298
118	10,93	300
119	10,93	295
120	10,93	295
121	10,94	300
122	10,94	300
123	10,94	301
124	10,94	295
125	10,95	294
126	10,95	300
127	10,95	300
128	10,96	299
129	10,96	301
130	10,97	300
131	10,98	299
132	10,98	302
133	10,98	302
134	10,99	300
135	10,99	301
136	10,99	299
137	10,99	303
138	11	298
139	11,11	298
140	11,11	300
141	11,11	295
142	11,12	295
143	11,12	300
144	11,12	300
145	11,13	301
146	11,15607	295
147	11,16798	294
148	11,17988	300
149	11,19179	300
150	11,20369	301
151	11,2156	299
152	11,2275	303
153	11,2394	298
154	11,25131	298



155	11,26321	300
156	11,27512	295
157	11,28702	295
158	11,29893	300
159	11,31083	300
160	11,32274	301
161	11,33464	295
162	11,34655	294
163	11,35845	300
164	11,37036	300
165	11,38226	299
166	11,39417	301
167	11,40607	300
168	11,41798	301
169	11,42988	299
170	11,44179	303
171	11,45369	298
172	11,4656	298
173	11,4775	300
174	11,4894	295
175	11,50131	295
176	11,51321	300
177	11,52512	300
178	11,53702	301
179	11,54893	295
180	11,56083	294
181	11,57274	300
182	11,58464	300
183	11,59655	299
184	11,60845	301
185	11,62036	300
186	11,63226	299
187	11,64417	302
188	11,65607	302
189	11,66798	301
190	11,67988	302
191	11,69179	303
192	11,70369	303
193	11,7156	304

194	11,7275	302
195	11,7394	300
196	11,75131	301
197	11,76321	299
198	11,77512	303
199	11,78702	298
200	11,79893	298
201	11,81083	300
202	11,82274	295
203	11,83464	295
204	11,84655	300
205	11,85845	300
206	11,87036	301
207	11,88226	295
208	11,89417	294
209	11,90607	300
210	11,91798	300
211	11,92988	299
212	11,94179	301
213	11,95369	300
214	11,9656	299
215	11,9775	302
216	11,9894	302
217	12,00131	301
218	12,01321	302
219	12,02512	303
220	12,03702	303
221	12,04893	304
222	12,06083	300
223	12,07274	301
224	12,08464	299
225	12,09655	303
226	12,10845	298
227	12,12036	298
228	12,13226	300
229	12,14417	295
230	12,15607	295
231	12,16798	300
232	12,17988	300

233	12,19179	301
234	12,20369	295
235	12,2156	294
236	12,2275	300
237	12,2394	300
238	12,25131	299
239	12,26321	301
240	12,27512	300
241	12,28702	299
242	12,29893	302
243	12,31083	300
244	12,32274	301
245	12,33464	299
246	12,34655	303
247	12,35845	298
248	12,37036	298
249	12,38226	300
250	12,39417	295
251	12,40607	295
252	12,41798	300
253	12,42988	300
254	12,44179	301
255	12,45369	295
256	12,4656	294
257	12,4775	300
258	12,4894	300
259	12,50131	299
260	12,51321	301
261	12,52512	300
262	12,53702	299
263	12,54893	300
264	12,56083	301
265	12,57274	299
266	12,58464	303
267	12,59655	298
268	12,60845	298
269	12,62036	300
270	12,63226	295
271	12,64417	295

272	12,65607	300
273	12,66798	300
274	12,67988	301
275	12,69179	295
276	12,70369	294
277	12,7156	300
278	12,7275	300
279	12,7394	299
280	12,75131	301
281	12,76321	300
282	12,77512	299
283	12,78702	302

