



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**DISAIN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PEDAL SEBAGAI  
SUMBER ENERGI ALTERNATIF DI DAERAH PEDESAAN**

**SKRIPSI**

AGUS SETIAWAN  
0405030052

FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
DEPOK  
DESEMBER 2009



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**DISAIN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PEDAL SEBAGAI  
SUMBER ENERGI ALTERNATIF DI DAERAH PEDESAAN**

**SKRIPSI**

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

AGUS SETIAWAN  
0405030052

FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
DEPOK  
DESEMBER 2009

**HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS**

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

**Nama : Agus Setiawan**

**NPM : 0405030052**

**Tanda Tangan :**




**Tanggal : 15 Desember 2009**

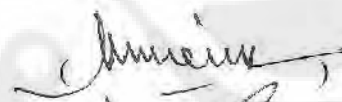
## HALAMAN PENGESAHAN


Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Agus Setiawan  
NPM : 0405030052  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Skripsi : Disain Pembangkit Listrik Tenaga Pedal sebagai  
Sumber Energi Alternatif di Daerah Pedesaan

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 : Aji Nur Widyanto, ST., MT. (  )

Penguji : Ir. Amien Rahardjo, MT. (  )

Penguji : Budi Sudiarto, ST., MT. (  )

Ditetapkan di : Kampus UI Depok

Tanggal : 30 Desember 2009

## KATA PENGANTAR

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) Aji Nur Widyanto, ST., MT. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Prof. Dr. Ir. Iwa Garniwa M.K., MT. yang telah menyediakan waktu, tenaga, pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini, serta membiayai peralatan yang digunakan pada skripsi ini;
- (3) pihak Laboratorium Tegangan Tinggi dan Pengukuran Listrik Departemen Teknik Elektro FTUI, Bapak Sudarman dan Bapak Asep yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang saya perlukan;
- (4) ayah dan ibu serta keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral;
- (6) rekan-rekan asisten LTTPL serta mahasiswa Departemen Teknik Elektro yang telah banyak mendukung saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 15 Desember 2009

Penulis



Agus Setiawan

NPM. 0405030052

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

---

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

Nama : Agus Setiawan  
NPM : 0405030052  
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:

**DISAIN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PEDAL SEBAGAI SUMBER  
ENERGI ALTERNATIF DI DAERAH PEDESAAN**

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 Desember 2009

Yang menyatakan



(Agus Setiawan)

## ABSTRAK

Nama : Agus Setiawan  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul : Disain Pembangkit Listrik Tenaga Pedal sebagai Sumber Energi Alternatif di Daerah Pedesaan  
Pembimbing : Aji Nur Widyanto, ST., MT.

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 manusia. Energi manusia dapat dimanfaatkan pada pembangkit listrik tenaga pedal. Pembangkit listrik tenaga pedal merupakan suatu metode untuk membangkitkan energi listrik dengan cara memodifikasi sepeda biasa atau sepeda statis yang dihubungkan ke alternator, kemudian energi listrik yang dihasilkan oleh alternator disimpan dalam elemen penyimpan energi listrik (baterai). 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 daya listrik yang rendah. Dari pengujian yang dilakukan, diperoleh hasil bahwa pembangkit listrik tenaga pedal mampu mencatu beberapa peralatan listrik yang memiliki daya listrik yang kecil. Daya listrik rata-rata yang dihasilkan pada saat pengisian akumulator adalah 17,5 watt. Dari perhitungan yang dilakukan, waktu yang dibutuhkan untuk mengayuh sepeda untuk mengisi ulang akumulator untuk menyuplai kebutuhan energi listrik harian sebesar 219 wattjam adalah 19,43 jam. Menurut perhitungan, besar energi total yang harus dikonsumsi untuk mengayuh sepeda selama 19,43 jam dengan kecepatan rata-rata 1,1134 m/s adalah 1256,88784 kkal.

**Kata kunci** : Krisis energi, energi manusia, tenaga pedal, energi listrik, alternator, akumulator.

## ABSTRACT

Name : Agus Setiawan  
Study Program : Teknik Elektro  
Title : Design of Pedal Power Plant as an Energy Alternative for Rural Area  
Supervisor : Aji Nur Widyanto, ST., MT.

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 human energy. Human energy can be used on pedal power. Pedal power is a method for generating electrical energy by modifying the ordinary bicycle or an exercise bike connected to the alternator, and electric energy generated by the alternator is stored in electrical energy storage element (battery). Electrical energy stored in batteries is used to power some household electrical appliances such as lights, television, radio, and some electrical equipment that has low electrical power. From the testing conducted, the results show that pedal power can supply some electrical equipment that has small electric power. Average electric power produced at the time of charging the accumulator is 17,5 watts. From the calculations performed, the time required to pedal to recharge the accumulator to supply the daily electricity needs of 219 watthours is 19,43 hours. According to calculations, the amount of energy must be consumed to pedal for 19,43 hours with an average speed of 1,1134 m/s is 1256,88784 kcal.

**Key words :** energy crisis, human energy, pedal power, electrical energy, alternator, accumulator.



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH .....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiii
<b>1. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Tujuan Penulisan .....	2
1.3. Pembatasan Masalah .....	2
1.4. Metodologi Penulisan.....	3
1.5. Sistematika Penulisan.....	3
<b>2. DASAR TEORI .....</b>	<b>4</b>
2.1. Prinsip Pembangkitan Energi Listrik.....	4
2.1.1. Induksi Elektromagnet.....	4
2.1.2. Gaya Gerak Listrik .....	4
2.1.3. Prinsip Generator.....	5
2.2. Alternator.....	6
2.2.1. Magnet Berputar di dalam Kumputan .....	6
2.2.2. Kumputan Menghasilkan Elektromagnet .....	7
2.2.3. Arus Bolak-balik Tiga Fase .....	8
2.2.4. Penyearahan.....	10
2.2.5. Pengatur Tegangan.....	11
2.2.6. Konstruksi Alternator .....	13
2.3. Akumulator .....	16
2.3.1. Pengertian Akumulator .....	16
2.3.2. Tipe Akumulator .....	17
2.3.4. Proses Elektrokimia Akumulator.....	20
2.3.4.1. Pembangkitan Arus.....	20
2.3.4.2. Proses Pengisian Elektrokimia .....	20
2.3.4.3. Proses Pengaliran Arus pada Beban .....	23
2.3.5. Kapasitas Akumulator.....	23
2.3.6. Konstruksi Akumulator.....	24
2.3.7. Prinsip Kerja Akumulator .....	25
2.4. Inverter .....	26
2.4.1. Pengertian Inverter .....	26
2.4.2. Jenis Gelombang Inverter.....	26
2.4.3. Prinsip Kerja Inverter .....	27
2.5. Gambaran Umum Listrik Pedesaan.....	29
2.6. Jumlah Energi yang Dibutuhkan saat Bersepeda .....	30

<b>3. PERANCANGAN DAN PENGUJIAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PEDAL.....</b>	<b>33</b>
3.1. Pembangkit Listrik Tenaga Pedal .....	33
3.2. Konfigurasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Pedal .....	33
3.3. Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Pedal .....	35
3.3.1. Perencanaan Sepeda .....	35
3.3.2. Perancangan Sistem Hubungan Roda Sepeda dengan Alternator .....	35
3.3.3. Perencanaan Alternator .....	37
3.3.4. Perencanaan Pengatur Tegangan .....	38
3.3.5. Perencanaan Akumulator .....	39
3.3.6. Perencanaan Inverter .....	40
3.4. Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Pedal .....	41
3.4.1. Objek Pengujian .....	41
3.4.2. Peralatan Pengujian .....	41
3.4.3. Rangkaian Pengujian .....	44
3.4.3.1. Pengujian Karakteristik Output Alternator .....	44
3.4.3.2. Pengujian Pengisian Akumulator .....	44
3.4.3.3. Pengujian Pencatuan ke Beban Listrik .....	45
3.5. Prosedur Pengujian.....	46
3.5.1. Pengujian Karakteristik Output Alternator .....	46
3.5.2. Pengujian Pengisian Akumulator .....	46
3.5.3. Pengujian Pencatuan ke Beban Listrik .....	47
<b>4. HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS HASIL PENGUJIAN .....</b>	<b>48</b>
4.1. Analisis Hasil Pengujian Karakteristik Output Alternator .....	48
4.2. Analisis Hasil Pengujian Pengisian Akumulator .....	53
4.3. Analisis Hasil Pengujian Pencatuan ke Beban Listrik.....	58
4.3.1. Analisis Hasil Pengujian Pencatuan ke Beban Listrik dengan Akumulator Terlepas dari Pembangkit Listrik Tenaga Pedal.....	58
4.3.2. Analisis Hasil Pengujian Pencatuan ke Beban Listrik dengan Akumulator Terhubung dengan Pembangkit Listrik Tenaga Pedal	61
4.4. Energi yang Dibutuhkan untuk Mengayuh Pedal Sepeda pada Pembangkit Listrik Tenaga Pedal.....	66
4.5. Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Pedal untuk Memenuhi Kebutuhan Listrik Rumah Tangga di Pedesaan.....	66
<b>5. KESIMPULAN.....</b>	<b>68</b>
<b>DAFTAR ACUAN .....</b>	<b>69</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>71</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>72</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Kondisi Tingkat Pengisian Akumulator 12 Volt .....	22
Tabel 2.2. Kategori Kebutuhan Listrik Harian Rumah Tangga di Pedesaan ....	30
Tabel 4.1. Hasil Pengujian Tegangan dan Arus Listrik Output Alternator.....	48
Tabel 4.2. Hasil Perhitungan Arus Listrik yang Dihasilkan oleh Alternator ....	51
Tabel 4.3. Hasil Perhitungan Daya listrik yang Dihasilkan oleh Alternator .....	52
Tabel 4.4. Hasil Pengujian Pengisian Akumulator selama 30 Menit .....	53
Tabel 4.5. Hasil Pengujian Pencatuan Akumulator ke Beban Lampu 5 Watt ...	61
Tabel 4.6. Hasil Perhitungan Daya listrik yang Dihasilkan pada Pengujian Pencatuan ke Beban Lampu 5 Watt .....	61
Tabel 4.7. Hasil Pengujian Pencatuan Akumulator ke Beban Lampu 14 Watt .	62
Tabel 4.8. Hasil Perhitungan Daya Listrik yang Dihasilkan pada Pengujian Pencatuan ke Beban Lampu 14 Watt .....	63
Tabel 4.9. Hasil Pengujian Pencatuan Akumulator ke Beban Lampu 23 Watt .	64
Tabel 4.10. Hasil Perhitungan Daya Listrik yang Dihasilkan pada Pengujian Pencatuan ke Beban Lampu 23 Watt .....	64

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Induksi Elektromagnet.....	4
Gambar 2.2.	Hukum Tangan Kanan Fleming.....	5
Gambar 2.3.	Prinsip Generator 1 .....	5
Gambar 2.4.	Prinsip Generator 2.....	6
Gambar 2.5.	Magnet berputar di dalam kumparan.....	7
Gambar 2.6.	Kumparan Menghasilkan Elektromagnet .....	8
Gambar 2.7.	Gelombang Sinus Pembangkitan Arus Bolak-balik Satu Fase....	9
Gambar 2.8.	Pembangkitan Arus Bolak-balik Tiga Fase .....	9
Gambar 2.9.	Gelombang Sinus Pembangkitan Arus Bolak-balik Tiga Fase..	10
Gambar 2.10.	Penyearahan dengan Diode pada Alternator Mobil.....	10
Gambar 2.11.	Grafik Arus Penyearahan dengan Diode pada Alternator Mobil	11
Gambar 2.12.	Arah Arus pada Kumparan sampai ke Diode .....	11
Gambar 2.13.	Rangkaian Pengatur Tegangan .....	13
Gambar 2.14.	Bagian-bagian Utama Alternator .....	14
Gambar 2.15.	Rotor .....	14
Gambar 2.16.	Stator.....	15
Gambar 2.17.	Konstruksi Dasar dari Sel Akumulator.....	18
Gambar 2.18.	Konstruksi Akumulator .....	25
Gambar 2.19.	Prinsip Kerja Inverter .....	27
Gambar 2.20.	(a) Rangkaian Inverter Half Bridge.....	28
Gambar 2.20.	(b) Bentuk Gelombang Inverter Half Bridge.....	28
Gambar 2.21.	(a) Rangkaian Inverter Full Bridge.....	29
Gambar 2.21.	(b) Bentuk Gelombang Inverter Full Bridge .....	29
Gambar 3.1.	Blok Diagram Pembangkit Listrik Tenaga Pedal .....	34
Gambar 3.2.	Sepeda Statis.....	35
Gambar 3.3.	Hubungan Roda yang Dihubungkan dengan Sabuk.....	36
Gambar 3.4.	Alternator.....	38
Gambar 3.5.	Pengatur Tegangan .....	39
Gambar 3.6.	Akumulator 12V – 3,5Ah .....	40
Gambar 3.7.	Inverter 300 watt.....	40
Gambar 3.8.	Multimeter Digital Fluke model 72.....	42
Gambar 3.9.	Multimeter Digital Kyoritsu model 2001 .....	42
Gambar 3.10.	Multimeter Digital Sanwa .....	42
Gambar 3.11.	Tachometer Digital Yew model 3631 .....	43
Gambar 3.12.	Osiloskop.....	43
Gambar 3.13.	Motor Listrik Variabel .....	44
Gambar 3.14.	Rangkaian Pengujian Karakteristik Output Alternator.....	44
Gambar 3.15.	Rangkaian Pengujian Pengisian Akumulator .....	45
Gambar 3.16.	Rangkaian Pengujian Pencatuan ke Beban Listrik dengan Akumulator Terlepas dari Pembangkit Listrik Tenaga Pedal ....	45
Gambar 3.17.	Rangkaian Pengujian Pencatuan ke Beban Listrik dengan Menghubungkan Akumulator dengan Pembangkit Listrik Tenaga Pedal.....	46
Gambar 4.1.	Grafik Hubungan antara Tegangan Output Alternator terhadap Kecepatan Putar Alternator.....	49

Gambar 4.2.	Bentuk Gelombang Output Alternator.....	49
Gambar 4.3.	Grafik Hubungan antara Arus Listrik Output Alternator terhadap Kecepatan Putar Alternator.....	50
Gambar 4.4.	Grafik Hubungan antara Daya Listrik yang Dihasilkan oleh Alternator terhadap Kecepatan Putar Alternator .....	53
Gambar 4.5.	Grafik Tegangan Pengisian Akumulator selama 30 Menit.....	55
Gambar 4.6.	Grafik Arus Listrik Pengisian Akumulator selama 30 Menit ....	56
Gambar 4.7.	Grafik Kecepatan Putar Alternator selama 30 Menit Pengisian Akumulator.....	57
Gambar 4.8.	Grafik Arus Pencatuan dari Akumulator ke Beban selama 5 Menit.....	59
Gambar 4.9.	Grafik Tegangan Akumulator untuk Menyuplai setiap Beban selama 5 Menit .....	59

## DAFTAR LAMPIRAN

1. Data Pencatuan Akumulator ke Beban Lampu 23 Watt
2. Data Pencatuan Akumulator ke Beban Lampu 14 Watt
3. Data Pencatuan Akumulator ke Beban Lampu 5 Watt
4. Perhitungan Kecepatan Putar Pedal Sepeda
5. Perhitungan Jumlah Energi yang Dikeluarkan pada Saat Mengayuh Pedal dan Energi yang Harus Dikonsumsi



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Energi listrik merupakan energi yang sangat penting bagi kehidupan manusia baik untuk kegiatan industri, kegiatan komersial maupun dalam kehidupan rumah tangga sehari-hari. Energi listrik dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan penerangan dan juga proses produksi yang melibatkan barang-barang elektronik dan mesin industri. Mengingat begitu besar dan pentingnya manfaat energi listrik sedangkan sumber energi pembangkit listrik terutama yang berasal dari sumber daya tak terbarui keberadaannya terbatas, maka untuk menjaga kelestarian sumber energi ini perlu diupayakan langkah-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 pemutusan sementara dan pembagian energi listrik secara bergilir merupakan dampak dari terbatasnya energi listrik yang dapat disalurkan oleh PLN. Hal ini terjadi karena laju pertumbuhan sumber energi baru dan pengadaan pembangkit tenaga listrik tidak sebanding dengan peningkatan konsumsi listrik.

Upaya menambah pembangkit sebenarnya telah dilakukan pemerintah. Namun membutuhkan proses yang lama dan anggaran yang besar. Apalagi saat ini PLN sedang mengalami kerugian dan menanggung utang 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 manusia. Energi manusia dapat dimanfaatkan pada pembangkit listrik tenaga pedal. Pembangkit listrik tenaga pedal merupakan suatu metode untuk membangkitkan energi listrik dengan cara memodifikasi sepeda biasa atau sepeda statis yang dihubungkan ke alternator, kemudian energi listrik yang dihasilkan oleh alternator disimpan dalam elemen penyimpan energi listrik (baterai). 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 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.

Pembangkit listrik tenaga pedal ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik di daerah pedesaan. Hal ini disebabkan oleh banyaknya wilayah pedesaan di Indonesia yang mengalami kekurangan pasokan energi listrik dari PLN dan kebutuhan listrik masyarakat pedesaan juga tidak terlalu besar bila dibandingkan dengan kebutuhan listrik masyarakat perkotaan.

### **1.2. Tujuan Penulisan**

Tujuan dari penulisan skripsi ini secara umum adalah untuk membahas perancangan serta pembuatan pembangkit listrik tenaga pedal untuk memenuhi sebagian kebutuhan listrik rumah tangga sebagai salah satu upaya mengatasi krisis energi, terutama di daerah pedesaan.

### **1.3. Pembatasan Masalah**

Masalah yang akan dibahas pada skripsi ini adalah perancangan serta pembuatan pembangkit listrik tenaga pedal untuk menghasilkan tegangan keluaran alternator yang cukup untuk mengisi ulang baterai (akumulator). Kemudian energi listrik yang disimpan dalam baterai dapat dimanfaatkan untuk menyalakan beberapa peralatan listrik rumah tangga. Pada skripsi ini juga dibahas berapa waktu yang dibutuhkan untuk mengisi akumulator sampai penuh dan waktu pengosongan akumulator saat menyuplai listrik ke beban listrik. Selain itu, skripsi ini juga membahas daya listrik yang dapat dibangkitkan oleh pembangkit listrik tenaga pedal. Kemudian pada skripsi ini juga dibahas besar energi yang dibutuhkan untuk mengayuh pedal pada pembangkit listrik tenaga pedal.



#### **1.4. Metodologi Penulisan**

Metode penulisan skripsi ini diawali dengan studi literatur mengenai komponen yang dibutuhkan untuk merancang dan membuat pembangkit listrik tenaga pedal. Kemudian tahap selanjutnya adalah perancangan dan pembuatan pembangkit listrik tenaga pedal. Setelah alat selesai dibuat, dilakukan pengujian terhadap pembangkit listrik tenaga pedal. Kemudian penulis menganalisis hasil pengujian yang dilakukan terhadap pembangkit listrik tenaga pedal.

#### **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 pembangkitan listrik, pengertian dan prinsip kerja alternator, pengertian dan prinsip kerja baterai, dan pengertian serta prinsip kerja inverter, serta gambaran umum listrik di wilayah pedesaan. Pada bab ini juga dibahas mengenai besar energi yang dikeluarkan dan yang harus dikonsumsi pada saat mengayuh pedal sepeda. Bab tiga membahas mengenai perancangan dan pengujian pembangkit listrik tenaga pedal. Bab empat membahas mengenai hasil dan analisis pengujian terhadap pembangkit listrik tenaga pedal. Bab lima merupakan kesimpulan dari skripsi ini.

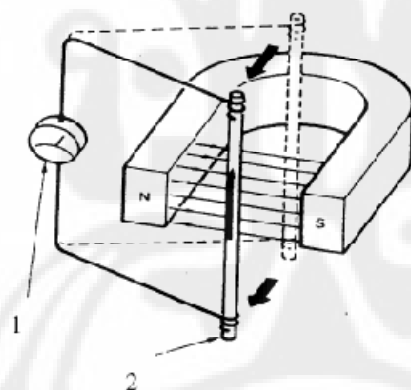
## BAB 2

### DASAR TEORI

#### 2.1. Prinsip Pembangkitan Energi Listrik [1]

##### 2.1.1. Induksi Elektromagnet

Induksi elektromagnet terjadi apabila sebuah penghantar bergerak melintas garis-garis gaya magnet, maka pada penghantar tersebut akan mengalir arus listrik, apabila dipasang sebuah galvanometer 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.



Keterangan:

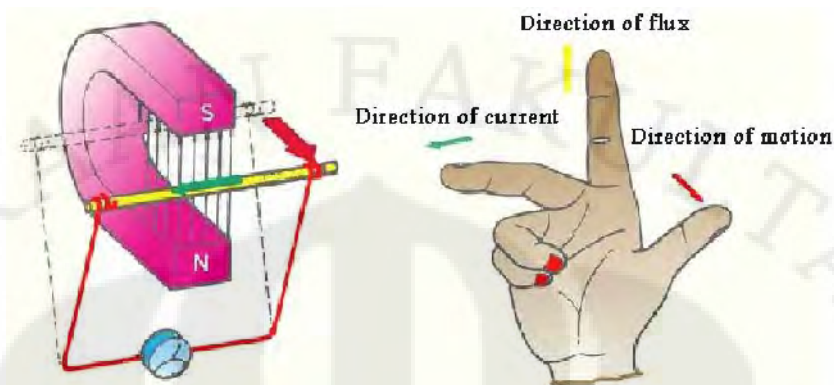
1. Galvanometer
2. Konduktor

Gambar 2.1. Induksi Elektromagnet

##### 2.1.2. 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 akan menunjukkan arah gerakan penghantar dan jari tengah menunjukkan arah gaya gerak listrik.

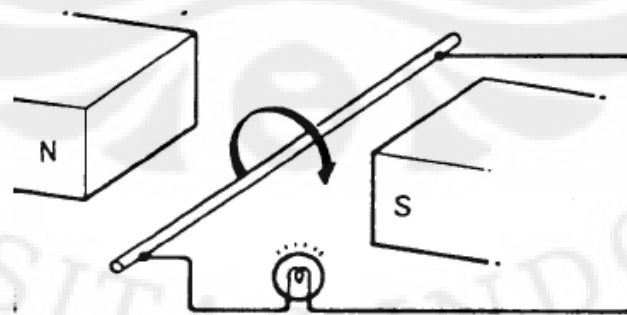


Gambar 2.2. Hukum Tangan Kanan *Fleming*

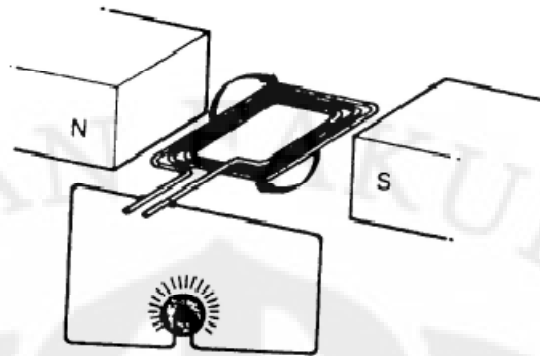
Besarnya gaya gerak listrik yang dibangkitkan pada saat penghantar memotong garis gaya magnet diantara medan magnet sebanding dengan banyaknya garis gaya magnet yang dipotong pada suatu satuan waktu dan gaya gerak listrik dalam satuan volt.

### 2.1.3. 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 2.3. Prinsip Generator 1



Gambar 2.4. 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.

## 2.2. Alternator

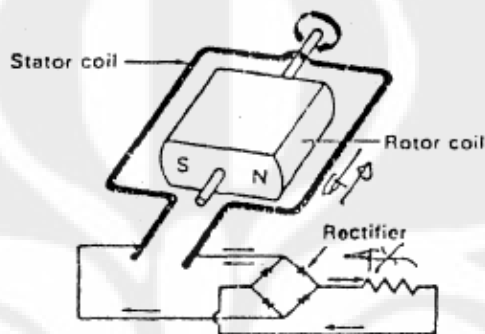
### 2.2.1. Magnet berputar di dalam kumparan

Arus listrik dibangkitkan dalam kumparan pada saat kumparan diputar dalam medan magnet. Jenis arus listrik yang dibangkitkan adalah arus bolak-balik yang arah alirannya secara konstan berubah-ubah dan untuk merubahnya menjadi arus searah, diperlukan sebuah komutator dan brush (sikat-sikat). ini adalah untuk menarik arus searah yang dibangkitkan pada setiap stator coil. Armatur dengan komutator dapat diputar di dalam kumparan. Akan tetapi, konstruksi armatur akan menjadi rumit dan tidak dapat diputar pada kecepatan tinggi. Kerugian yang lainnya adalah bahwa arus mengalir melalui komutator dan sikat (brush), maka keausan akan cepat terjadi karena adanya lompatan api.

Mendapatkan arus searah dapat dilakukan dengan menyearahkan arus bolak-balik yang dihasilkan oleh stator coil tetap sebelum dijadikan output dengan menggunakan *rectifier*, atau dengan cara mengganti putaran stator coil dengan

memutar magnet dalam kumparan. Semakin besar volume listrik yang dibangkitkan di dalam kumparan, maka kumparan semakin panas dikarenakan aliran arus. Oleh karena itu, pendinginan akan menjadi lebih baik kalau stator coil ditempatkan di luar dengan rotor coil berputar di dalamnya.

Untuk tujuan itulah maka alternator mobil menggunakan kumparan pembangkit (stator coil) dengan magnet (rotor coil) di dalamnya (perhatikan Gambar 2.5).

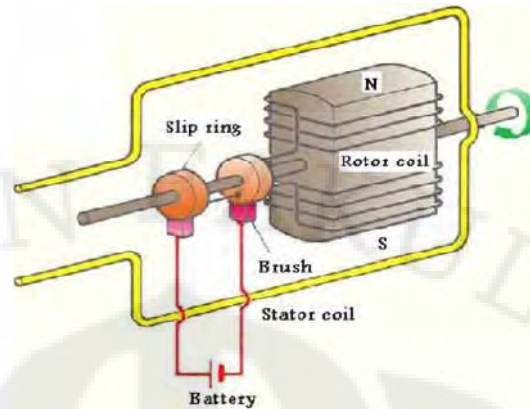


Gambar 2.5. Magnet Berputar di dalam Kumparan

### 2.2.2. Kumparan menghasilkan elektromagnet

Biasanya, komponen - komponen kelistrikan mobil menggunakan tegangan listrik 12 atau 24 volt dan alternator untuk sistem pengisian harus menghasilkan tegangan tersebut. Listrik dibangkitkan pada saat magnet diputar di dalam kumparan dan besarnya tergantung pada kecepatan putaran magnet. Jadi, melalui proses induksi elektromagnet, semakin cepat kumparan memotong garis-garis gaya magnet semakin besar kumparan membangkitkan gaya gerak listrik. Selanjutnya dapat kita lihat bahwa tegangan berubah-ubah tergantung pada kecepatan putaran magnet.

Untuk memperoleh tegangan yang tetap, maka diperlukan putaran magnet yang tetap, ini tidak mungkin dipertahankan karena mesin akan berputar dengan kecepatan yang tidak tetap sesuai dengan kondisi pengemudian. Untuk mengatasi kesulitan ini, sebagai pengganti magnet permanen maka dipakai elektromagnet untuk mempertahankan tegangan supaya tetap (Gambar 2.6). Garis gaya magnet elektromagnet berubah-ubah sesuai dengan putaran alternator.

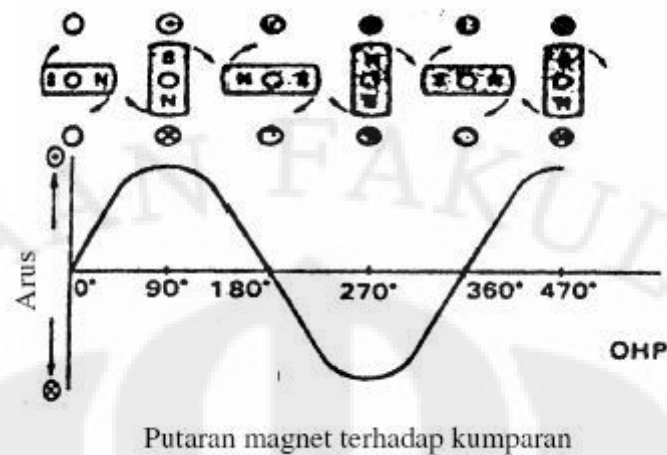


Gambar 2.6. Kumparan Menghasilkan Elektromagnet

Elektromagnet mempunyai inti besi dengan kumparan dililitkan disekelilingnya. Pada saat arus mengalir melalui kumparan, inti besi akan menjadi magnet. Besarnya magnet yang dibangkitkan tergantung besarnya arus yang mengalir melalui kumparan, jadi pada saat alternator berputar dengan kecepatan rendah arusnya naik, sebaliknya jika alternator berputar dengan kecepatan tinggi arusnya menurun. Arus yang mengalir melalui elektromagnet diberikan oleh baterai dan besarnya diatur oleh *voltage regulator*. Karena dalam ini, maka alternator akan mengalirkan tegangan yang tetap meskipun putaran mesin berubah-ubah.

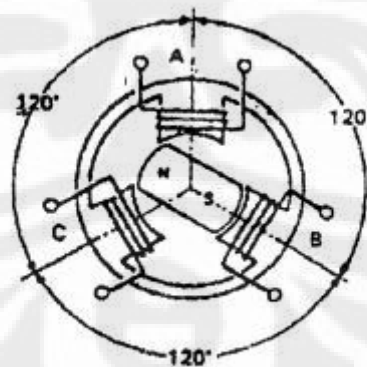
### 2.2.3. Arus bolak-balik tiga fasa

Pada saat magnet berputar di dalam kumparan akan timbul tegangan diantara kedua ujung kumparan, ini akan memberikan kenaikan pada arus bolak-balik. Hubungan antara arus yang dibangkitkan dalam kumparan dengan posisi magnet adalah seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7. Arus tertinggi akan bangkit pada saat kutub N dan S mencapai jarak yang terdekat dengan kumparan. Bagaimanapun, setiap setengah putaran arus akan mengalir dengan arah yang berlawanan. Arus yang membentuk gelombang sinus dengan cara ini disebut arus bolak-balik satu fasa. Perubahan 360 pada grafik berlaku untuk satu siklus dan banyaknya perubahan yang terjadi pada setiap detik disebut dengan frekuensi.

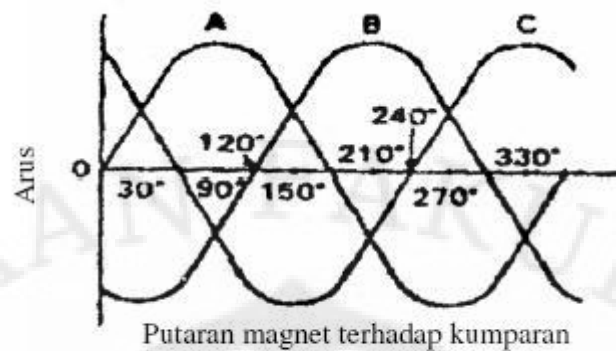


Gambar 2.7. Gelombang Sinus Pembangkitan Arus Bolak-balik Satu Fasa

Untuk membangkitkan listrik dengan lebih efisien, alternator mobil menggunakan tiga kumparan yang dirangkai seperti terlihat pada gambar 2.8. Masing-masing kumparan A, B, dan C berjarak  $120^\circ$ . Pada saat magnet berputar diantara mereka, akan timbul arus bolak-balik pada masing-masing kumparan. Gambar 2.9 menunjukkan hubungan antara ketiga arus bolak-balik dengan magnet. Listrik yang mempunyai tiga arus bolak-balik seperti ini disebut arus bolak-balik tiga fasa. Alternator mobil membangkitkan arus bolak-balik tiga fasa.



Gambar 2.8. Pembangkitan Arus Bolak-balik Tiga Fasa



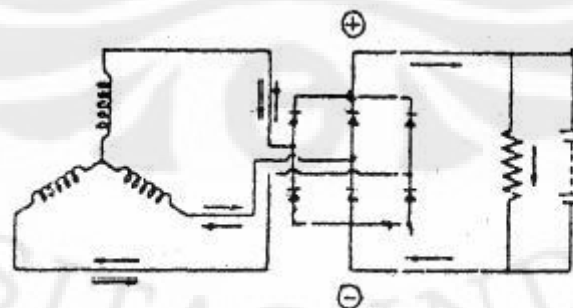
Gambar 2.9. Gelombang Sinus Pembangkitan Arus Bolak-balik Tiga Fasa

#### 2.2.4. Penyearahan

Bagian-bagian kelistrikan mobil membutuhkan arus searah untuk kerjanya dan baterai memerlukan arus searah untuk pengisian. Alternator menghasilkan arus bolak-balik tiga fasa tetapi sistem pengisian tidak dapat menggunakannya kecuali jika dirubah menjadi arus searah.

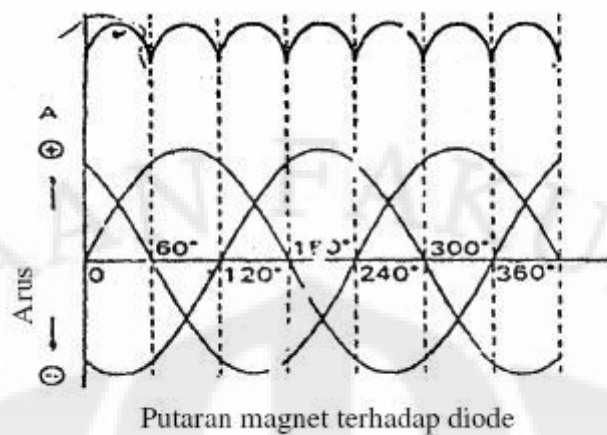
Merubah arus bolak-balik menjadi arus searah disebut penyearahan. Penyearahan dapat dilakukan dengan beberapa cara tetapi alternator mobil menggunakan dioda yang sederhana dan efektif.

Dioda memungkinkan arus hanya mengalir pada satu arah. Seperti terlihat pada gambar, jika dipergunakan enam buah dioda, arus bolak-balik tiga fasa tersebut dirubah menjadi arus searah dengan jalan penyearahan gelombang penuh. Karena alternator mobil menggunakan dioda yang dipasang di dalam. Maka output listriknya adalah searah (perhatikan Gambar 2.10 dan Gambar 2.11).



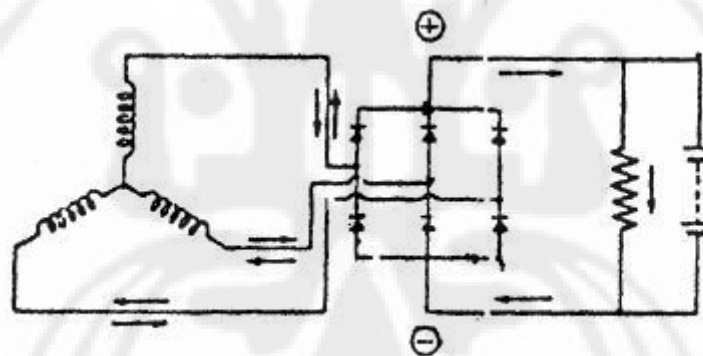
Gambar 2.10. Penyearahan dengan Dioda pada Alternator Mobil





Gambar 2.11. Grafik Arus Penyearahan dengan Dioda pada Alternator Mobil

Dapat kita lihat bahwa arus dan masing-masing kumparan sampai ke dioda terus-menerus berubah arah pada ketiga lead wire sehingga arah arus dan dioda tidak berubah tetapi membentuk sirkuit dengan polaritas yang tidak berubah-ubah (Perhatikan Gambar 2.12).



Gambar 2. 12. Arah Arus pada Kumparan sampai ke Dioda

### 2.2.5. Pengatur Tegangan

Tegangan yang dihasilkan oleh alternator bervariasi tergantung pada kecepatan putaran alternator dan banyaknya beban (arus output) alternator. Putaran mesin yang terus berubah-ubah, demikian juga putaran alternator, selanjutnya beban (lampu-lampu, *wiper*, *hiter*, dan lain-lain) selalu berubah-ubah mempengaruhi kondisi pengisian baterai. Oleh karena itu, agar alternator dapat memberikan tegangan standar yang tetap perlu dilakukan pengaturan tegangan

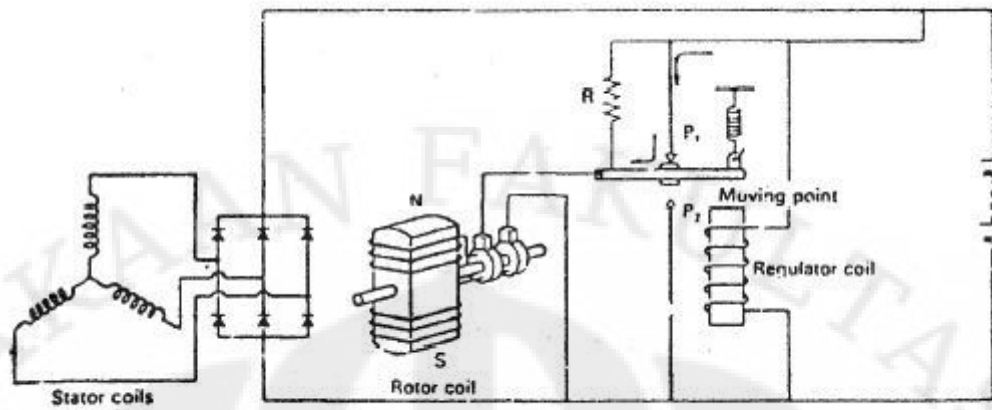
dengan regulator dan untuk tujuan itu maka sistem pengisian pada mobil menggunakan *voltage regulator* (generator regulator) bersama-sama dengan alternator.

Regulator mengalirkan arus ke elektromagnet (rotor coil) yang menghasilkan garis gaya magnet yang diperlukan untuk ketiga kumparan (stator coil) alternator untuk membangkitkan arus bolak-balik tiga fasa. Karena elektromagnet mempunyai inti besi yang dililit kumparan, inti besi akan menjadi magnet dan membangkitkan garis gaya magnet pada saat dialiri arus. Banyaknya garis gaya magnet sebanding dengan besarnya arus yang dilarkan pada kumparan disekeliling inti besi. Dengan kata lain, alternator dapat menghasilkan tegangan yang tetap dengan jalan mengalirkan arus yang besar ke rotor coil (*field coil*) pada saat alternator berputar lambat atau berbeban berat dan mengurangi arus pada saat alternator berputar cepat atau berbeban ringan.

Regulator mengatur pengaliran arus ke rotor coil dengan menarik dan membebaskan titik kontak sesuai dengan tegangan yang diberikan ke regulator coil. Pada saat alternator berputar dengan rpm rendah dan tegangan stator coil lebih rendah dari tegangan baterai, titik kontak yang bergerak akan berhubungan dengan P1 sehingga arus dari baterai akan mengalir ke rotor coil melalui P1.

Dalam hal lain, jika alternator berputar dengan rpm tinggi, tegangan pada stator coil naik melebihi tegangan baterai, tegangan ini dialirkan ke regulator coil sehingga oleh kekuatan tarikan yang lebih besar maka P1 akan terputus.

Pada saat titik kontak bergerak menjauhi P1 arus yang ke rotor coil melalui resistor R dan intensitasnya menurun. Jika arus yang mengalir ke rotor coil berkurang, maka tegangan yang dibangkitkan pada stator coil berkurang dan ini akan mengakibatkan gaya tarik pada kumparan menurun sehingga lengan titik kontak akan kembali dan berhubungan dengan P1. Hal ini akan menaikkan arus yang mengalir pada rotor coil dan kemudian titik kontak akan terputus lagi dan P1. Bila alternator berputar dengan kecepatan yang lebih tinggi, tegangan yang dibangkitkan oleh stator coil akan naik memperkuat gaya tarik pada regulator coil sehingga menghubungkan titik kontak berhubungan dengan P2. Akibatnya, arus yang melalui resistor akan mengalir ke P2 dan tidak ke rotor coil.

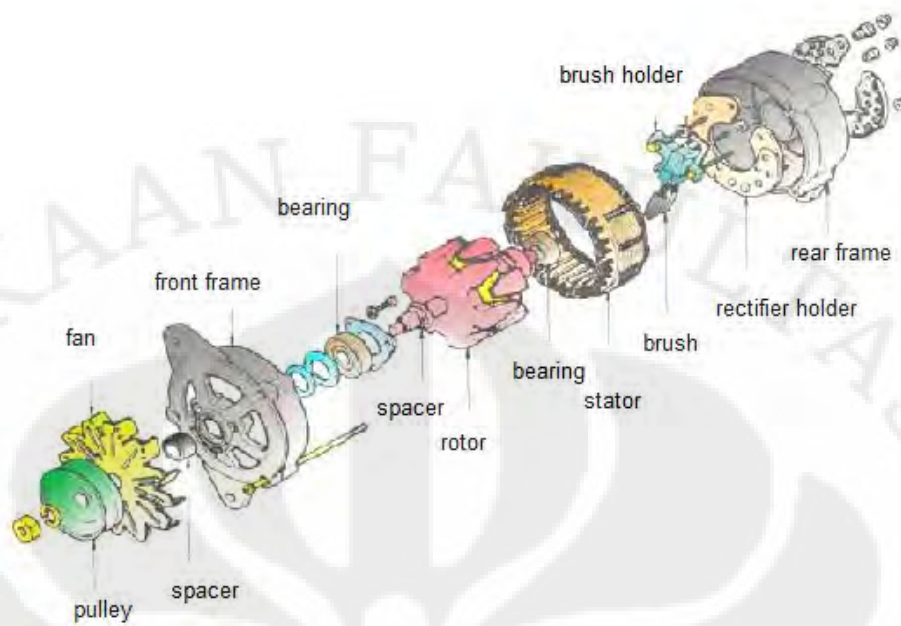


Gambar 2.13. Rangkaian Pengatur Tegangan

Pada saat tidak ada arus yang mengalir ke rotor coil, stator tidak ada arus yang mengalir ke rotor coil, stator tidak dapat membangkitkan gaya gerak listrik sehingga tegangan alternator turun dan hubungan titik kontak P2 terputus. Sekali lagi tegangan alternator akan naik dan lengan kontak akan tertarik, dengan kata lain pada saat alternator berputar dengan kecepatan rendah lengan kontak akan menaikkan dan menurunkan arus yang mengalir ke rotor coil dengan berhubungan dan memutuskan hubungannya dan P2. Pada saat alternator berputar dengan kecepatan tinggi, arus akan dialirkan secara terputus-putus ke rotor coil tergantung apakah lengan kontak berhubungan atau putus dengan P2.

#### 2.2.6. Konstruksi Alternator

Alternator berfungsi untuk merubah energi mekanik dan mesin menjadi energi listrik. Energi mekanik dan mesin diterima melalui sebuah puli yang memutar rotor dan membangkitkan arus bolak-balik pada stator. Arus bolak-balik ini diubah menjadi arus searah oleh dioda. Bagian-bagian utama dan alternator adalah rotor yang membangkitkan elektromagnetik. stator yang membangkitkan arus listrik dan dioda yang menyearahkan arus. Sebagai tambahan, terdapat pula *brush* yang mengalirkan arus ke rotor coil untuk memperhalus putaran rotor dan *fan* untuk mendinginkan rotor, stator serta dioda. Semua bagian tersebut dipegang oleh *front* dan *rear frame*.



Gambar 2.14. Bagian-bagian utama alternator

#### a. Rotor

Rotor terdiri dari kutub-kutub magnet sebanyak 12 kutub magnet, inti kumparan medan dan slip ring, bagian-bagian ini padat bersambungan pada sumbu rotor, kumparan medan dihubungkan kepada slip ring dimana brush dapat bergerak, ketika arus mengalir melalui kumparan lewat sikat dan slip ring, kutub-kutub magnet dimagnetkan dan akibatnya ada lapangan magnet disekitar rotor. Ketegangan lapangan magnet dapat diatur dengan memberikan arus kepada kumparan medan.



Gambar 2.15. Rotor

#### b. Stator

Stator mempunyai tiga fasa gulungan yang diisolasi kepada stator, gulungan-gulungan itu dihubungkan satu sama lain dengan bermacam-macam cara. Gulungan stator adalah hubungan bintang (hubungan Y). Tipe ini

disimbolkan sesuai bagan di bawah ini yang juga menunjukkan bagaimana gulungan stator dihubungkan kepada penyearah.



Gambar 2.16. Stator

Gulungan stator dapat juga dihubungkan dengan "hubungan delta" (hubungan D). Gulungan rotor (rotor kumparan medan) dimana satu hubungannya melalui terminal F lewat slip ring dan sikat, dan ujung lain dihubungkan ke badan melalui sikat dan slip ring. Beberapa alternator dilengkapi dengan suatu *field rectifier*, alternator itu dihubungkan ke kumparan medan yang didatangkan dan stator winding. Ujung-ujung kumparan medan dihubungkan ke terminal F dan A. Stator ditempatkan antara kedua braket bantalan dengan baut pengikat dan rectifier dipasangkan pada braket bantalan ujung.

Arus yang diinduksi di dalam kumparan stator ketika magnet berputar disebut arus bolak-balik 3 fasa, ketiga fasa gulungan itu ditempatkan agar supaya fasa itu  $120^\circ$  berhubungan satu dengan yang lainnya. Dengan demikian hasil tegangan dan arus lebih banyak, kurva tegangan diatas garis nol (+) menunjukkan tegangan yang memberikan arus pada satu arah dan kurva tegangan dibawah garis nol (-) memberikan arus pada arah yang berlawanan. Setelah penyearah kurva tegangan terletak diatas garis nol dan keadaan ini arah tegangan lebih rata yang dihasilkan dan arus bolak-balik. Tegangan yang disearahkan itu digunakan pada terminal positif (+) dan negatif (-).

#### c. Dioda

Pada dioda *holder*, terdapat tiga buah dioda positif dan tiga buah dioda negatif. Arus yang dibangkitkan oleh alternator dialirkan dan dioda holder pada sisi positif sehingga terisolasi dan end frame. Selama proses penyearahan, dioda akan menjadi panas sehingga dioda holder bekerja meradiasikan panas ini dan mencegah dioda menjadi terlalu panas.

#### d. Puli

Dengan adanya puli rasio meningkat sekitar 2,5 %, sehingga penggunaan puli dapat memberikan efisiensi kecepatan tinggi yang lebih baik.

#### e. *Bearing*

Setiap kecepatan putaran dari rotor tidaklah stabil, dengan adanya perubahan kecepatan membuat putaran rotor menjadi kasar. Fungsi *bearing* dalam hal ini untuk memperhalus putaran rotor sehingga rotor lebih tahan lama digunakan.

#### f. *Voltage Regulator*

Dengan berubah-ubahnya kecepatan alternator, output tegangan pun ikut berubah. Sehingga *voltage regulator* berfungsi untuk menstabilkan tegangan alternator agar memenuhi tegangan standard untuk melakukan pengisian di akumulator.

#### g. *Fan*

*Fan* (kipas angin) digunakan sebagai pendingin bagian-bagian dalam alternator seperti rotor, stator, dan dioda serta komponen lainnya. Sehingga alternator tetap dalam kondisi aman meskipun kecepatan tinggi yang membuat suhu alternator meningkat.

#### h. *Front & Rear Frame*

Fungsi dari *front* dan *rear frame* adalah sebagai kerangka luar yang memegang bagian-bagian dalam alternator, selain itu juga mempunyai saluran udara untuk meningkatkan efisiensi pendinginan.

### 2.3. Akumulator

#### 2.3.1. Pengertian Akumulator [2]

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 *starter*, 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 melewatkan 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.

### 2.3.2. Tipe Akumulator

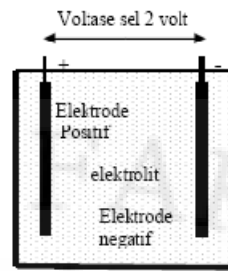
Akumulator dibedakan menjadi dua jenis, yaitu akumulator basah dan akumulator kering. [2]

#### 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 elektode positif terdiri dari *timah peroxida* ( $PbO_2$ ) berwarna coklat gelap, ketika bahan aktif dalam elektroda 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.



Gambar 2.17. Konstruksi Dasar dari Sel Akumulator

#### 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.

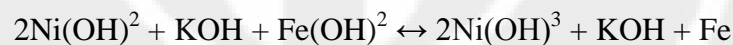


#### 2. Akumulator Kering

Selain akumulator basah ada juga suatu akumulator baik menurut konstruksinya maupun susunan bahan-bahan kimianya termasuk dalam golongan



kuat dan baik, akumulator ini dinamakan akumulator kering.. Adapun cairan elektrolitnya terdiri dari cairan *kalilook* dengan air murni 20% atau berat jenis 1,2 kg/liter. Akumulator kering ini juga sering disebut akumulator *NIFE*. Ini berasal dari rumus kimia dari pelat-pelat positif dan negatif. Dalam keadaan kosong belum diisi masa aktif yang terdapat dalam pelat positif terdiri dari  $Ni(OH)_2$  atau *hydroxid nikel* dan pada pelat negatif berisi  $Fe(OH)_2$  *hydroxid besi*. Sewaktu diisi, aliran pengisi mengalir dari pelat positif ke pelat negatif dan oleh karenanya maka  $Ni(OH)_2$  ini ditambah dengan zat asam, maka akan berubah menjadi  $Ni(OH)_3$ , sedangkan  $Fe(OH)_2$  karena dikurangi zat asamnya berubah menjadi *Fe* (besi dalam bentuk bunga karang) sehingga diperoleh rumus kimia sebagai berikut:



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  $1,16^\circ$  *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 ( $H_2SO_4$ ) 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 ( $O_2$ ) dan zat air ( $H_2$ ) 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 ( $K_2CO_3$ ) yang dapat merusak pelat.

#### **2.3.4. Proses Elektrokimia Akumulator**

##### **2.3.4.1. 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]

##### **2.3.4.2. 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. [2]

Ada tiga metode pengisian baterai : [3]

- a. Pengisian perawatan (*maintenance charging*) digunakan untuk mengimbangi kehilangan isi (*self discharge*), dilakukan dengan arus rendah sebesar  $1/1000$  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  $1/10$  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 :

$$T_a = \frac{C}{I} \quad (2.1)$$

Dimana :

Ta = Lamanya pengisian arus (jam)

C = Besarnya kapasitas akumulator (Ah / Ampere-hour)

I = Besarnya arus pengisian ke akumulator (Ampere)

Tabel 2.1. Kondisi tingkat pengisian akumulator 12 volt [4]

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
10%	11.31	1.89
0	10.5	1.75

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 12,7 V. Tegangan output turun dengan cepat sampai 12,5 V ketika terdapat beban. Pada saat baterai menyediakan arus yang konstan selama operasi, tegangan baterai berkurang secara linear dari 12,5 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.

### 2.3.4.3. Proses Pengaliran Arus pada Beban

Apabila dua terminal sel timah penyimpanan 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 penyimpanan juga telah mencapai tingkat energi sempurna. [2]

### 2.3.5. Kapasitas Akumulator

Kapasitas baterai atau akumulator adalah jumlah ampere jam ( $Ah = \text{kuat arus/Ampere} \times \text{waktu/hour}$ ), artinya baterai dapat memberikan atau menyuplai sejumlah isinya secara rata-rata sebelum tiap selnya menyentuh tegangan 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 : [3]

- 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

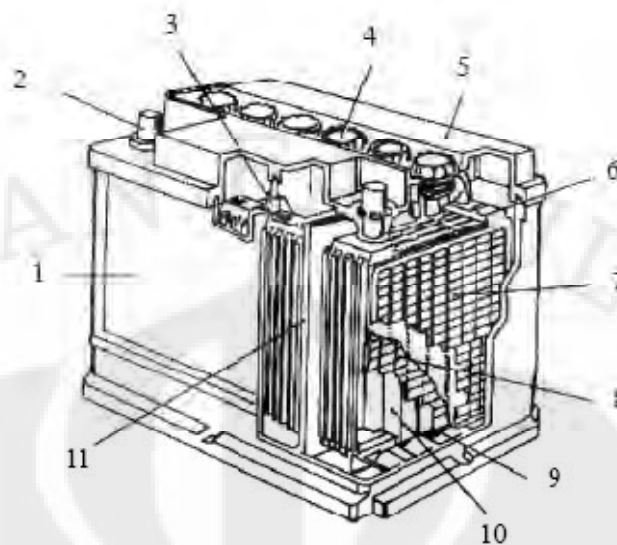
Makin rendah temperatur (makin dingin) maka makin kecil kapasitas baterai saat digunakan karena reaksi kimia pada suhu yang rendah makin lambat tidak peduli apakah arus yang digunakan tinggi ataupun rendah. Kapasitas baterai biasanya diukur pada suhu tertentu, biasanya 25 derajat Celcius.

- 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 12V-75Ah 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.

### 2.3.6. 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. [2]



Gambar 2.18. 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.

### 2.3.7. Prinsip Kerja Akumulator [2]

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.

## **2.4. Inverter**

### **2.4.1. 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. [5]

### **2.4.2. 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

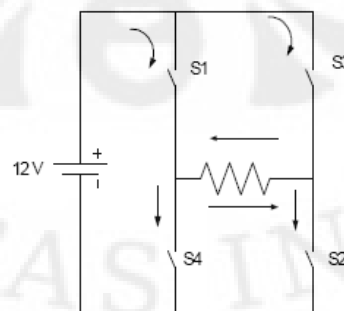
Bentuk gelombang inverter jenis ini merupakan pilihan masyarakat karena inverter dengan gelombang ini lebih ekonomis dan penggunaannya lebih fleksibel, antara lain peralatan listrik rumah tangga, komputer, dan lain-lain. Namun, bentuk gelombang ini tidak cocok bila digunakan pada alat-alat listrik dengan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

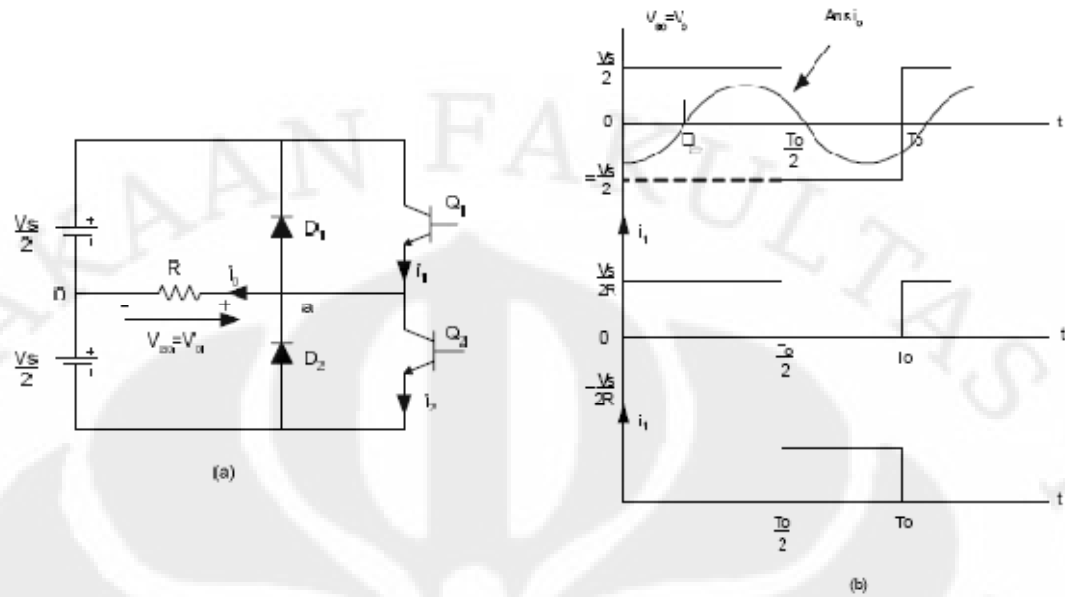
### 2.4.3. Prinsip Kerja Inverter [5]

Prinsip kerja inverter dapat dijelaskan dengan menggunakan rangkaian 4 sakelar seperti ditunjukkan pada Gambar 2.19. 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 sakelar S3 dan S4, maka akan mengalir arus DC ke beban R dari arah kanan ke kiri.



Gambar 2.19. Prinsip Kerja Inverter

### a. Half Bridge Inverter

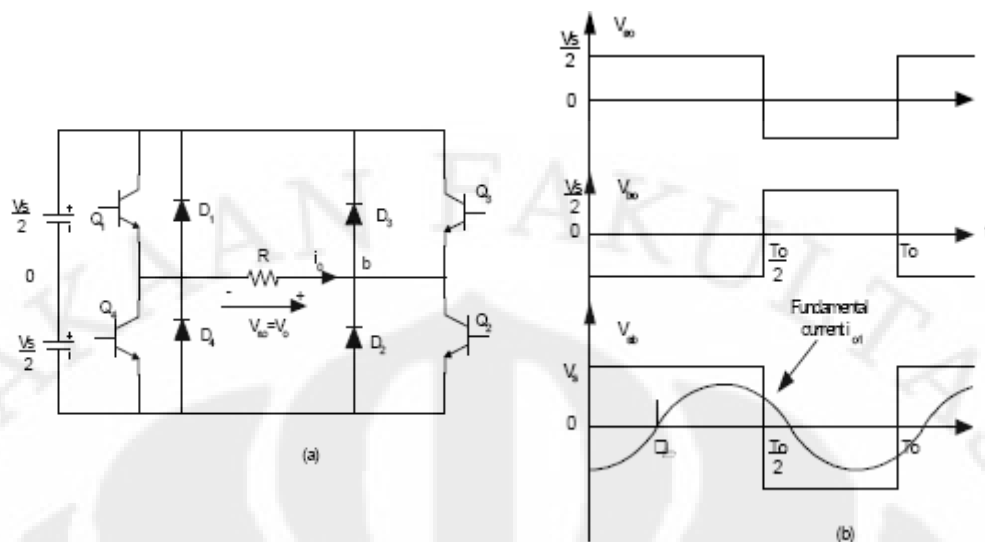


Gambar 2.20. (a) Rangkaian Inverter Half Bridge, (b) Bentuk Gelombang Inverter Half Bridge

Prinsip kerja dari inverter satu fasa dapat dijelaskan dengan gambar 2.20(a). Ketika transistor Q1 yang hidup untuk waktu  $T_o/2$ , tegangan pada beban  $V_o$  sebesar  $V_s/2$ . Jika transistor Q2 hanya hidup untuk  $T_o/2$ ,  $V_s/2$  akan melewati beban. Q1 dan Q2 dirancang untuk bekerja saling bergantian. Bentuk gelombang untuk tegangan output dan arus transistor dengan beban resistif ditunjukkan oleh gambar 2.20(b).

### b. Full Bridge Inverter

Rangkaian inverter gelombang penuh ditunjukkan oleh gambar 2.21(a). Ketika transistor Q1 dan Q2 bekerja (ON), tegangan  $V_s$  akan mengalir ke beban tetapi Q3 dan Q4 tidak bekerja (OFF). Selanjutnya, transistor Q3 dan Q4 bekerja (ON) sedangkan Q1 dan Q2 tidak bekerja (OFF), maka pada beban akan timbul tegangan  $-V_s$ . Bentuk gelombang untuk tegangan output dan arus transistor dengan beban resistif ditunjukkan oleh ditunjukkan oleh gambar 2.21(b).



Gambar 2.21. (a) Rangkaian Inverter Full Bridge, (b) Bentuk Gelombang Inverter Full Bridge

## 2.5. Gambaran Umum Listrik Pedesaan

Secara umum, banyak wilayah pedesaan di Indonesia yang belum terjangkau oleh listrik PLN. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor seperti kondisi sosial, ekonomis, teknis, dan geografis. Oleh karena itu, dituntut kemandirian dari masyarakat desa untuk membuat pembangkit listrik alternatif dan tidak hanya bergantung kepada pemerintah atau PLN.

Pada umumnya, beban listrik yang terdapat di wilayah pedesaan adalah:

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

Kebutuhan listrik di daerah pedesaan dapat dibagi menjadi 3 kategori, yaitu:

1. Kebutuhan dasar
2. Kebutuhan berlebih
3. Kebutuhan normal

Kebutuhan listrik harian dari ketiga kategori tersebut ditunjukkan oleh tabel 2.2. Karena mahalnya biaya pembangkitan listrik, maka sangat penting untuk memilih peralatan listrik yang akan digunakan.

Tabel 2.2. Kategori kebutuhan listrik harian rumah tangga di pedesaan [6]

Peralatan Listrik	Kebutuhan Dasar	Kebutuhan Berlebih	Kebutuhan Normal
Lampu	3 x 11w x 3h	4 x 15 w x 4h	4 x 15w x 4h
TV/Radio	30 w x 4h	30 w x 5h	60 w x 5h
Kulkas		10 w x 24 h	30 w x 24 h
Lainnya	100 wh	300 wh	1500

## 2.6. Jumlah Energi yang Dibutuhkan saat Bersepeda

### 1. Jalan Datar

Untuk menghitung jumlah kalori yang dibutuhkan (yang harus dikonsumsi) untuk menggantikan energi yang digunakan saat bersepeda pada jalan yang datar, digunakan persamaan berikut: [7]

$$P_w = v \times \left[ 3,509 + \left\{ 0,2581 \times (v)^2 \right\} \right] \quad (2.2)$$

$$P_c = \frac{P_w}{4186,8} \quad (2.3)$$

$$C_e = P_c \times T \quad (2.4)$$

$$C_i = \frac{C_e}{E_{ef}} = E_h \quad (2.5)$$

Dimana:

$P_w$  = Daya (Watt)

$V$  = Kecepatan (m/s)

$P_c$  = Daya (kkal/s)

$T$  = Waktu (sekon)

$C_e$  = Kalori yang dikeluarkan pada saat mengayuh pedal

$C_i$  = Kalori yang dicerna

$E_{ef}$  = Efisiensi sistem pencernaan manusia dalam mengonversi kalori (0,25)

$E_h$  = Energi yang dibutuhkan (Kalori yang harus dikonsumsi) saat bersepeda di jalanan rata

Persamaan ini digunakan dengan asumsi berat pengendara sepeda 75 kg, berat sepeda 10 kg, jalan rata, dan tidak ada angin.

## 2. Jalan Menanjak

Untuk menghitung jumlah kalori yang dibutuhkan atau yang harus dikonsumsi untuk menggantikan energi yang dikeluarkan pada jalanan menanjak, digunakan persamaan sebagai berikut: [7]

$$W = F \times D \quad (2.6)$$

$$Ce = \frac{W}{CF} \quad (2.7)$$

$$Ci = \frac{Ce}{Eef} = Ev \quad (2.8)$$

Dimana:

W = Usaha (kg-m)

F = Gaya

D = Jarak vertikal (m)

Ce = Kalori yang dikeluarkan pada saat mengayuh pedal

CF = Faktor konversi (3907 atau 418 untuk Unit Amerika dan Internasional)

Ci = Kalori yang dicerna

Eef = Efisiensi sistem pencernaan manusia dalam mengonversi kalori (0,25)

Ev = Energi yang dibutuhkan (kalori yang harus dikonsumsi) saat bersepeda di jalan menanjak

## 3. Total Energi yang Dibutuhkan pada Saat Bersepeda

Untuk menghitung total energi yang dibutuhkan pada saat bersepeda di jalanan yang rata dan menanjak digunakan persamaan: [7]

$$E_{total} = Eh + Ev \quad (2.9)$$

Besarnya kebutuhan energi tergantung dari energi yang digunakan setiap hari. Kebutuhan energi dapat dihitung dengan memperhatikan beberapa komponen penggunaan energi. Salah satu komponen yang digunakan adalah *basal metabolic rate (BMR)*. Metabolisme basal adalah banyaknya energi yang dipakai untuk aktifitas jaringan tubuh sewaktu istirahat jasmani dan rohani. Energi

tersebut dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi vital tubuh berupa metabolisme makanan, sekresi enzim, sekresi hormon, maupun berupa denyut jantung, bernafas, pemeliharaan tonus otot, dan pengaturan suhu tubuh. Metabolisme basal dipengaruhi oleh berbagai faktor yaitu jenis kelamin, usia, ukuran dan komposisi tubuh, faktor pertumbuhan. Metabolisme basal juga dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti suhu, kelembaban, dan keadaan emosi atau stres. [8]

Untuk menggantikan kalori BMR (*Basal Metabolic Rate*) digunakan perkiraan sebesar 50 kalori/jam sehingga persamaan total energi yang dibutuhkan menjadi: [7]

$$E_{total} = E_h + E_v + (t \times 50) \quad (2.10)$$

Dimana

$E_{total}$  = Total energi yang dibutuhkan (kalori)

$E_h$  = Energi yang dibutuhkan (kalori yang harus dikonsumsi) saat bersepeda di jalanan rata

$E_v$  = Energi yang dibutuhkan (kalori yang harus dikonsumsi) saat bersepeda di jalan menanjak

$t$  = Waktu (jam)

## **BAB 3**

### **PERANCANGAN DAN PENGUJIAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PEDAL**

#### **3.1. Pembangkit Listrik Tenaga Pedal**

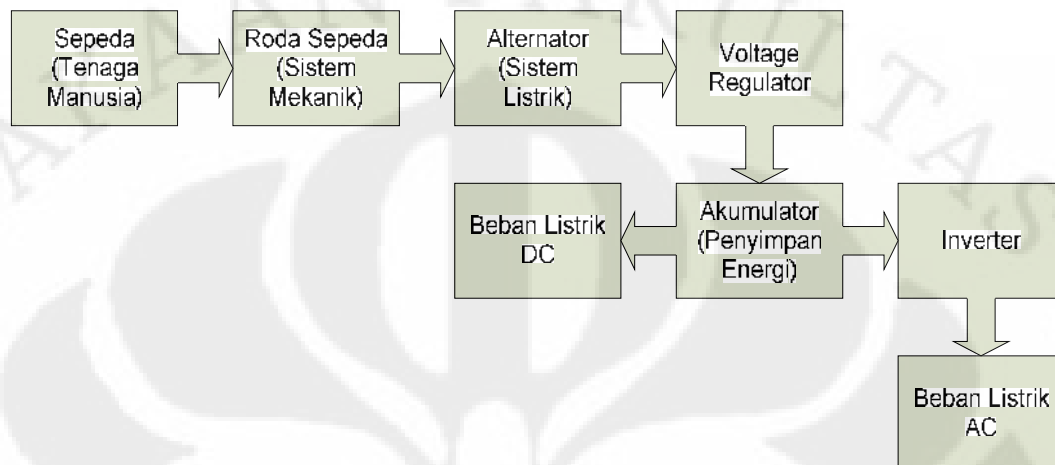
Pembangkit listrik tenaga pedal merupakan suatu metode untuk membangkitkan energi listrik dengan cara memodifikasi sepeda biasa atau sepeda statis yang dihubungkan ke alternator, kemudian energi listrik yang dihasilkan oleh alternator disimpan dalam elemen penyimpan energi listrik (baterai). Energi listrik yang tersimpan dalam baterai ini digunakan untuk menyalakan beberapa peralatan listrik rumah tangga seperti lampu, televisi, radio, dan beberapa peralatan listrik yang memiliki 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.

Energi manusia atau mekanik diubah menjadi energi listrik oleh alternator yang dihubungkan dengan roda sepeda melalui sabuk. Energi yang dihasilkan oleh alternator dapat disimpan pada berbagai macam baterai atau akumulator. Energi yang disimpan dalam baterai atau akumulator dapat berlaku sebagai sumber energi pelengkap untuk bank baterai yang telah digunakan untuk sistem pembangkit listrik lain seperti pembangkit listrik tenaga angin, pembangkit listrik tenaga mikrohidro, dan 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 penerangan dan televisi, maka inverter harus digunakan untuk mengubah tegangan listrik DC 12 volt dari akumulator menjadi tegangan listrik AC 220 volt.

#### **3.2. Konfigurasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Pedal**

Secara umum, blok diagram sistem pembangkit listrik tenaga pedal ditunjukkan oleh gambar 3.1. Roda sepeda dihubungkan dengan puli alternator

melalui sebuah sabuk. Jika sepeda dikayuh, maka roda sepeda akan berputar sehingga menyebabkan alternator berputar dengan kecepatan tertentu. Alternator yang berputar akan menghasilkan tegangan dan arus listrik. Tegangan dan arus keluaran alternator digunakan untuk mengisi muatan akumulator.



Gambar 3.1. Blok Diagram Pembangkit Listrik Tenaga Pedal

Akumulator yang digunakan memiliki tegangan 12 volt DC. Agar akumulator dapat diisi, maka tegangan keluaran alternator harus sama dengan atau sedikit melebihi 12 volt DC. Semakin cepat putaran alternator, maka tegangan dan arus listrik yang dihasilkan akan semakin besar. Oleh karena itu, besar tegangan keluaran alternator harus dijaga agar tetap sama dengan atau sedikit lebih besar dari 12 volt DC dengan menambah rangkaian pengatur tegangan (voltage regulator) yang menghubungkan alternator dengan akumulator. Hal ini dilakukan agar tegangan keluaran alternator dapat mengisi akumulator tanpa merusak akumulator.

Lama pengisian akumulator ditentukan oleh besar tegangan dan arus yang keluar dari pengatur tegangan. Semakin besar arus yang dihasilkan alternator dan keluar dari pengatur tegangan, maka semakin cepat akumulator terisi, dengan catatan besar tegangan keluaran alternator 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). Jika peralatan listrik yang digunakan membutuhkan sumber listrik AC (arus bolak-balik), maka inverter harus digunakan untuk mengubah



tegangan listrik 12 volt DC menjadi 220 volt AC sehingga peralatan listrik tersebut dapat digunakan sesuai fungsinya.

### 3.3. Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Pedal

#### 3.3.1. Perencanaan Sepeda

Pada proyek penelitian ini, sepeda yang digunakan adalah sepeda statis yang memiliki roda dengan jari-jari berukuran 28 cm. Dari data tersebut dapat dihitung keliling roda sepeda dengan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Keliling} &= 2\pi r & (3.1) \\
 &= 2 \times 3,14 \times 28 \text{ cm} \\
 &= 175,84 \text{ cm} \\
 &= 1,7584 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Sepeda yang digunakan dalam penelitian ini hanya memiliki satu percepatan sehingga dibutuhkan energi yang cukup besar untuk mengayuh sepeda ini. Gambar 3.2. menunjukkan sepeda yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 3.2. Sepeda Statis

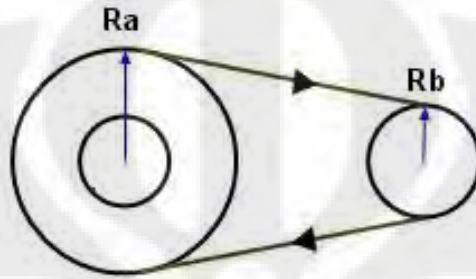
#### 3.3.2. Perancangan Sistem Hubungan Roda Sepeda dengan Alternator

Roda sepeda dihubungkan ke puli alternator dengan sebuah sabuk (belt). Berdasarkan hukum fisika pada gerak melingkar, pada roda-roda yang dihubungkan dengan rantai atau sabuk berlaku dua hal. Pertama, arah putar kedua

roda sama. Kedua, Kelajuan linear kedua roda sama. Persamaan yang berlaku pada hubungan roda-roda yang dihubungkan dengan sebuah sabuk adalah sebagai berikut:

$$v_1 = v_2 \quad (3.2)$$

$$\omega_1 \times R_1 = \omega_2 \times R_2 \quad (3.3)$$



Gambar 3.3. Hubungan roda-roda yang dihubungkan dengan sebuah sabuk

Pada penelitian ini, alternator yang digunakan memiliki puli dengan jari-jari berukuran 3,5 cm. Sedangkan sepeda yang digunakan memiliki roda dengan jari-jari berukuran 28 cm. Dari data tersebut, dapat dihitung perbandingan kecepatan sudut antara roda sepeda dengan alternator sebagai berikut :

$$v_1 = v_2$$

$$\omega_1 \times R_1 = \omega_2 \times R_2$$

$$\omega_1 \times 28 = \omega_2 \times 3,5$$

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{3,5}{28}$$

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{1}{8}$$

Dari perhitungan di atas, didapatkan hasil bahwa kecepatan sudut alternator delapan kali lebih besar daripada kecepatan sudut roda sepeda. Pada umumnya, alternator mobil memiliki putaran minimal 1500 rpm agar menghasilkan tegangan yang cukup besarnya untuk mengisi akumulator dengan tegangan 12 volt DC, yaitu sama dengan atau sedikit lebih besar daripada 12 volt DC. Agar menghasilkan putaran alternator sebesar 1500 rpm, maka putaran roda sepeda yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{1}{8}$$

$$\omega_1 = \frac{1}{8} \times \omega_2$$

$$\omega_1 = \frac{1}{8} \times 1500 \text{ rpm}$$

$$\omega_1 = 187,5 \text{ rpm}$$

Dari perhitungan tersebut didapatkan hasil bahwa kecepatan sudut roda sepeda yang dibutuhkan agar alternator menghasilkan putaran sebesar 1500 rpm adalah 187,5 rpm. Jika kecepatan ini dikonversi dalam satuan km/jam, maka hasilnya adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} 187,5 \text{ rpm} &= 187,5 \times \text{keliling roda sepeda} \\ &= 187,5 \frac{\text{rotasi}}{\text{menit}} \times 1,7584 \text{ m} \\ &= 329,7 \frac{\text{m}}{\text{menit}} \\ &= 329,7 \frac{\text{m}}{\text{menit}} \times \frac{60 \text{ menit}}{1 \text{ jam}} \times \frac{1 \text{ km}}{1000 \text{ m}} \\ &= 19,782 \frac{\text{km}}{\text{jam}} \end{aligned}$$

Dari perhitungan tersebut, didapatkan hasil bahwa kecepatan putar minimal roda sepeda yang dibutuhkan untuk mengayuh sepeda agar alternator mampu menghasilkan tegangan yang cukup untuk mengisi akumulator adalah 19,782 km/jam atau 5,495 m/s. Menurut perhitungan lebih lanjut, diperoleh hasil kecepatan putar minimal pada pedal yang dibutuhkan adalah 1,297 m/s (perhitungan dapat dilihat di lampiran).

### 3.3.3. Perencanaan Alternator

Alternator merupakan salah satu komponen dari sistem pengisian yang berfungsi untuk merubah energi mekanis yang dihasilkan dari mesin menjadi energi listrik. Energi mekanik dari mesin disalurkan sebuah puli yang memutar rotor dan menghasilkan arus listrik bolak-balik pada stator, arus listrik yang dihasilkan kemudian dirubah menjadi arus searah oleh *rectifier* (dioda).

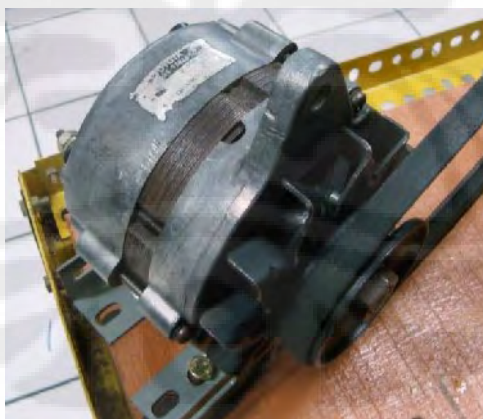
Alternator menggunakan dioda yang sederhana dan efektif, karena dioda

memungkinkan arus hanya mengalir pada satu arah. Arus bolak-balik tiga fasa yang dihasilkan diubah menjadi arus searah dengan jalan penyearahan gelombang penuh. Dioda dipasang di dalam alternator, sehingga *output* listrik dari alternator sudah berupa arus searah.

Alternator yang digunakan pada penelitian ini adalah alternator merek *Nippon Denso* jenis konvensional tanpa IC yang biasa digunakan pada mobil *Toyota Kijang*. Alternator ini memiliki spesifikasi sebagai berikut :

Tegangan	: 12 volt
Arus output maksimal	: 25 ampere
Tenaga output maksimal	: 300 watt
Arah putaran	: Searah dengan jarum jam dilihat dari puli
Rotor	: Model “Y” tiga-fase
Metode perubahan arus	: Semua gelombang, 6 dioda
Putaran tanpa beban (suhu normal)	: 13,5 V; 0 A; 850 ± 100 rpm
Putaran output (suhu normal)	: 13,5 V; 19-27 A; 1750 rpm
Berat	: 3,5 kg (7,7 lb)
Panjang keseluruhan	: 153,5 mm (6,04”).

Alternator yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan oleh gambar 3.4.



Gambar 3.4. Alternator

#### 3.3.4. Perencanaan Pengatur Tegangan (*Voltage Regulator*)

Pada proyek penelitian ini, digunakan rangkaian pengatur tegangan agar besar tegangan output alternator terjaga besarnya pada kecepatan tinggi. Hal ini dilakukan agar alternator 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 alternatornya 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 °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. Pengatur tegangan yang digunakan pada penelitian ini adalah pengatur tegangan dengan merek *Elecman* dengan nomor seri DNC 12-2.



Gambar 3.5. Pengatur Tegangan

### 3.3.5. Perencanaan Akumulator

Akumulator yang digunakan pada proyek penelitian ini adalah akumulator kering dengan merek *Yuasa* dengan nomor seri YTZ5S. 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 3.6. Akumulator 12V – 3,5Ah

### 3.3.6. Perencanaan Inverter

Inverter yang digunakan pada penelitian ini adalah inverter dengan merek *TBE* dengan daya listrik sebesar 300 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. 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 3.7. Inverter 300 watt



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

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

Objek pengujian pada penelitian ini adalah kemampuan pembangkit listrik tenaga pedal dalam menghasilkan energi listrik. Pengujian yang dilakukan dibagi menjadi tiga tahapan. Pertama, pengujian terhadap kemampuan alternator dalam menghasilkan tegangan dan arus listrik pada putaran tertentu. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik alternator yang digunakan. Karakteristik alternator yang ingin diketahui adalah tegangan dan arus listrik, serta potensi daya listrik yang dihasilkan oleh alternator pada putaran tertentu. Dari pengujian ini akan diketahui berapa kecepatan putaran alternator 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 alternator 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. Sepeda statis
2. Alternator tipe konvensional tanpa IC
3. Akumulator basah 12 volt – 3,5 Ah
4. Voltage regulator
5. Inverter 300 watt
6. Multimeter Digital Fluke model 72, sebagai alat ukur tegangan listrik yang dihasilkan alternator.



Gambar 3.8. Multimeter Digital Fluke model 72

7. Multimeter Digital Kyoritsu model 2001, sebagai alat ukur arus listrik yang dihasilkan oleh alternator serta alat ukur arus listrik yang mengalir ke akumulator dan arus listrik yang dialirkan oleh akumulator ke beban listrik.



Gambar 3.9. Multimeter Digital Kyoritsu model 2001

8. Multimeter Digital Sanwa model RD700, sebagai alat ukur tegangan listrik pada akumulator.



Gambar 3.10. Multimeter Digital Sanwa



9. Tachometer Digital Yew model 3631, sebagai alat ukur kecepatan putaran alternator



Gambar 3.11. Tachometer Digital Yew model 3631

10. Kabel  
 11. Resistor variabel (pada pengujian ini, resistor yang digunakan memiliki hambatan sebesar 5,1 ohm)  
 12. Lampu hemat energi (5 watt, 14 watt, dan 23 watt)  
 13. Stopwatch  
 14. Kamera digital  
 15. Osiloskop, sebagai alat untuk menampilkan bentuk gelombang output alternator.



Gambar 3.12. Osiloskop

## 16. Motor listrik variabel

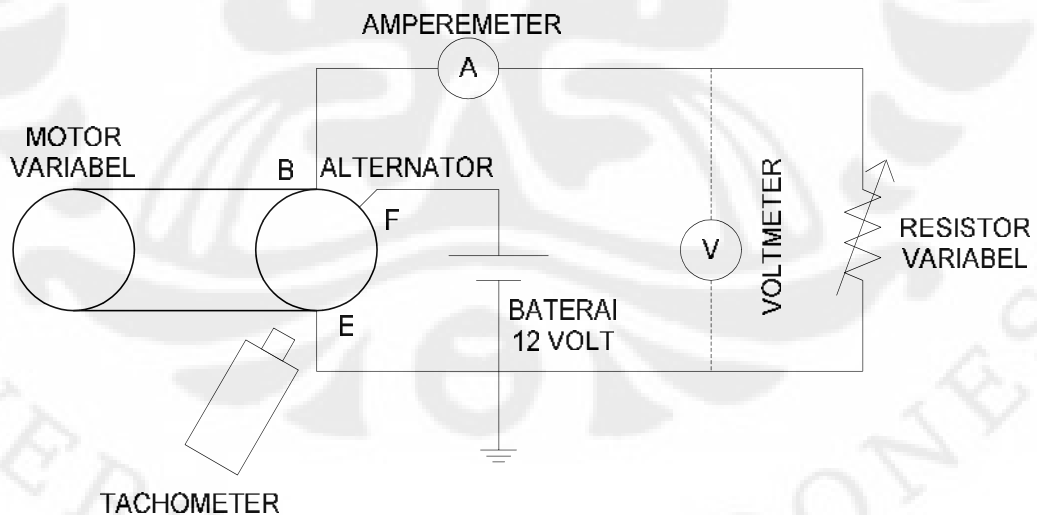


Gambar 3.13. Motor listrik variabel

### 3.4.3. Rangkaian Pengujian

#### 3.4.3.1. Pengujian Karakteristik Output Alternator

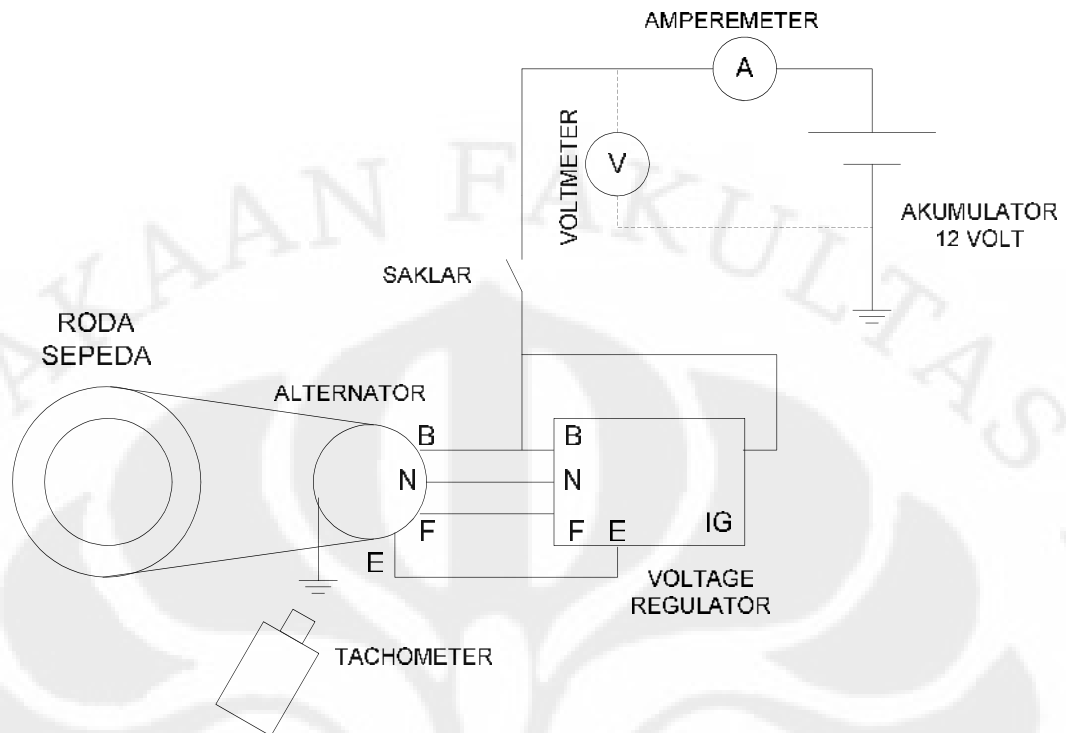
Rangkaian pengujian karakteristik output alternator ditunjukkan oleh gambar 3.14.



Gambar 3.14. Rangkaian Pengujian Karakteristik Output Alternator

#### 3.4.3.2. Pengujian Pengisian Akumulator

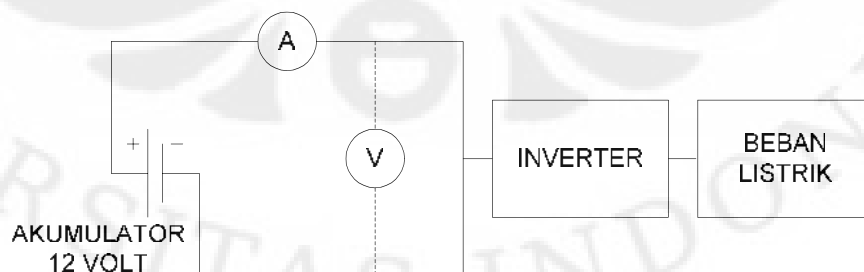
Rangkaian pengujian pengisian akumulator ditunjukkan oleh gambar 3.15.



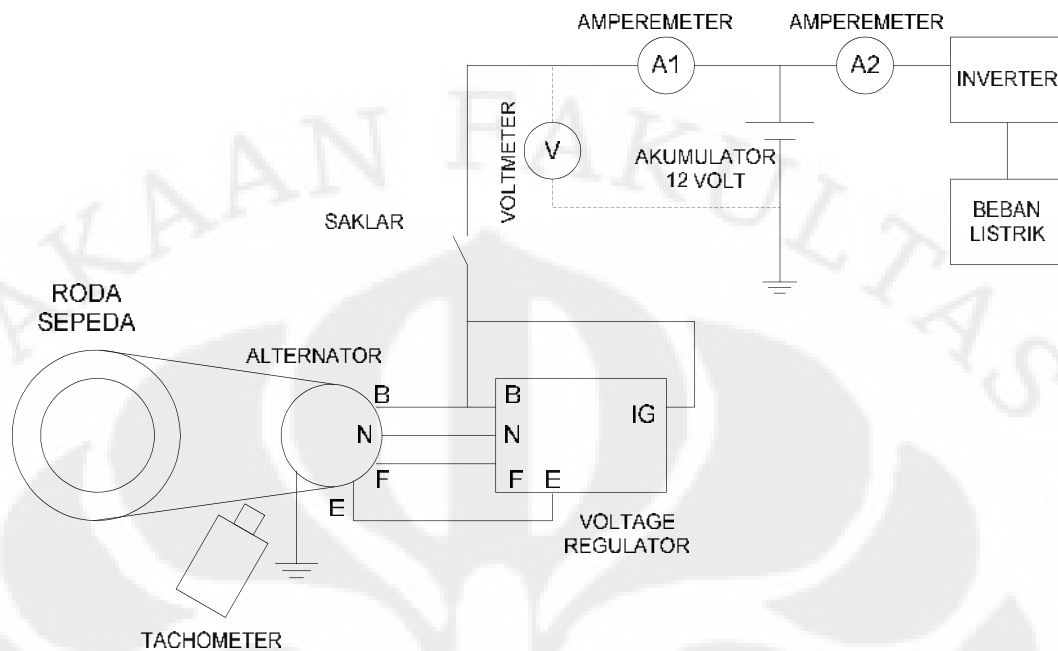
Gambar 3.15. Rangkaian Pengujian Pengisian Akumulator

### 3.4.3.3. Pengujian Pencatuan ke Beban Listrik

Pada pengujian pencatuan ke beban listrik dilakukan dua macam pengujian, yaitu pengujian pencatuan ke beban dengan melepas akumulator dari pembangkit listrik tenaga pedal dan pengujian pencatuan ke beban dengan tetap menghubungkan akumulator dengan pembangkit listrik tenaga pedal. Rangkaian pengujian untuk masing-masing pengujian pencatuan ke beban ditunjukkan oleh gambar 3.16 dan 3.17.



Gambar 3.16. Rangkaian Pengujian Pencatuan ke Beban Listrik dengan Akumulator Terlepas dari Pembangkit Listrik Tenaga Pedal



Gambar 3.17. Rangkaian Pengujian Pencatutan ke Beban Listrik dengan Menghubungkan Akumulator dengan Pembangkit Listrik Tenaga Pedal

### 3.5. Prosedur Pengujian

#### 3.5.1. Pengujian Karakteristik Output Alternator

1. Memasang rangkaian seperti pada rangkaian pengujian gambar 3.14.
2. Menghubungkan probe positif osiloskop dengan terminal B alternator.
3. Menghubungkan probe negatif osiloskop dengan massa (ground).
4. Memutar alternator dengan cara menyalakan motor listrik.
5. Mencatat kecepatan putaran alternator yang terukur di tachometer.
6. Mencatat tegangan listrik yang terukur di voltmeter.
7. Mencatat arus listrik yang terukur di amperemeter.
8. Mengambil gambar bentuk gelombang yang terlihat di osiloskop.
9. Pengujian dilakukan dengan kecepatan putaran alternator yang bervariasi dari 400 rpm sampai dengan 1700 rpm.

#### 3.5.2. Pengujian Pengisian Akumulator

1. Memasang rangkaian seperti pada rangkaian pengujian gambar 3.15.
2. Memutar alternator dengan cara mengayuh sepeda.
3. Mencatat kecepatan putaran alternator 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 pedal**

1. Memasang rangkaian seperti pada rangkaian pengujian gambar 3.16.
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 lampu hemat energi 5 watt, 14 watt, dan 23 watt.

#### **b. Pengujian dengan menghubungkan akumulator dengan pembangkit listrik tenaga pedal**

1. Memasang rangkaian seperti pada rangkaian pengujian gambar 3.17.
2. Memutar alternator dengan cara mengayuh sepeda.
3. Mencatat kecepatan putaran alternator yang terukur di tachometer.
4. Mencatat tegangan listrik yang terukur di voltmeter.
5. Mencatat arus listrik yang terukur di amperemeter.
6. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan beban listrik yang digunakan, yaitu lampu hemat energi 5 watt, 14 watt, dan 23 watt.

## BAB 4

### HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS HASIL PENGUJIAN

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 karakteristik output alternator, pengujian pengisian akumulator, dan pengujian pencatuan ke beban listrik.

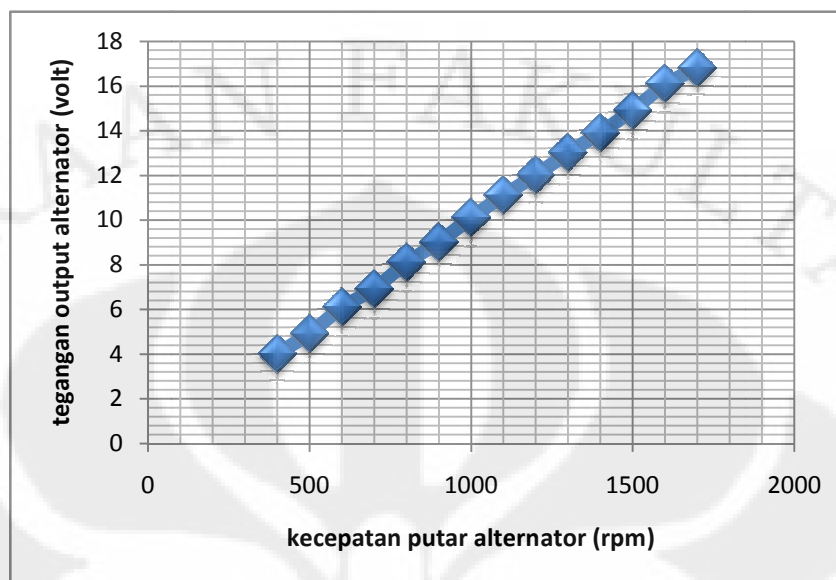
#### 4.1. Analisis Hasil Pengujian Karakteristik Output Alternator

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik output alternator yang digunakan. Dari pengujian ini, diperoleh data berupa tegangan listrik dan arus listrik serta bentuk gelombang yang dihasilkan oleh alternator saat alternator berputar. Pada pengujian ini, puli alternator dihubungkan dengan motor listrik variabel melalui sebuah sabuk (*belt*). Motor listrik variabel digunakan sebagai penggerak mula alternator agar lebih mudah mengatur kecepatan putar alternator. Alternator diputar dengan kecepatan tertentu dengan cara menyalakan motor listrik. Setelah alternator berputar, maka tegangan dan arus output alternator diukur dengan menggunakan voltmeter dan amperemeter. Bentuk gelombang output alternator dilihat dengan menggunakan osiloskop. Pengujian dilakukan dengan menambah kecepatan putaran alternator. Hasil pengujian yang didapat dari pengujian ini ditunjukkan oleh tabel 4.1.

Tabel 4.1. Hasil Pengujian Tegangan dan Arus Listrik Output Alternator

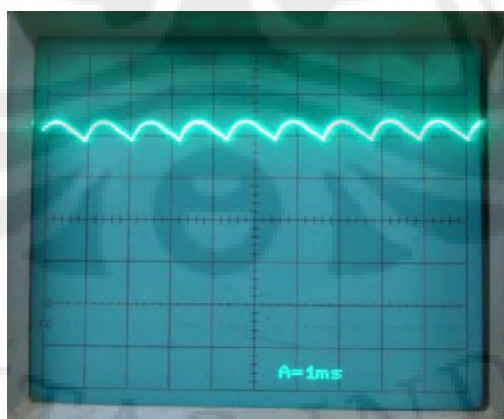
No.	RPM	Tegangan (volt)	Arus (ampere)
1	400	4	0,8
2	500	4,9	1
3	600	6,1	1,2
4	700	6,9	1,4
5	800	8,1	1,6
6	900	9	1,8
7	1000	10,1	2
8	1100	11,1	2,2
9	1200	12	2,4
10	1300	13	2,6
11	1400	13,9	2,8
12	1500	14,9	3
13	1600	16,1	3,2
14	1700	16,8	3,4

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



Gambar 4.1. Grafik Hubungan antara Tegangan Output Alternator terhadap Kecepatan Putar Alternator

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa kecepatan putar alternator sangat berpengaruh terhadap tegangan listrik yang dihasilkan oleh alternator. Jika kecepatan putar alternator semakin tinggi, maka tegangan listrik yang dihasilkan oleh alternator semakin besar. Hal ini membuktikan bahwa kecepatan putar alternator berbanding lurus dengan tegangan listrik yang dihasilkan oleh alternator. Bentuk gelombang output alternator dapat dilihat pada gambar 4.2.



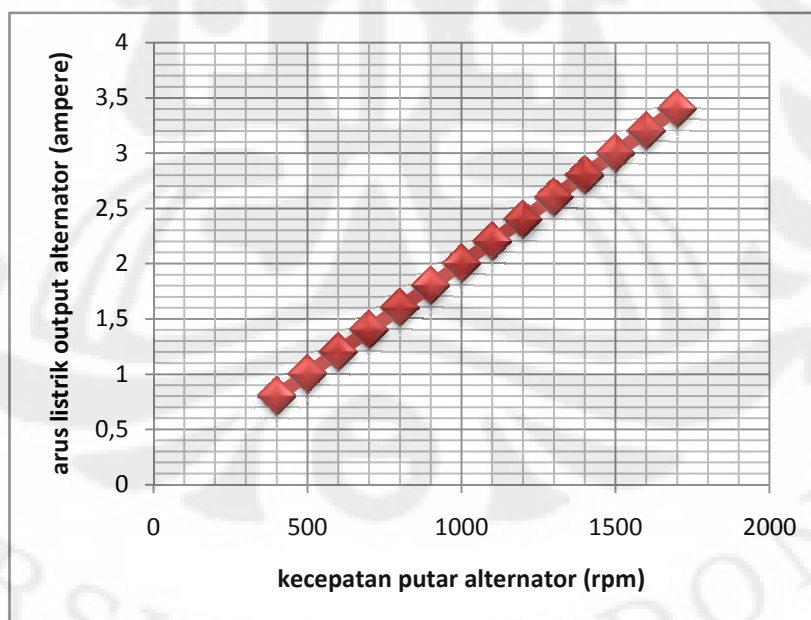
Gambar 4.2. Bentuk Gelombang Output Alternator

Gambar 4.2 menunjukkan bentuk gelombang output yang dihasilkan oleh

alternator pada kecepatan putar alternator 1200 rpm. Pada gambar 4.2 terlihat bahwa tegangan output alternator merupakan tegangan listrik DC (arus searah). Besar tegangan yang terlihat di osiloskop adalah 12 volt.

Besar tegangan listrik minimal yang dibutuhkan untuk mengisi akumulator adalah 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 1200 rpm, alternator menghasilkan tegangan listrik sebesar 12 volt. Kemudian pada kecepatan putar 1300 rpm, alternator menghasilkan tegangan listrik sebesar 13 volt. Selanjutnya pada kecepatan putar 1400 rpm, alternator menghasilkan tegangan listrik sebesar 13,9 volt. Sedangkan pada kecepatan putar 1500 rpm, alternator menghasilkan tegangan listrik sebesar 14,9 volt. Hal ini menunjukkan bahwa batas-batas kecepatan putar yang dibutuhkan agar alternator mampu menghasilkan tegangan listrik yang cukup untuk mengisi akumulator 12 volt tanpa merusak akumulator adalah antara 1200 rpm sampai dengan 1500 rpm.

Dari tabel 4.1, dibuat grafik hubungan antara arus listrik output alternator terhadap kecepatan putar alternator.



Gambar 4.3. Grafik Hubungan antara Arus Listrik Output Alternator terhadap Kecepatan Putar Alternator

Dari gambar 4.3, terlihat bahwa kecepatan putar alternator sangat berpengaruh terhadap arus listrik yang dihasilkan. Jika kecepatan putar alternator



semakin tinggi, maka semakin besar arus listrik yang dihasilkan oleh alternator. Hal ini membuktikan bahwa kecepatan putar alternator berbanding lurus dengan arus listrik yang dihasilkan oleh alternator.

Arus listrik yang dihasilkan oleh alternator dapat dihitung dengan persamaan (4.1).

$$I = \frac{V}{R} \quad (4.1)$$

dimana:

- I = Arus listrik (ampere)  
 V = Tegangan listrik (volt)  
 R = Hambatan (ohm)

Pada pengujian ini, resistor yang digunakan memiliki hambatan sebesar 5 ohm sehingga menurut perhitungan, arus listrik yang dihasilkan oleh alternator adalah sebagai berikut :

Tabel 4.2. Hasil Perhitungan Arus Listrik yang Dihasilkan oleh Alternator

No.	RPM	Tegangan (volt)	R (ohm)	I (ampere)
1	400	4	5	0,8
2	500	4,9	5	0,98
3	600	6,1	5	1,22
4	700	6,9	5	1,38
5	800	8,1	5	1,62
6	900	9	5	1,8
7	1000	10,1	5	2,02
8	1100	11,1	5	2,22
9	1200	12	5	2,4
10	1300	13	5	2,6
11	1400	13,9	5	2,78
12	1500	14,9	5	2,98
13	1600	16,1	5	3,22
14	1700	16,8	5	3,36

Jika dibandingkan dengan hasil pengujian, maka arus listrik yang dihasilkan oleh alternator menurut perhitungan memiliki nilai yang hampir sama besarnya dengan hasil pengujian.

Besar arus listrik yang dihasilkan oleh alternator akan menentukan waktu

pengisian akumulator. Semakin besar arus listrik yang dihasilkan, semakin cepat waktu yang dibutuhkan untuk mengisi akumulator. Sebaliknya, semakin kecil arus listrik yang dihasilkan oleh alternator, semakin lama pula waktu yang dibutuhkan untuk mengisi akumulator.

Dari data pada tabel 4.1, dapat dihitung daya listrik yang dapat dihasilkan oleh alternator dengan persamaan 4.2.

$$P = V \times I \quad (4.2)$$

dimana:

P = Daya listrik (Watt)

V = Tegangan listrik (volt)

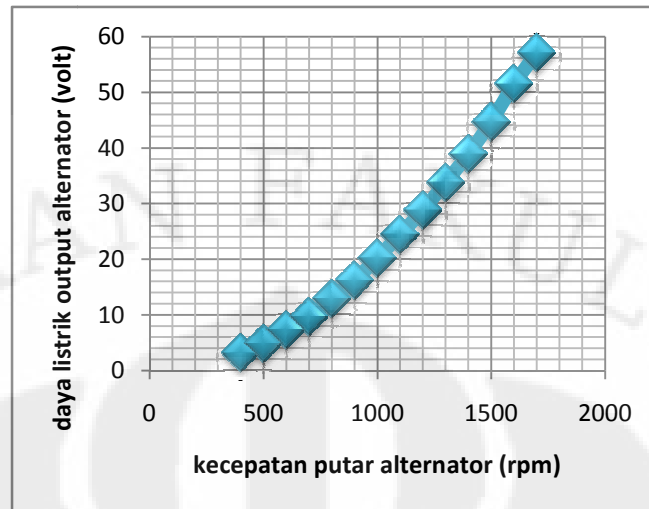
I = Arus listrik (ampere)

Menurut perhitungan, daya listrik yang dapat dihasilkan oleh alternator adalah sebagai berikut:

Tabel 4.3. Hasil Perhitungan Daya Listrik yang Dihasilkan oleh Alternator

No.	RPM	Tegangan (volt)	Arus (ampere)	Daya (watt)
1	400	4	0,8	3,2
2	500	4,9	1	4,9
3	600	6,1	1,2	7,32
4	700	6,9	1,4	9,66
5	800	8,1	1,6	12,96
6	900	9	1,8	16,2
7	1000	10,1	2	20,2
8	1100	11,1	2,2	24,42
9	1200	12	2,4	28,8
10	1300	13	2,6	33,8
11	1400	13,9	2,8	38,92
12	1500	14,9	3	44,7
13	1600	16,1	3,2	51,52
14	1700	16,8	3,4	57,12

Dari tabel 4.3, dibuat grafik hubungan antara kecepatan putar alternator terhadap daya listrik yang dapat dihasilkan oleh alternator. Dari gambar 4.3, terlihat bahwa kecepatan putar alternator mempengaruhi daya listrik yang dihasilkan oleh alternator. Daya listrik yang dihasilkan oleh alternator meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan putar alternator.



Gambar 4.4. Grafik Hubungan antara Daya Listrik yang Dihasilkan oleh Alternator terhadap Kecepatan Putar Alternator

#### 4.2. Analisis Hasil Pengujian Pengisian Akumulator

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan alternator saat melakukan pengisian ke akumulator. Pada pengujian ini, alternator langsung dihubungkan dengan roda sepeda melalui sebuah sabuk. Kemudian sepeda dikayuh dengan kecepatan tertentu sehingga menyebabkan puli alternator ikut berputar. Kecepatan putar alternator dijaga agar mampu menghasilkan tegangan listrik yang cukup untuk mengisi akumulator. Hal ini dilakukan dengan cara melihat tegangan listrik akumulator yang terukur di voltmeter. Besar tegangan listrik minimal yang dibutuhkan agar akumulator dapat diisi adalah 12 volt. Pengujian dilakukan selama 30 menit.

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

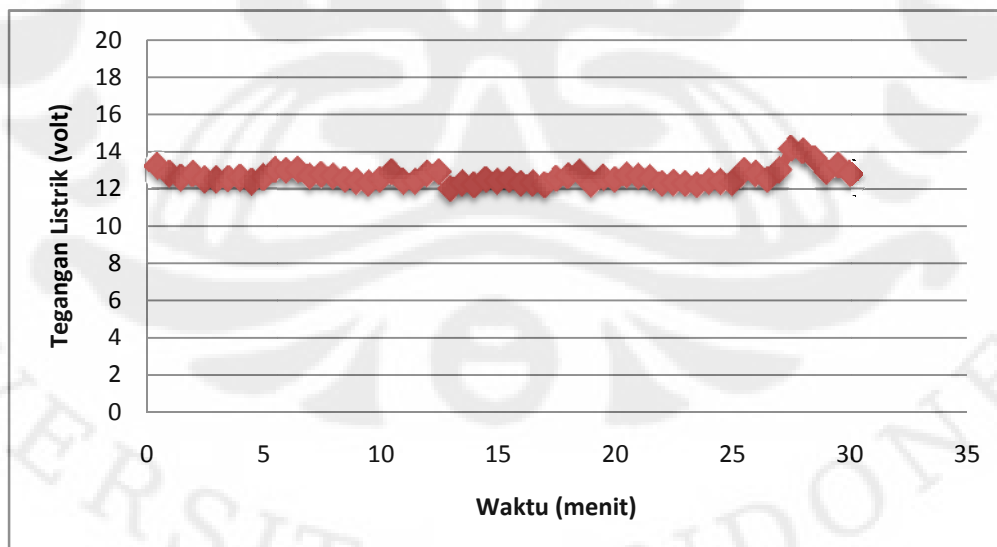
Tabel 4.4. Hasil Pengujian Pengisian Akumulator selama 30 Menit

No.	Waktu (menit)	Tegangan listrik (volt)	Arus listrik (ampere)	Kecepatan putar alternator (rpm)
1	0,5	13,2	1,8	1340
2	1	12,8	1,7	1357
3	1,5	12,6	1,1	1275
4	2	12,8	0,9	1328

5	2,5	12,5	0,6	1284
6	3	12,52	1	1239
7	3,5	12,54	0,7	1340
8	4	12,6	1,4	1370
9	4,5	12,4	1	1250
10	5	12,62	1,4	1359
11	5,5	13,01	1,5	1300
12	6	12,97	0,8	1222
13	6,5	13,02	1,8	1330
14	7	12,65	0,6	1283
15	7,5	12,76	0,7	1275
16	8	12,67	0,6	1260
17	8,5	12,5	1,4	1284
18	9	12,4	1,1	1275
19	9,5	12,3	0,8	1317
20	10	12,5	1,4	1300
21	10,5	12,89	1,2	1418
22	11	12,4	1	1254
23	11,5	12,4	1,1	1322
24	12	12,8	1	1215
25	12,5	12,9	1,6	1246
26	13	12	0,6	1203
27	13,5	12,3	0,7	1255
28	14	12,2	0,9	1185
29	14,5	12,5	1,2	1240
30	15	12,4	1,1	1238
31	15,5	12,5	2,9	1301
32	16	12,29	2,3	1261
33	16,5	12,3	1,9	1326
34	17	12,2	2	1261
35	17,5	12,54	2,2	1312
36	18	12,68	2,5	1319
37	18,5	12,87	2,5	1368
38	19	12,25	2,2	1231
39	19,5	12,6	1,6	1400
40	20	12,5	2,2	1381
41	20,5	12,73	2	1375
42	21	12,67	1,3	1329
43	21,5	12,58	1,4	1338
44	22	12,28	1,3	1259
45	22,5	12,32	0,9	1275

46	23	12,28	1,2	1220
47	23,5	12,2	1,7	1293
48	24	12,38	1,8	1274
49	24,5	12,38	1,8	1227
50	25	12,32	1,5	1234
51	25,5	12,96	0,6	1230
52	26	12,8	0,7	1228
53	26,5	12,5	0,6	1200
54	27	13	1,3	1216
55	27,5	14,13	2	1280
56	28	14	2	1315
57	28,5	13,59	1,6	1288
58	29	12,89	1,8	1289
59	29,5	13,26	1,5	1343
60	30	12,8	1	1246

Dari tabel 4.4, didapatkan hasil bahwa tegangan listrik maksimum yang dihasilkan adalah 14,13 volt dan tegangan listrik minimum yang dihasilkan adalah 12 volt. Sedangkan tegangan listrik rata-rata yang dihasilkan adalah 12,65 volt. Data-data tersebut menunjukkan bahwa tegangan listrik yang dihasilkan oleh alternator cukup untuk mengisi akumulator. Gambar 4.5 menunjukkan tegangan listrik yang dihasilkan selama 30 menit pengujian.

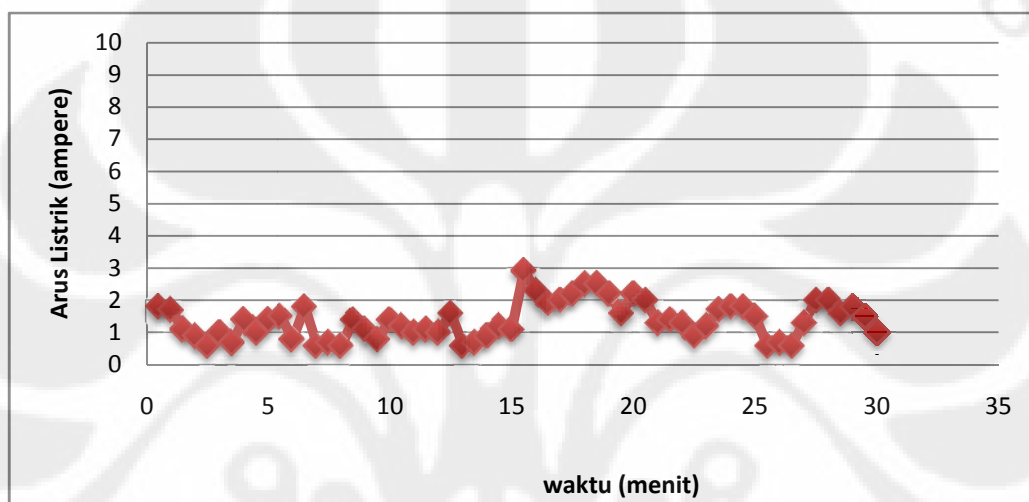


Gambar 4.5. Grafik Tegangan Listrik Pengisian Akumulator selama 30 Menit

Dari gambar 4.5, terlihat bahwa tegangan listrik yang dibutuhkan untuk mengisi akumulator dijaga konstan antara 12 volt sampai dengan 14 volt. Hal ini

dilakukan agar terjadi aliran arus listrik dari alternator ke akumulator karena tegangan listrik alternator lebih tinggi daripada tegangan listrik akumulator.

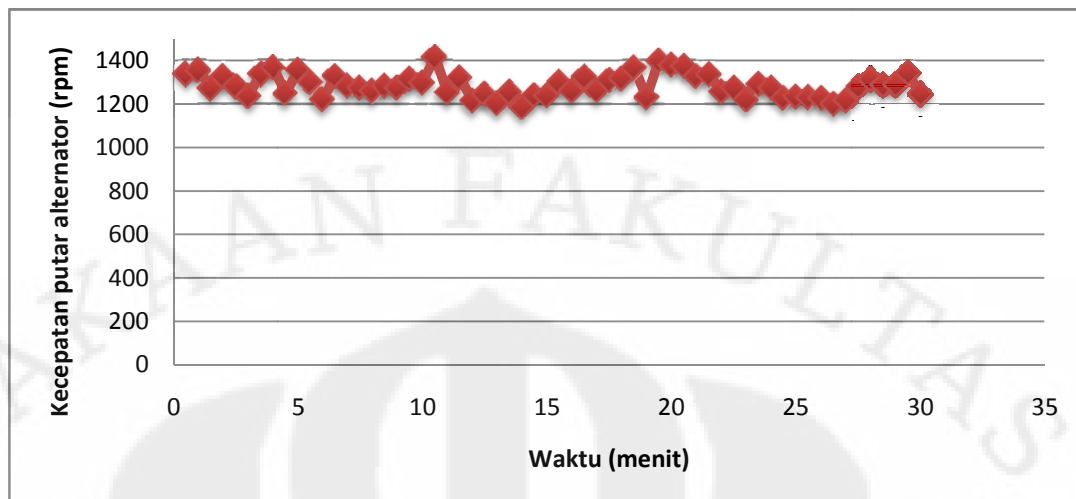
Tabel 4.4 juga memperlihatkan arus listrik yang dihasilkan oleh alternator untuk mengisi akumulator. Arus listrik maksimum dan minimum yang dihasilkan oleh alternator untuk mengisi akumulator adalah 2,9 ampere dan 0,6 ampere. Sedangkan arus listrik rata-rata yang dihasilkan oleh alternator adalah 1,38 ampere. Gambar 4.6 menunjukkan grafik arus listrik yang dihasilkan oleh alternator untuk mengisi akumulator selama 30 menit pengujian.



Gambar 4.6. Grafik Arus Listrik Pengisian Akumulator selama 30 Menit

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa nilai arus listrik pengisian akumulator berubah-ubah. Namun, besar arus pengisian sudah cukup untuk mengisi akumulator karena terjadi aliran arus listrik dari alternator ke akumulator. Hal ini ditandai dengan arus listrik yang bernilai positif. Aliran arus listrik dari alternator ke akumulator terjadi karena tegangan listrik alternator dijaga sedikit lebih tinggi daripada tegangan listrik akumulator.

Selain tegangan dan arus listrik, tabel 4.4 juga memperlihatkan data kecepatan putar alternator selama 30 menit. Kecepatan putar maksimum alternator yang dihasilkan adalah 1418 rpm. Sedangkan kecepatan putar minimum alternator yang dihasilkan adalah 1185 rpm. Dari data yang terdapat pada tabel 4.4, diperoleh nilai kecepatan putar alternator rata-rata adalah 1286 rpm. Gambar 4.7 memperlihatkan grafik kecepatan putar alternator selama 30 menit pengujian pengisian akumulator.



Gambar 4.7. Grafik Kecepatan Putar Alternator selama 30 Menit Pengisian Akumulator

Gambar 4.7 menunjukkan bahwa nilai kecepatan putar alternator cenderung tetap antara 1200 sampai dengan 1400 rpm. Hal ini terjadi karena tegangan listrik juga dijaga besarnya agar tetap sama dengan atau sedikit melebihi 12 volt. Ini dilakukan supaya terjadi aliran arus listrik dari alternator ke akumulator sehingga pengisian akumulator dapat berlangsung.

Pada pengujian ini, tegangan listrik awal akumulator sebelum dilakukan pengisian adalah 11,47 volt. Sedangkan, tegangan listrik akumulator setelah 30 menit pengisian adalah 12,87 volt. Hal ini berarti tegangan listrik akumulator bertambah sebanyak 1,4 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 tidak dapat mencatu beban adalah 10 volt. Data ini didapatkan setelah melakukan pengujian pencatuan ke beban. Dari kedua data tersebut, maka selisih antara tegangan akumulator yang terisi penuh dan tidak dapat mencatu beban adalah 3 volt. Dengan data yang diperoleh dari hasil pengujian pengisian akumulator dengan pembangkit listrik tenaga pedal, diperoleh hasil bahwa untuk mengisi akumulator dari keadaan kosong sampai penuh membutuhkan waktu sekitar 64,29 menit.

Besar potensi daya listrik yang dapat dihasilkan pada pengujian pengisian akumulator dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 4.2. Menurut perhitungan, dengan mengasumsikan nilai faktor daya sama dengan 1, daya listrik

maksimum yang dapat dihasilkan adalah 36,25 watt. Sedangkan, daya listrik minimum yang dapat dihasilkan adalah 7,2 watt. Dari hasil perhitungan, diperoleh nilai daya listrik rata-rata yang dihasilkan sebesar 17,5 watt.

Besar energi listrik yang dapat dihasilkan selama 30 menit mengisi akumulator dapat dihitung dengan persamaan 4.3.

$$W = P \times t \quad (4.3)$$

dimana:

W = Energi listrik (watt-jam)

P = Daya listrik (watt)

t = Waktu (jam)

Dengan mengasumsikan nilai efisiensi sebesar 100 % dan daya listrik yang dihasilkan adalah daya listrik rata-rata sebesar 17,5 watt, diperoleh hasil energi listrik yang dihasilkan selama 30 menit pengujian pengisian akumulator adalah 8,76 watt-jam.

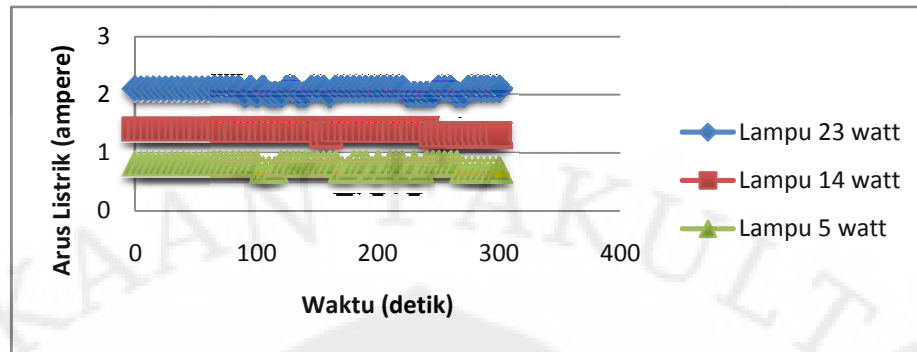
#### **4.3. Analisis Hasil Pengujian Pencatuan ke Beban Listrik**

Pada pengujian ini, dilakukan dua macam pengujian, yaitu pengujian pencatuan ke beban dengan melepas akumulator dari pembangkit listrik tenaga pedal dan pengujian pencatuan ke beban dengan tetap menghubungkan akumulator dengan pembangkit listrik tenaga pedal. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan beban listrik yang digunakan, yaitu lampu hemat energi 5 watt, 14 watt, dan 23 watt. Pengujian untuk setiap beban listrik dilakukan selama 5 menit.

##### **4.3.1. Analisis Hasil Pengujian Pencatuan ke Beban Listrik dengan Akumulator Terlepas dari Pembangkit Listrik Tenaga Pedal**

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 dicatukan ke beban (lampu). Menurut hasil pengujian, dibuat grafik yang menunjukkan nilai arus yang dicatukan ke lampu.

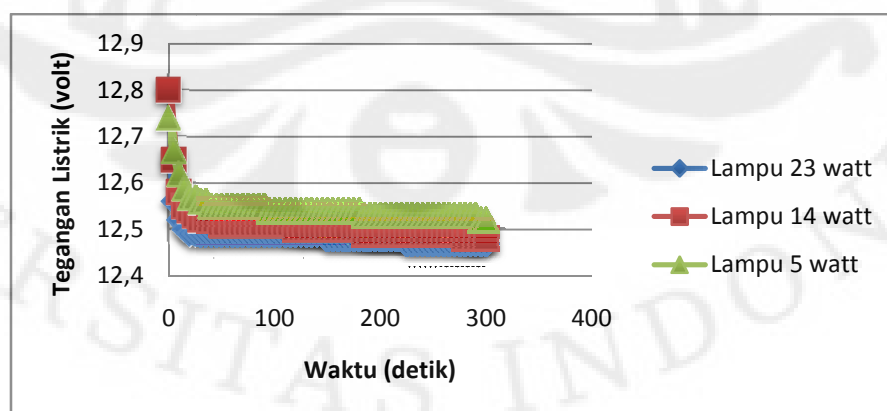




Gambar 4.8. Grafik Arus Pencatuan dari Akumulator ke Beban Selama 5 Menit

Gambar 4.8 menunjukkan grafik arus yang dicatu oleh akumulator ke setiap lampu selama 5 menit. Pada pengujian beban lampu 23 watt, arus listrik yang dicatukan cenderung tetap sekitar 2 A sampai dengan 2,1 A. Pada pengujian beban lampu 14 watt, arus listrik yang dihasilkan juga cenderung tetap dengan nilai sekitar 1,3 A sampai dengan 1,4 A. Hal ini terjadi juga pada pengujian dengan beban lampu 5 watt. Arus listrik yang dicatu oleh akumulator cenderung tetap antara 0,7 A dan 0,8 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 23 watt lebih besar daripada arus listrik yang dicatukan ke beban lampu 14 watt. Arus listrik yang dicatukan ke beban lampu 14 watt lebih besar daripada arus listrik yang dicatukan ke beban lampu 5 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. 9. Grafik Tegangan Akumulator untuk Menyuplai setiap Beban selama 5 Menit

Dari gambar 4.9 terlihat bahwa untuk beban lampu 5 watt, ketika lampu dinyalakan, tegangan akumulator langsung turun menjadi 12,74 volt. Kemudian, tegangan akumulator terus turun sampai 12,55 volt. Untuk beberapa saat, tegangan akumulator besarnya 12,55 volt. Kemudian tegangan akumulator turun lagi menjadi 12,54 volt dan besarnya tetap beberapa saat. Kemudian turun lagi menjadi 12,53 volt dan 12,52 volt sampai akhir pengujian. Hal ini terjadi juga pada saat pengujian dengan beban lampu 14 watt. Pada saat lampu dinyalakan, tegangan akumulator turun drastis menjadi 12,8 volt. Kemudian turun terus sampai tegangannya menjadi 12,51 volt dan besarnya tetap beberapa saat. Kemudian tegangan akumulator turun menjadi 12,5 volt dan bertahan untuk beberapa saat. Selanjutnya tegangan akumulator turun lagi menjadi 12,49 volt dan menjadi 12,48 volt sampai akhir pengujian. Begitu juga pada pengujian dengan beban lampu 23 watt. Tegangan akumulator turun drastis menjadi 12,8 volt ketika lampu dinyalakan. Kemudian tegangan akumulator terus turun hingga mencapai 12,49 volt dan bertahan beberapa saat. Kemudian tegangan akumulator turun terus menjadi 12,48 volt dan 12,47 volt sampai akhir pengujian. Dari gambar 4.9 terlihat bahwa semakin besar daya listrik dari beban yang digunakan, maka penurunan tegangan akumulator akan semakin cepat.

Pada pengujian dengan beban lampu 5 watt, terjadi penurunan tegangan sebesar 0,22 volt selama 5 menit. Akumulator tidak mampu lagi menyuplai arus ke beban setelah tegangan akumulator menjadi 10 volt. Sehingga dapat diperkirakan waktu pengosongan akumulator untuk beban lampu 5 watt adalah 62,27 menit. Pada pengujian dengan beban lampu 14 watt, terjadi penurunan tegangan akumulator sebesar 0,32 volt. Dari data tersebut, dapat diperkirakan waktu pengosongan akumulator untuk beban lampu 14 watt adalah 43,75 menit. Sedangkan pada pengujian dengan beban lampu 23 watt, terjadi penurunan tegangan sebesar 0,33 volt selama 5 menit. Dari data tersebut, diperkirakan waktu pengosongan akumulator untuk beban lampu 23 watt adalah 42,42 menit. Dari data yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa semakin besar daya listrik dari beban yang dicatu oleh akumulator, semakin cepat waktu pengosongan akumulator.

#### 4.3.2. Analisis Hasil Pengujian Pencatuan ke Beban Listrik dengan Akumulator Terhubung dengan Pembangkit Listrik Tenaga Pedal

Pada pengujian ini, pembangkit listrik tenaga pedal dihubungkan dengan akumulator. Kemudian akumulator dihubungkan ke inverter dan selanjutnya ke beban. Beban listrik yang digunakan adalah lampu 5 watt, 14 watt, dan 23 watt. Hasil pengujian untuk beban lampu 5 watt ditunjukkan oleh tabel 4.5.

Tabel 4.5. Hasil Pengujian Pencatuan Akumulator ke Beban Lampu 5 Watt

Waktu (detik)	Arus ke Akumulator (ampere)	Arus ke Inverter (ampere)	Tegangan Akumulator (volt)	Kecepatan putar alternator (rpm)
30	1,4	0,7	13,08	1422
60	1,5	0,8	12,52	1354
90	2	0,8	12,48	1286
120	1,1	0,7	12,11	1285
150	1	0,8	12,12	1276
180	1,5	0,7	12,2	1347
210	1,6	0,7	11,95	1296
240	1,3	0,8	11,89	1239
270	1,2	0,7	11,9	1258
300	0,8	0,7	11,95	1247

Dari tabel 4.5, diperoleh hasil rata-rata untuk arus listrik yang mengalir ke akumulator sebesar 1,34 ampere. Arus listrik rata-rata yang mengalir ke inverter sebesar 0,74 ampere. Tegangan akumulator rata-rata yang dihasilkan adalah 12,22 volt. Sedangkan kecepatan putar rata-rata alternator yang dihasilkan adalah 1301 rpm.

Potensi daya listrik yang dihasilkan dapat dihitung dengan persamaan 4.2. Menurut perhitungan, daya listrik yang dapat dihasilkan pada pengujian ini ditunjukkan oleh tabel 4.6.

Tabel 4.6. Hasil Perhitungan Daya Listrik yang Dihasilkan pada Pengujian Pencatuan ke Beban Lampu 5 Watt

Waktu (detik)	Arus ke Akumulator (ampere)	Tegangan Akumulator (volt)	Daya Listrik (watt)
30	1,4	13,08	18,312

60	1,5	12,52	18,78
90	2	12,48	24,96
120	1,1	12,11	13,321
150	1	12,12	12,12
180	1,5	12,2	18,3
210	1,6	11,95	19,12
240	1,3	11,89	15,457
270	1,2	11,9	14,28
300	0,8	11,95	9,56

Dari tabel 4.6 didapatkan hasil bahwa daya listrik maksimum dan minimum yang dihasilkan berturut-turut adalah 24,96 watt dan 9,56 watt. Sedangkan nilai daya listrik rata-rata yang dihasilkan adalah 16,421 watt. Energi listrik yang dihasilkan selama 5 menit pengujian dapat dihitung dengan persamaan 4.3. Menurut perhitungan, dengan mengasumsikan daya listrik rata-rata sebesar 16,421 watt, maka didapatkan besar energi listrik yang dihasilkan selama 5 menit pengujian pencatuan ke beban adalah 1,37 watt-jam.

Hasil pengujian untuk beban lampu 14 watt ditunjukkan oleh tabel 4.7.

Tabel 4.7. Hasil Pengujian Pencatuan Akumulator ke Beban Lampu 14 Watt

Waktu (detik)	Arus ke Akumulator (ampere)	Arus ke Inverter (ampere)	Tegangan Akumulator (volt)	Kecepatan putar alternator (rpm)
30	1,6	1,4	12,49	1309
60	2,3	1,3	12,48	1415
90	2,2	1,3	12,66	1327
120	1,9	1,3	12,57	1395
150	2,1	1,2	12,09	1352
180	1,6	1,2	12,06	1226
210	1,6	1,2	11,9	1260
240	2,1	1,3	12,18	1350
270	1,7	1,2	12,11	1293
300	1,5	1,2	12,09	1376

Dari tabel 4.7, diperoleh hasil rata-rata untuk arus listrik yang mengalir ke akumulator sebesar 1,86 ampere. Arus listrik rata-rata yang mengalir ke inverter

sebesar 1,24 ampere. Tegangan akumulator rata-rata yang dihasilkan adalah 12,263 volt. Sedangkan kecepatan putar rata-rata alternator yang dihasilkan adalah 1330 rpm.

Potensi daya listrik yang dihasilkan dapat dihitung dengan persamaan 4.2. Menurut perhitungan, daya listrik yang dapat dihasilkan pada pengujian ini ditunjukkan oleh tabel 4.8.

Tabel 4.8. Hasil Perhitungan Daya Listrik Yang Dihasilkan pada Pengujian Pencatuan ke Beban Lampu 14 Watt

Waktu (detik)	Arus ke Akumulator (ampere)	Tegangan Akumulator (volt)	Daya Listrik (watt)
30	1,6	12,49	19,984
60	2,3	12,48	28,704
90	2,2	12,66	27,852
120	1,9	12,57	23,883
150	2,1	12,09	25,389
180	1,6	12,06	19,296
210	1,6	11,9	19,04
240	2,1	12,18	25,578
270	1,7	12,11	20,587
300	1,5	12,09	18,135

Dari tabel 4.8, didapatkan hasil bahwa daya listrik maksimum dan minimum yang dihasilkan berturut-turut adalah 28,704 watt dan 18,135 watt. Sedangkan nilai daya listrik rata-rata yang dihasilkan adalah 22,8448 watt. Energi listrik yang dihasilkan selama 5 menit pengujian dapat dihitung dengan persamaan 4.3. Menurut perhitungan, dengan mengasumsikan daya listrik rata-rata sebesar 22,8448 watt, maka didapatkan besar energi listrik yang dihasilkan selama 5 menit pengujian pencatuan ke beban adalah 1,904 watt-jam.

Hasil pengujian untuk beban lampu 14 watt ditunjukkan oleh tabel 4.9. Dari tabel 4.9, diperoleh hasil rata-rata untuk arus listrik yang mengalir ke akumulator sebesar 1,98 ampere. Arus listrik rata-rata yang mengalir ke inverter sebesar 1,94 ampere. Tegangan akumulator rata-rata yang dihasilkan adalah 11,632 volt. Sedangkan kecepatan putar rata-rata alternator yang dihasilkan adalah

1286 rpm.

Tabel 4.9. Hasil Pengujian Pencatuan Akumulator ke Beban Lampu 23 Watt

Waktu (detik)	Arus ke Akumulator (ampere)	Arus ke Inverter (ampere)	Tegangan Akumulator (volt)	Kecepatan putar alternator (rpm)
30	3	2	12,23	1406
60	1,9	2	12,08	1349
90	1,4	1,9	11,95	1322
120	3,2	2	12,03	1432
150	2,3	2	11,98	1219
180	2,1	2	11,43	1272
210	1	1,9	11,44	1220
240	1,8	1,9	11,18	1255
270	2	1,9	11	1236
300	1,1	1,8	11	1150

Potensi daya listrik yang dihasilkan pada pengujian pencatuan ke beban lampu 23 watt dapat dihitung dengan persamaan 4.2. Menurut perhitungan, daya listrik yang dapat dihasilkan pada pengujian ini ditunjukkan oleh tabel 4.10.

Tabel 4.10. Hasil Perhitungan Daya Listrik yang Dihasilkan pada Pengujian Pencatuan ke Beban Lampu 23 Watt

Waktu (detik)	Arus ke Akumulator (ampere)	Tegangan Akumulator (volt)	Daya Listrik (watt)
30	3	12,23	36,69
60	1,9	12,08	22,952
90	1,4	11,95	16,73
120	3,2	12,03	38,496
150	2,3	11,98	27,554
180	2,1	11,43	24,003
210	1	11,44	11,44
240	1,8	11,18	20,124
270	2	11	22
300	1,1	11	12,1

Dari tabel 4.10, didapatkan hasil bahwa daya listrik maksimum dan minimum yang dihasilkan berturut-turut adalah 38,496 watt dan 11,44 watt. Sedangkan nilai daya listrik rata-rata yang dihasilkan adalah 23,2089 watt. Energi listrik yang dihasilkan selama 5 menit pengujian dapat dihitung dengan persamaan 4.3. Menurut perhitungan, dengan mengasumsikan daya listrik rata-rata sebesar 23,2089 watt, maka didapatkan besar energi listrik yang dihasilkan selama 5 menit pengujian pencatuan ke beban adalah 1,934 watt-jam.

Dari pengujian pencatuan ke beban dengan akumulator tetap dihubungkan dengan pembangkit listrik tenaga pedal, diperoleh hasil bahwa semakin besar daya listrik dari beban yang digunakan, semakin besar pula arus listrik yang mengalir ke akumulator dan ke beban. Selain itu, semakin besar daya listrik dari beban yang digunakan, semakin besar pula energi yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga pedal.

#### **4.4. Energi yang Dibutuhkan untuk Mengayuh Pedal Sepeda pada Pembangkit Listrik Tenaga Pedal**

Sepeda yang digunakan pada pembangkit listrik tenaga pedal adalah sepeda stationer. Oleh karena itu, persamaan yang digunakan untuk menghitung energi atau kalori yang dibutuhkan pada saat mengayuh pedal adalah persamaan 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, dan 2.10. Dari pengujian pengisian akumulator, diketahui bahwa kecepatan putar rata-rata alternator yang dihasilkan adalah 1286 rpm sehingga kecepatan putar pada pedal sepeda adalah 1,1135 m/s (perhitungan dapat dilihat di lampiran).

Dengan persamaan 2.2, dapat dihitung besar daya yang dihasilkan pada kecepatan pedal 1,1135 m/s sebesar 4,26 watt. Dengan persamaan 2.3, daya yang dihasilkan setara dengan 0,00102 kkal/s. Dengan persamaan 2.4, dapat dihitung jumlah kalori yang dikeluarkan saat mengayuh pedal sepeda selama 19,43 jam sebesar 71,34696 kkal. Selanjutnya dengan persamaan 2.5, dapat dihitung jumlah kalori yang harus dikonsumsi yaitu sebesar 285,38784 kkal. Energi total yang dibutuhkan untuk mengayuh pedal selama 19,43 jam dengan kecepatan rata-rata 1,1135 m/s dapat dihitung dengan persamaan 2.10, yaitu sebesar 1256,88784 kkal (perhitungan dapat dilihat di lampiran).

#### 4.5. Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Pedal untuk Memenuhi Kebutuhan Listrik Rumah Tangga di Pedesaan

Subbab ini membahas tentang energi listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga pedal untuk memenuhi kebutuhan listrik rumah tangga di daerah pedesaan. Pertama-tama, ditentukan terlebih dahulu jumlah pemakaian energi listrik (dalam kilowatt-hour atau kwh) yang akan disuplai oleh pembangkit listrik tenaga pedal sehingga dapat ditentukan berapa waktu yang dibutuhkan untuk mengayuh sepeda.

Pada tabel 2.2, kebutuhan dasar listrik rumah tangga di daerah pedesaan pada umumnya terdiri dari lampu, TV atau radio, dan kebutuhan lainnya. Dengan mengasumsikan beban listrik rumah tangga yang digunakan adalah lampu dan TV saja, maka kebutuhan energi listrik harian ditentukan sebagai berikut:

- Lampu: 3 x 11W x 3jam = 99 Wattjam (99 Wh)
- TV: 30W x 4jam = 120 Wattjam (120 Wh)
- Jumlah Wattjam = 219 Wattjam (219 Wh)
- Jumlah Ah = 219 Wh/12 volt = 18,25 Ah

Pada pengujian pengisian akumulator, arus listrik pengisian rata-rata yang dihasilkan adalah 1,38 ampere. Menurut perhitungan pada subbab 4.2, waktu yang dibutuhkan untuk mengisi ulang baterai 12 volt – 3,5 Ah dari keadaan tidak dapat mencatu beban sampai keadaan penuh adalah 64,29 menit. Pada pengujian pencatuan ke beban, diperoleh hasil arus pencatuan ke beban lampu 14 watt sebesar 1,377 ampere. Menurut perhitungan pada subbab 4.3.1, waktu pengosongan akumulator (tegangan 12,8 volt menjadi 10 volt) pada saat akumulator dicatu ke beban lampu 14 watt adalah 43,75 menit. Dari data tersebut, efisiensi baterai atau akumulator yang digunakan pada penelitian ini dapat dihitung, yaitu sebesar 68,05 %. Maka waktu yang dibutuhkan untuk mengayuh pedal sepeda untuk mengisi ulang baterai untuk menyuplai kebutuhan energi listrik harian sebesar 219 Wh adalah 19,43 jam.

$$t = \frac{18,25Ah}{1,38A} \times \frac{100}{68,05} = 19,43 \text{ jam.}$$

Pada perhitungan ini, efisiensi inverter dan rugi-rugi yang timbul akibat konversi dari listrik arus searah ke arus bolak-balik diabaikan.



Karena waktu yang dibutuhkan untuk mengayuh sepeda guna mengisi ulang akumulator sangat lama, maka terdapat beberapa saran yang dapat direkomendasikan agar pemanfaatan pembangkit listrik tenaga pedal lebih efisien, yaitu:

1. Menggunakan akumulator dengan kapasitas yang lebih besar
2. Menambah jumlah akumulator dengan kapasitas yang sama
3. Mengurangi beban listrik yang digunakan
4. Menambah jumlah orang yang mengayuh sepeda.

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN**

Dari perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Kecepatan putar alternator minimum yang dibutuhkan agar alternator menghasilkan tegangan yang cukup untuk mengisi akumulator adalah 1200 rpm.
2. Pada pengujian pengisian akumulator, pembangkit listrik tenaga pedal mampu menghasilkan tegangan listrik rata-rata sebesar 12,65 volt, arus listrik rata-rata sebesar 1,38 ampere, dan daya listrik rata-rata sebesar 17,5 watt. Menurut perhitungan, akumulator akan terisi dari keadaan tidak dapat mencatu beban sampai penuh selama 64,29 menit.
3. Menurut perhitungan, waktu yang dibutuhkan untuk mengayuh sepeda untuk mengisi ulang akumulator untuk menyuplai kebutuhan listrik harian sebesar 219 wattjam adalah 19,43 jam.
4. Menurut perhitungan, energi total yang dibutuhkan untuk mengayuh pedal sepeda dengan kecepatan rata-rata 1,1135 m/s selama 19,43 jam adalah 1256,88784 kkal.

## 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] Cara Kerja Baterai Aki (Aki Kering, Aki Basah, Accu, Sealed Lead Acid). <http://www.iklanumum.com/forum/index.php/topic,30.0.html> diunduh pada 20 Mei 2009.
- [4] Lead Acid Battery Charging. [http://www.solarnavigator.net/battery\\_charging.htm](http://www.solarnavigator.net/battery_charging.htm) diunduh pada 18 Juli 2009.
- [5] Tim Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta. “Teknik Dasar Rectifier dan Inverter.” Bagian Proyek Pengembangan Kurikulum Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan Direktorat Jenderal Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional. 2003. hal. 19-21.
- [6] Bassam, N. El., Maegaard, P., “Integrated Renewable Energy for Rural Communities.” London : Elsevier ltd, 2004, hal. 8-11.
- [7] Cycling Performance Tips: Total Energy Requirements Of Cycling Horizontal Plus Vertical Work (Expressed As Calorie Replacement Requirements). <http://www.cptips.com/formul2.htm> diunduh pada 23 Agustus 2009.

- [8] Primana, A. Dadang., “Pemenuhan Energi Pada Olahraga (Metabolisme Energi Pada Berbagai Jenis Olahraga).” Departemen Kesehatan dan Kesejahteraan Sosial RI Direktorat Jenderal Kesehatan Masyarakat Direktorat Gizi Masyarakat, 2000, hal. 15.



## DAFTAR PUSTAKA

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

Sumadi, 1978, "Sistem kelistrikan dan Bahan Bakar Otomotif." Jakarta : Depdikbud.

F. Suryatmo, 1974,"Teknik Listrik Arus Searah." Jakarta : Bumi Aksara.

, 1993, "New Step I Training Manual." Jakarta : Toyota Service Training.

, 1993, "Step 2 Electrical Group." Jakarta : Toyota Service Training.

Waluyo, S. A., "Panel Sistem Pengisian Tipe Konvensional dan IC Regulator." Tugas Akhir, Program Ahli Madya Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang, Semarang, 2006.

Cycling Performance Tips: Basal Metabolic Rate. <http://www.cptips.com/bmr.htm> diunduh pada 20 Juli 2009.

Pedal Power Bike Generator Frequently Asked Questions. <http://scienceshareware.com/bicycle-generator-faq.htm> diunduh pada 10 Juli 2009.

Butcher, David. Pedal Powered Generator - Electricity From Exercise. <http://www.los-gatos.ca.us/davidbu/pedgen.html> diunduh pada 2 Mei 2009.

## LAMPIRAN

### 1. Data Pencatuan Akumulator ke Beban Lampu 23 Watt

Waktu (detik)	I (ampere)	V (volt)
0	2,1	12,8
5	2,1	12,56
10	2,1	12,52
15	2,1	12,5
20	2,1	12,49
25	2,1	12,49
30	2,1	12,49
35	2,1	12,49
40	2,1	12,49
45	2,1	12,49
50	2,1	12,49
55	2,1	12,49
60	2,1	12,49
65	2,1	12,49
70	2,1	12,49
75	2,1	12,49
80	2,1	12,49
85	2,1	12,49
90	2	12,49
95	2,1	12,49
100	2	12,49
105	2,1	12,49
110	2	12,49
115	2	12,49
120	2	12,49
125	2,1	12,49
130	2,1	12,49
135	2	12,49
140	2	12,49
145	2,1	12,49
150	2,1	12,48
155	2,1	12,48
160	2	12,48
165	2,1	12,48
170	2,1	12,48
175	2,1	12,48
180	2,1	12,48

185	2,1	12,48
190	2,1	12,48
195	2,1	12,48
200	2,1	12,48
205	2,1	12,48
210	2,1	12,48
215	2,1	12,48
220	2,1	12,48
225	2	12,47
230	2	12,47
235	2	12,47
240	2	12,47
245	2	12,47
250	2,1	12,47
255	2,1	12,47
260	2,1	12,47
265	2	12,47
270	2	12,47
275	2,1	12,47
280	2,1	12,47
285	2,1	12,47
290	2,1	12,47
295	2,1	12,47
300	2,1	12,47

## 2. Data Pencatuan Akumulator ke Beban Lampu 14 Watt

Waktu (detik)	I (ampere)	V (volt)
0	1,4	12,8
5	1,4	12,65
10	1,4	12,58
15	1,4	12,55
20	1,4	12,54
25	1,4	12,53
30	1,4	12,52
35	1,4	12,52
40	1,4	12,52
45	1,4	12,52
50	1,4	12,51
55	1,4	12,51
60	1,4	12,51

65	1,4	12,51
70	1,4	12,51
75	1,4	12,51
80	1,4	12,51
85	1,4	12,51
90	1,4	12,51
95	1,4	12,51
100	1,4	12,51
105	1,4	12,51
110	1,4	12,51
115	1,4	12,51
120	1,4	12,5
125	1,4	12,5
130	1,4	12,5
135	1,4	12,5
140	1,4	12,5
145	1,4	12,5
150	1,4	12,5
155	1,3	12,5
160	1,3	12,5
165	1,4	12,5
170	1,4	12,5
175	1,4	12,5
180	1,4	12,5
185	1,4	12,49
190	1,4	12,49
195	1,4	12,49
200	1,4	12,49
205	1,4	12,49
210	1,4	12,49
215	1,4	12,49
220	1,4	12,49
225	1,4	12,49
230	1,4	12,49
235	1,4	12,49
240	1,4	12,49
245	1,3	12,49
250	1,3	12,49



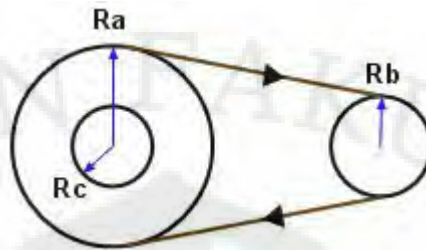
255	1,3	12,49
260	1,3	12,49
265	1,3	12,49
270	1,3	12,49
275	1,3	12,49
280	1,3	12,48
285	1,3	12,48
290	1,3	12,48
295	1,3	12,48
300	1,3	12,48

### 3. Data Pencatuan Akumulator ke Beban Lampu 5 Watt

Waktu (detik)	I (ampere)	V (volt)
0	0,8	12,74
5	0,8	12,67
10	0,8	12,62
15	0,8	12,59
20	0,8	12,57
25	0,8	12,57
30	0,8	12,56
35	0,8	12,56
40	0,8	12,55
45	0,8	12,55
50	0,8	12,55
55	0,8	12,55
60	0,8	12,55
65	0,8	12,55
70	0,8	12,55
75	0,8	12,55
80	0,8	12,55
85	0,8	12,55
90	0,8	12,55
95	0,8	12,54
100	0,8	12,54
105	0,7	12,54
110	0,7	12,54
115	0,7	12,54

120	0,8	12,54
125	0,8	12,54
130	0,8	12,54
135	0,8	12,54
140	0,8	12,54
145	0,8	12,54
150	0,8	12,54
155	0,8	12,54
160	0,8	12,54
165	0,8	12,54
170	0,7	12,54
175	0,7	12,54
180	0,8	12,54
185	0,8	12,53
190	0,8	12,53
195	0,7	12,53
200	0,8	12,53
205	0,7	12,53
210	0,8	12,53
215	0,8	12,53
220	0,8	12,53
225	0,7	12,53
230	0,8	12,53
235	0,7	12,53
240	0,8	12,53
245	0,8	12,53
250	0,8	12,53
255	0,8	12,53
260	0,8	12,53
265	0,8	12,53
270	0,7	12,53
275	0,7	12,53
280	0,7	12,53
285	0,7	12,53
290	0,7	12,53
295	0,7	12,52
300	0,7	12,52

#### 4. Perhitungan Kecepatan Putar Pedal Sepeda



Persamaan yang berlaku pada hubungan roda-roda yang dihubungkan dengan sebuah sabuk adalah sebagai berikut:

$$v_a = v_b$$

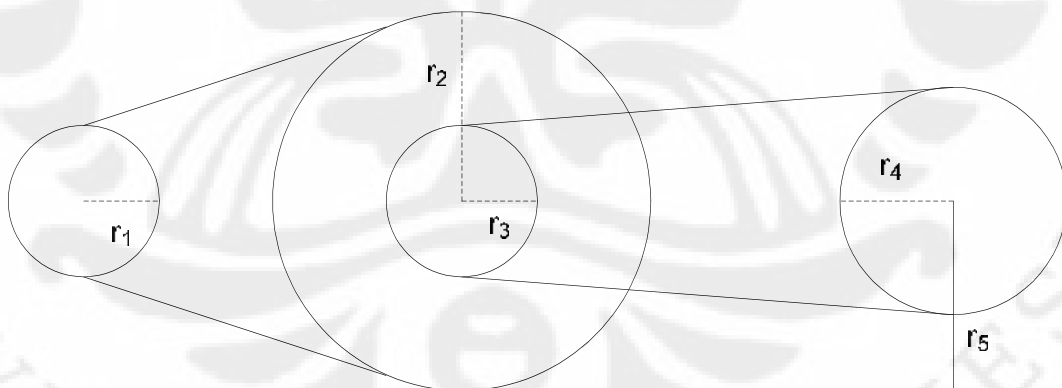
$$\omega_a \times R_a = \omega_b \times R_b$$

Sedangkan persamaan yang berlaku pada hubungan roda-roda yang sepusat adalah sebagai berikut:

$$\omega_a = \omega_c$$

$$\frac{v_a}{r_a} = \frac{v_c}{r_c}$$

Pada penelitian ini terdapat sistem hubungan roda-roda sebagai berikut:



$$r_1 = 3,5 \text{ cm}$$

$$r_2 = 28 \text{ cm}$$

$$r_3 = 3,5 \text{ cm}$$

$$r_4 = 9 \text{ cm}$$

$$r_5 = 17 \text{ cm}$$

Dengan menggunakan persamaan yang berlaku pada hubungan roda-roda yang dihubungkan dengan sebuah sabuk, untuk roda satu dan dua berlaku:

$$\begin{aligned}v_1 &= v_2 \\ \omega_1 \times r_1 &= \omega_2 \times r_2 \\ \frac{\omega_1}{\omega_2} &= \frac{r_2}{r_1} \\ \frac{\omega_1}{\omega_2} &= \frac{28}{3,5} \\ \frac{\omega_1}{\omega_2} &= 8 \\ \omega_2 &= \frac{\omega_1}{8}\end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan yang berlaku pada hubungan roda-roda yang sepusat, untuk roda dua dan tiga berlaku:

$$\begin{aligned}\omega_2 &= \omega_3 \\ \omega_3 &= \frac{\omega_1}{8}\end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan yang berlaku pada hubungan roda-roda yang dihubungkan dengan sebuah sabuk, untuk roda tiga dan empat berlaku:

$$\begin{aligned}v_3 &= v_4 \\ \omega_3 \times r_3 &= \omega_4 \times r_4 \\ \frac{\omega_3}{\omega_4} &= \frac{r_4}{r_3} \\ \frac{\omega_3}{\omega_4} &= \frac{9}{3,5} \\ \frac{\omega_3}{\omega_4} &= 2,57 \\ \omega_4 &= \frac{\omega_3}{2,57} \\ \omega_4 &= \frac{\omega_1 / 8}{2,57} \\ \omega_4 &= \frac{\omega_1}{20,56}\end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan yang berlaku pada hubungan roda-roda yang sepusat, untuk roda empat dan lima berlaku:

$$\omega_4 = \omega_5$$

$$\omega_5 = \frac{\omega_1}{20,56}$$

Pada sistem ini, kecepatan putar alternator yang diinginkan adalah 1500 rpm sehingga kecepatan putar pedal sepeda adalah:

$$\omega_5 = \frac{\omega_1}{20,56}$$

$$\omega_5 = \frac{1500}{20,56}$$

$$\omega_5 = 72,9 \text{ rpm}$$

Keliling lintasan pedal sepeda adalah

$$\begin{aligned} \text{Keliling} &= 2 \times \pi \times r \\ &= 2 \times \pi \times 17 \\ &= 106,81 \text{ cm} \\ &= 1,0681 \text{ m} \end{aligned}$$

Jika satuan kecepatan putar pedal sepeda dikonversi menjadi m/s, maka kecepatan putar pedal sepeda sama dengan

$$\begin{aligned} 72,9 \text{ rpm} &= 72,9 \times 1,0681 \\ &= 77,86 \text{ m/menit} \\ &= 1,297 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Jadi, kecepatan putar pedal adalah 72,9 rpm atau 1,297 m/s.

Sedangkan, pada pengujian pengisian akumulator, kecepatan putar rata-rata alternator adalah 1286 rpm sehingga kecepatan putar pedal sepeda adalah:

$$\omega_5 = \frac{\omega_1}{20,56}$$

$$\omega_5 = \frac{1286}{20,56}$$

$$\omega_5 = 62,55 \text{ rpm}$$

Jika satuan kecepatan putar pedal sepeda dikonversi menjadi m/s, maka kecepatan putar pedal sama dengan

$$\begin{aligned} 62,55 \text{ rpm} &= 62,55 \times 1,0681 \\ &= 66,81 \text{ m/menit} \\ &= 1,1135 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Jadi, kecepatan putar pedal sepeda pada pengujian pengisian akumulator adalah 62,55 rpm atau 1,1135 m/s.

### 5. Perhitungan Jumlah Energi yang Dikeluarkan pada Saat Mengayuh Pedal dan Energi yang Harus Dikonsumsi

1. Daya yang Dihasilkan (dalam watt)

$$\begin{aligned} P_w &= v \times \left[ 3,509 + \left\{ 0,2581 \times (v)^2 \right\} \right] \\ &= 1,1135 \times \left[ 3,509 + \left\{ 0,2581 \times (1,1135)^2 \right\} \right] \\ &= 1,1135 \times [3,509 + 0,32] \\ &= 1,1135 \times 3,829 \\ &= 4,26 \text{ watt} \end{aligned}$$

2. Daya yang Dikeluarkan (dalam kkal/s)

$$\begin{aligned} P_c &= \frac{P_w}{4186,8} \\ &= \frac{4,26}{4186,8} \\ &= 0,00102 \text{ kkal/s} \end{aligned}$$

3. Energi atau kalori yang dikeluarkan pada saat mengayuh pedal

$$\begin{aligned} C_e &= P_c \times T \\ &= 0,00102 \times 69948 \\ &= 71,34696 \text{ kkal} \end{aligned}$$

4. Energi atau kalori yang dicerna oleh tubuh

$$\begin{aligned} C_i &= \frac{C_e}{E_{ef}} \\ &= \frac{71,34696}{0,25} \\ &= 285,38784 \text{ kkal} \end{aligned}$$

5. Total energi yang dibutuhkan (kalori yang harus dikonsumsi)

$$\begin{aligned} E_t &= E_h + E_v + (19,43 \times 50) \\ &= 285,38784 + 0 + (19,43 \times 50) \\ &= 285,38784 + 971,5 \\ &= 1256,88784 \text{ kkal} \end{aligned}$$