

RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LSITRIK TENAGA ANGIN DENGAN VENTILATOR KUBAH

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Disusun oleh:

FEBRIANTO DWI WICAKSONO
NIM. 0210633037

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
MALANG
2009

RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LSITRIK TENAGA ANGIN DENGAN VENTILATOR KUBAH

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Disusun oleh:

FEBRIANTO DWI WICAKSONO
NIM. 0210633037

Telah diperiksa dan disetujui oleh
Dosen Pembimbing:

Ir. Unggul Wibawa, M.Sc
NIP. 19630106 198802 1 001

Ir. Teguh Utomo, M.T
NIP. 19650913 199103 1 003



RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LSITRIK TENAGA ANGIN DENGAN VENTILATOR KUBAH

Disusun oleh:

FEBRIANTO DWI WICAKSONO
NIM. 0210633037

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 14 Agustus 2009

DOSEN PENGUJI

Ir. Drs. Moch. Dhofir, MT
NIP. 19600701 198503 1 001

Ir. Hari Santoso, MS
NIP. 19531205 198503 1 001

Ir. Hery Purnomo, MT
NIP. 19550708 198212 1 001

Mengetahui:
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Rudy Yuwono, ST, M.Sc
NIP. 19710615 199802 1 003

ABSTRAK

FEBRIANTO DWI WICAKSONO, Jurusan Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Agustus 2009, *Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Angin Dengan Ventilator Kubah*, Dosen Pembimbing : Ir. Unggul Wibawa, M.Sc dan Ir. Teguh Utomo, M.T.

Angin merupakan salah satu bentuk energi yang dapat dikonversi menjadi energi listrik melalui sebuah sistem yang tersusun atas turbin angin dan generator. Turbin angin merubah energi kinetik angin menjadi tenaga mekanik. Tenaga mekanik tersebut kemudian dikonversi menjadi energi listrik oleh generator. Oleh sebab itu penulis ingin merancang dan membuat pembangkit listrik dengan tenaga angin yang efektif dan murah, namun bermanfaat untuk pengembangan energi alternatif. Dari hasil perancangan dan pembuatan tersebut didapatkan potensi sumber daya angin yang dapat dibangkitkan pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin. Yang menghasilkan tegangan DC dari generator untuk mengisi baterai dan kemudian disalurkan ke inverter untuk diubah menjadi tegangan AC dengan daya ± 1000 watt, dengan tegangan listrik 220 Volt AC satu fasa.

Kata-kata kunci : ventilator kubah, PLT Angin, generator.



PENGANTAR

Puji syukur dipanjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi yang berjudul “ **RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LSITRIK TENAGA ANGIN DENGAN VENTILATOR KUBAH** ” dapat diselesaikan.

Skripsi ini dibuat untuk memenuhi salah satu persyaratan mendapatkan gelar Sarjana Teknik Elektro di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Ucapan terima kasih disampaikan kepada semua pihak yang telah membantu hingga dapat diselesaikannya skripsi ini. Khususnya diucapkan kepada:

1. Bapak Rudy Yuwono, ST, MSc. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro
2. Bapak M. Aziz Muslim, ST, MT selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
3. Bapak DR. Ir. Harry Soekotjo Dachlan, MS. selaku KKDK Teknik Energi Elektrik Jurusan Teknik Elektro.
3. Bapak Ir. Unggul Wibawa, MSc. dan Ir. Teguh Utomo, MT atas bimbingan, arahan dan motivasi yang diberikan guna terselesaikannya skripsi ini.
4. Seluruh dosen dan staf karyawan di lingkungan Fakultas Teknik, khususnya Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
5. Seluruh teman-teman mahasiswa Jurusan Teknik Elektro khususnya dari paket A yang namanya tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah memberikan banyak masukan, saran dan kritik yang sangat berguna demi kesempurnaan skripsi ini.

Disadari sepenuhnya bahwa skripsi ini mungkin masih banyak kekurangan, untuk itu segala masukan, saran dan kritik yang berguna demi kesempurnaan skripsi ini sangat diharapkan.

Semoga skripsi ini bermanfaat bagi semua pihak di Universitas Brawijaya maupun pihak di luar Universitas Brawijaya demi kemajuan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi.

Malang, Agustus 2009

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR GRAFIK.....	v
DAFTAR LAMPIRAN	vi
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	1
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Ruang Lingkup	2
1.5. Tujuan Penulisan	2
1.6. Sistematika Pembahasan	2
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Dasar Energi Angin	4
2.2. Turbin Angin/Baling-baling	5
2.2.1 Jenis Turbin Angin.....	6
2.2.1.1 Turbin angin Poros Horizontal.....	6
2.2.1.2 Turbin angin Poros vertikal.....	9
2.2.2 Pengendalian Putaran.....	13
2.2.2.1 Kehilangan Kecepatan (Stalling) dan Penggulungan (Furling).....	14
2.2.2.2 Pengereman Elektromagnetik (Elektromagnetic Braking).....	15
2.2.2.3 Pengereman Mekanik (Mechanical Braking).....	15
2.3. Puli (Pulley)	16
2.4. Generator AC 3 fasa	17
2.5. Battery Charger dan Pengontrolan	22
2.6. Proses Charge dan Discharge.....	23
2.7. Battery atau Accumulator	25
2.8. Rangkaian Inverter	27
2.8.1. Penguat Op-Amp.....	28
2.8.2. Pengikut Tegangan (Buffer).....	28
2.8.3. Rancangan Rangkaian Darlington dan Transistor Hubungan Push-pull ...	30
2.8.4. Transistor	30
2.8.4.1. Karakteristik Transistor	31
2.8.4.2. Transistor Sebagai Penguat Daya.....	32
2.9. Komponen dari sistem energi angin.....	33
III. METODOLOGI PENELITIAN.....	36
3.1. Studi literatur	36
3.2. Perencanaan dan Pembuatan Alat	36
3.2.1 Turbin Angin/Baling-baling	37
3.2.2 Pulli (pulley)	40

3.2.3 Generator AC 3 fasa41

3.2.4 Rangkaian Control Charge dan Discharge41

3.2.5 Pemilihan Spesifikasi Battery43

3.2.6 Rangkaian Inverter44

3.3. Pengambilan Data.....45

3.4. Analisa Data.....46

3.5. Penarikan kesimpulan47

IV. DATA DAN ANALISIS.....48

4.1. Pengukuran Dan Perhitungan Kecepatan Angin48

4.2. Pengujian Dan Pengukuran Tegangan Output Generator.....50

4.3. Pengukuran Pengisian Battery.....51

4.4. Pengujian Rangkaian Inverter.....51

4.5. Pengukuran Tegangan Output Inverter.....52

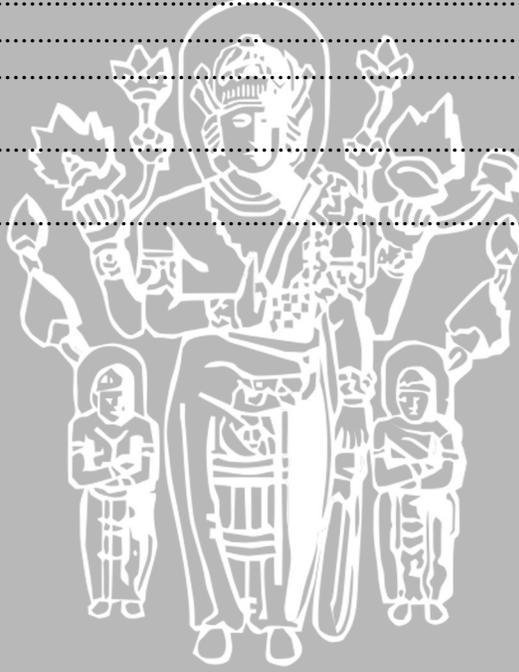
V. PENUTUP54

5.1. Kesimpulan54

5.2. Saran54

DAFTAR PUSTAKA55

LAMPIRAN56



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 3.1	Tabel Kecepatan Angin Terhadap Daya Angin	39
Tabel 4.1	Tabel Hubungan Kecepatan Angin Terhadap Putaran Generator	49
Tabel 4.2	Data Tegangan Output Generator	50
Tabel 4.3	Hasil Pengujian Inverter Beban 750 Watt.....	52



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1.	Turbin angin poros horizontal (HAWT) dan turbin angin poros vertikal (VAWT).....	6
Gambar 2.2.	Kincir angin di Doesburger, Ede, Belanda.....	7
Gambar 2.3.	Kincir angin pedesaan modern di Jerman.....	7
Gambar 2.4.	Turbin angin modern di Denmark.....	8
Gambar 2.5.	Kincir angin dengan layar berputar di Osijek, Kroasia.....	10
Gambar 2.6.	Turbin angin Darrieus di Magdalen Islands.....	10
Gambar 2.7.	Prinsip kerja turbin angin Darrieus.....	10
Gambar 2.8.	Turbin angin H-Darrieus.....	11
Gambar 2.9.	Gambar skematik turbin angin Savonius dan cara kerjanya.....	11
Gambar 2.10.	Turbin Windstar.....	11
Gambar 2.11.	Resistor pengereman dinamik pada turbin angin.....	15
Gambar 2.12.	Sistem transmisi puli dan sabuk.....	16
Gambar 2.13.	Lilitan stator generator AC 3 fasa.....	18
Gambar 2.14.	Arus 3 fasa sesaat.....	19
Gambar 2.15.	Penampang sebuah generator AC 3 fasa.....	20
Gambar 2.16.	Gambar skematik diagram generator (alternator) dan susunan dioda.....	21
Gambar 2.17.	Rangkaian kontrol charger dan discharge.....	22
Gambar 2.18.	Proses Charge dengan Arus Konstan.....	23
Gambar 2.19.	Proses Discharge dengan Arus Konstan.....	23
Gambar 2.20.	Proses Charge dengan Daya Konstan.....	24
Gambar 2.21.	Proses Discharge dengan Daya Konstan.....	24
Gambar 2.22.	Proses Charge dengan arus konstan /tegangan konstan.....	24
Gambar 2.23.	Proses Discharge dengan Resistansi Konstan.....	25
Gambar 2.24.	Koneksi generator dengan accu.....	26
Gambar 2.25.	Gambar rangkaian lengkap inverter.....	26
Gambar 2.26.	Rangkaian Astable multivibrator.....	28
Gambar 2.27.	Penguat <i>op-amp</i> , (a). Penguat <i>Inverting</i> dan (b) Penguat Non <i>Inverting</i>	28
Gambar 2.28.	Rangkaian Pengikut Tegangan (<i>Buffer</i>).....	29
Gambar 2.29.	Simulasi Blok Rangkaian Pengikut Tegangan (<i>Voltage Follower</i>) (a) Rangkaian Pengikut Tegangan (b) Hasil simulasi.....	29
Gambar 2.30.	Simulasi Blok Penguat Arus (a) Rangkaian Penguat Arus (b) Hasil Simulasi.....	30
Gambar 2.31.	(a) Transistor jenis bahan NPN (b) Transistor jenis bahan PNP.....	30
Gambar 2.32.	Simbol Transistor NPN dan PNP.....	31

Gambar 2.33.	Bias Transistor.....	31
Gambar 2.34.	Karakteristik Transistor.....	32
Gambar 2.35.	(a). Penguat Sistem <i>Balans</i> , (b) Sinyal <i>Output</i>	33
Gambar 2.36.	Gambar kurva kecepatan angin dan tegangan keluaran.....	34
Gambar 2.37.	Gambar kurva perbandingan kecepatan angin dengan tegangan.....	34
Gambar 3.1.	Gambar blok diagram alat.....	36
Gambar 3.2.	Rancangan pembuatan alat.....	37
Gambar 3.3.	Gambar ventilator kubah dan spesifikasi.....	38
Gambar 3.4.	Gambar skema generator Delco Remy 21SI.....	41
Gambar 3.5.	Rangkaian kontrol pengisian battery.....	42
Gambar 3.6.	Simbol diode led.....	42
Gambar 3.7.	Rangkaian Dummy-load.....	42
Gambar 3.8.	Rangkaian komparator pendeteksi panas.....	43
Gambar 3.9.	Gambar rangkaian lengkap inverter.....	44
Gambar 3.10	Rangkaian astable multivibrator IC 4047.....	45
Gambar 4.1	Hubungan generator dengan avometer.....	50
Gambar 4.2	Blok diagram pengukuran pengisian battery.....	51
Gambar 4.3	Blok diagram pengujian inverter beban 750 watt.....	52
Gambar 4.5	Pengukuran frekuensi Pada output terminal inverter.....	52
Gambar 4.6	Rangkaian osilator pembangkit gelombang kotak.....	53



DAFTAR GRAFIK

No.	Judul	Halaman
Grafik 3.1	Grafik kecepatan angin terhadap daya angin.....	40
Grafik 4.1	Grafik hubungan kecepatan angin terhadap putaran generator.....	49
Grafik 4.2	Grafik hubungan kecepatan angin terhadap tegangan output.....	50



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
1.	Lampiran Foto Pembangkit Listrik Tenaga Angin dengan Ventilator Kubah	56
2.	DELCO REMY 21SI.....	59
3.	IC 4047 DATASHEET.....	61
4.	TRANSISTOR 2N3055 DATASHEET.....	63
5.	DATA KLIMATOLOGI TAHUN 2008.....	65



BAB I PENDAHULUAN

Latar Belakang

Tidak dapat dipungkiri bahwa kebutuhan masyarakat akan listrik sudah merupakan kebutuhan yang mendasar. Hal ini disebabkan oleh perkembangan teknologi yang semakin hari kian maju, sehingga tidak hanya masyarakat perkotaan saja yang dapat menikmatinya tetapi masyarakat pedesaan pun juga menginginkannya. Sehingga dengan demikian perkembangan teknologi dan informasi dapat menjangkau masyarakat pedesaan yang jauh, meskipun lokasi pemukimannya ada di lereng gunung.

Jaringan listrik di Indonesia belum menjangkau di seluruh pelosok tanah air, sehingga tidak sedikit warga yang berada jauh di pedesaan tidak dapat menikmati penerangan dengan listrik.

Untuk alasan tersebut di atas terpikirkan untuk membuat jaringan listrik dengan memanfaatkan sumber daya alam, yaitu angin. Dengan sumber angin ini dapat kita buat sebuah generator listrik AC tiga fasa yang porosnya digabungkan dengan baling-baling, atau dengan bahasa awam disebut dengan kincir angin.

Oleh karena itu perlu dikembangkan suatu model kincir angin yang dapat berpotensi untuk menghasilkan daya angin yang besar, sehingga dapat digunakan untuk pembangkit listrik tenaga angin. Dan nantinya dapat bermanfaat juga untuk pengembangan energi alternatif. Saat ini sering kali kita jumpai model kincir angin berbentuk kubah (ventilator kubah) yang memiliki banyak sudu. Karena memiliki banyak sudu, kincir angin tersebut dapat bekerja pada kecepatan angin yang sangat kecil yaitu 0.12 m/s. Sehingga diharapkan nantinya ventilator kubah dapat digunakan sebagai turbin untuk pembangkit listrik tenaga angin.

Rumusan Masalah

Dari latar belakang didapatkan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana potensi penempatan pembangkit listrik tenaga angin dengan ventilator kubah di daerah kota Malang ?
2. Bagaimana potensi daya, tegangan, serta arus yang dapat dibangkitkan oleh pembangkit listrik tenaga angin dengan ventilator kubah ?

Batasan Masalah

Agar pembahasan tidak terlalu luas dan tujuan penulisan dapat tercapai, maka diberikan batasan masalah dalam skripsi ini, yaitu:

1. Digunakan konstruksi dasar pembangkit listrik tenaga angin dengan ventilator kubah .
2. Spesifikasi tentang bahan pembuatan baling-baling tidak dibahas.
3. Tidak membahas konstruksi tiang (tower).
4. Pengujian dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Terbarukan/Surya, Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam pembahasan skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisa potensi penempatan pembangkit listrik tenaga angin dengan ventilator kubah di daerah kota Malang.
2. Menganalisa potensi daya, tegangan, serta arus yang dapat dibangkitkan oleh pembangkit listrik tenaga angin dengan ventilator kubah.

Tujuan Penulisan

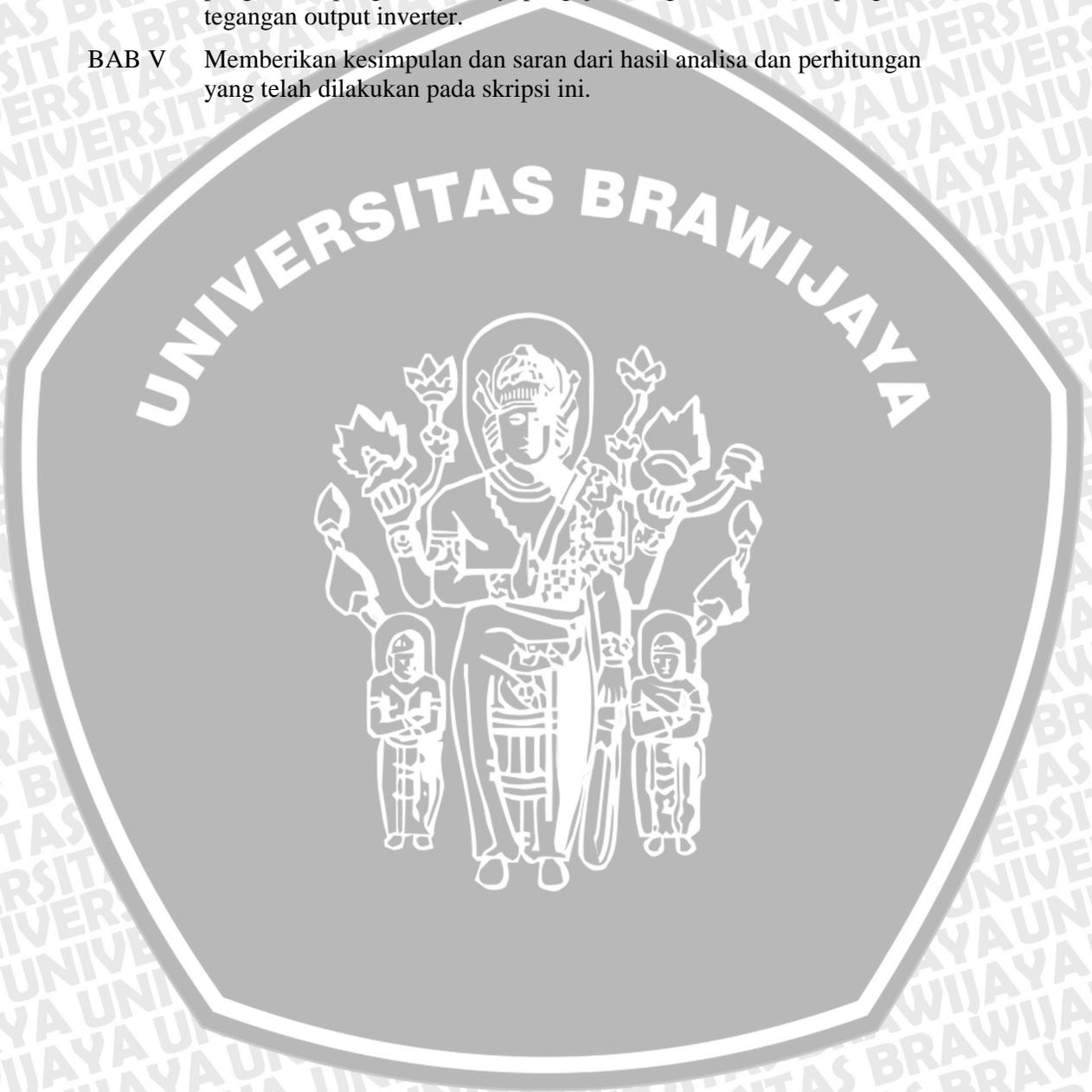
Tujuan dari penyusunan skripsi ini adalah menganalisa potensi penempatan pembangkit listrik tenaga angin dengan ventilator kubah di daerah kota Malang, serta menganalisa potensi daya, tegangan, serta arus yang dapat dibangkitkan oleh pembangkit listrik tenaga angin dengan ventilator kubah.

Sistematika Pembahasan

Sistematika pembahasan dalam penulisan skripsi ini, disusun sebagaimana berikut ini:

- BAB I Pendahuluan berisikan uraian tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, ruang lingkup, tujuan dan sistematika pembahasan.
- BAB II Tinjauan pustaka berisikan tentang dasar energi angin, turbin angin, puli, generator, battery charger dan pengontrolan, proses charge dan discharge, battery atau accumulator, rangkaian inverter, dan komponen dari sistem angin.

- BAB III** Metode penelitian yang menjelaskan tentang langkah-langkah yang diambil untuk menyelesaikan skripsi ini antara lain studi literatur, perencanaan dan pembuatan alat, pengambilan data, analisa data, menarik kesimpulan.
- BAB IV** Menganalisa data yang berasal dari pengukuran dan perhitungan kecepatan angin, pengujian dan pengukuran tegangan output generator, pengukuran pengisian battery, pengujian rangkaian inverter, pengukuran tegangan output inverter.
- BAB V** Memberikan kesimpulan dan saran dari hasil analisa dan perhitungan yang telah dilakukan pada skripsi ini.



**BAB II
TINJAUAN PUSTAKA**

2.1 Dasar Energi Angin

Energi angin telah lama dikenal dan dimanfaatkan manusia. Perahu-perahu layar menggunakan energi ini untuk melewati perairan sudah lama sekali. Dan sebagaimana diketahui, pada asalnya angin terjadi karena ada perbedaan suhu antara udara panas dan udara dingin. Di tiap daerah keadaan suhu dan kecepatan angin berbeda. Untuk mengurangi keterbatasan penggunaan energi yang sudah ada dalam pembangkitan energi listrik khususnya maka diperlukan energi-energi alternatif lain sebagai penggantinya. Dalam rangka mencari bentuk-bentuk sumber energi alternatif yang bersih dan pengembangan kembali energi angin mendapat perhatian yang besar.

Sebagaimana diketahui menurut fisika klasik energi kinetik dari suatu benda dengan massa m dan kecepatan v adalah $E = 0.5 mv^2$, dengan ketentuan, kecepatan v tidak mendekati kecepatan cahaya. Rumus itu juga berlaku untuk angin, yang merupakan udara yang bergerak.

Sehingga $E = 0.5 mv^2$ (1)

- Dengan: $E =$ Energi (joule);
- $m =$ massa udara (kg);
- $v =$ kecepatan angin (m/detik).

Bilamana suatu “blok” udara, yang mempunyai luas penampang $A \text{ m}^2$, dan bergerak dengan kecepatan v m/detik, maka jumlah massa, yang melewati sesuatu tempat adalah:

$m = A.v.q.t$ (kg)..... (2)

- Dengan: $A =$ penampang (m^2);
- $v =$ kecepatan (m/det);
- $q =$ kepadatan udara (kg/m^3).

Dengan demikian, maka energi yang dapat dihasilkan per satuan waktu adalah:

$P = E$ per satuan waktu
 $= 0,5 q.A.v^3$ persatuan waktu..... (3)

- Dengan: $P =$ daya (W);
- $E =$ Energi (J);
- $q =$ kepadatan udara (kg/m^3);
- $A =$ luas penampang (m^2);
- $v =$ kecepatan (m/det).

Untuk keperluan praktis sering dipakai rumus pendekatan berikut:

$$P = k.A.v^3 \dots\dots\dots (4)$$

Dengan: $P =$ daya (kW);

$k =$ suatu konstanta ($1,37.10^{-5} \text{ det}^3.kW/m^5$);

$A =$ luas sudu kipas (m^2);

$v =$ kecepatan angin (m/det).

Walaupun pada persamaan (4) besaran-besaran k dan A digambarkan sebagai konstanta-konstanta, pada dasarnya dalam besaran k tercermin pula faktor-faktor seperti geseran dan efisiensi sistem, yang juga tergantung dari kecepatan angin v . Sedangkan luas A tergantung pula misalnya dari bentuk sudu, yang juga dapat berubah dengan besaran v . Untuk keperluan-keperluan estimasi sementara yang sangat kasar, sering dipakai rumus sederhana berikut:

$$p = 0,1.v^3 \dots\dots\dots (5)$$

Dengan: $p =$ daya per satuan luas (W/m^2);

$v =$ kecepatan angin, ($m/detik$).

Dalam buletin FAO internal working yang berjudul "Windmills for water lifting and the generator of electricity on he farm" yang ditulis oleh E.W. Golding, dihasilkan suatu rumus tentang daya yang dihasilkan dari energi angin sebagai berikut:

$$P = k.F.A. .v^3 \dots\dots\dots (6)$$

Dengan: $P =$ daya (kW);

$k =$ konstanta = $1,37.10^{-5}$;

$F =$ faktor = $0,5926$;

yang merupakan bagian dari angin, yang dapat secara maksimal dimanfaatkan dengan sebuah kipas dari tenaga angin, adalah:

$A =$ penampang arus angin (m^2);

$=$ efisiensi rotor dan peralatan lainnya;

$v =$ kecepatan angin. ($m/detik$).

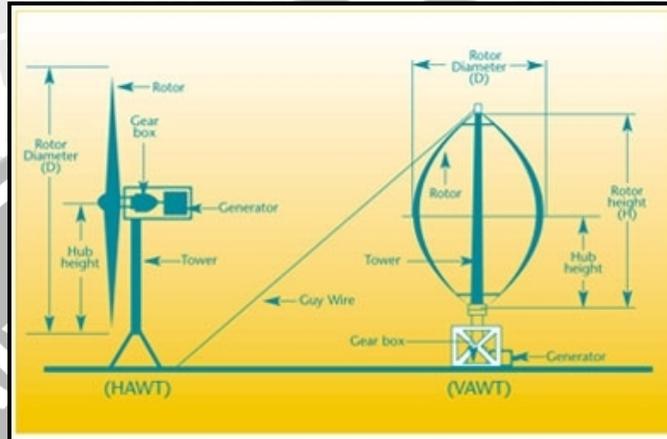
2.2 Turbin Angin / Baling-baling

Turbin angin merupakan alat koversi energi untuk mengubah energi angin (energi kinetik) menjadi energi mekanik yang selanjutnya digunakan untuk menggerakkan (memutar) rotor dari generator listrik.

2.2.1 Jenis Turbin Angin

Berdasarkan poros perputarannya, maka turbin angin dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu:

- Turbin Angin Poros Horizontal (*Horizontal Axis Wind Turbine/HAWT*)
- Turbin Angin Poros Vertikal (*Vertical Axis Wind Turbine/VAWT*)



Gambar 2.1 Turbin angin poros horizontal (HAWT) dan turbin angin poros vertikal (VAWT)

Sumber: Colonize Antarctica, 2008

2.2.1.1 Turbin Angin Poros Horizontal

Turbin Angin Poros Horizontal memiliki batang rotor utama dan generator listrik pada bagian atas menara (*tower*) dan harus diarahkan menuju angin. Untuk turbin yang kecil diarahkan oleh baling-baling sederhana sementara untuk turbin yang besar menggunakan sensor angin yang dipadukan dengan motor servo. Sebagian besar memiliki gearbox yang mengubah putaran rendah/pelan dari sudu-sudu (*blades*) menjadi putaran yang lebih cepat yang sesuai dengan generator.

Ketika menara menghasilkan turbulensi di belakangnya, turbin diarahkan melawan arah angin (*upwind*) dari menara. Sudu-sudu turbin dibuat kaku untuk mencegah tertekan meju menara oleh angin yang keras. Sudu-sudu juga diletakkan pada jarak tertentu di depan menara dan kadang-kadang dibuat sedikit agak mendongak ke atas.

Mesin (turbin) yang searah dengan angin telah dibuat, walaupun terdapat masalah turbulensi, karena turbin ini tidak membutuhkan mekanisme tambahan untuk menjaganya tetap searah dengan angin, dan karena pada angin yang keras, sudu-sudu dapat ditekuk sehingga mengurangi daerah sapuan (*swept area*) dan hamabatan angin.

Akan tetapi sebagian besar turbin poros horizontal (HAWT) adalah tipe upwind karena alasan kehandalan dan turbulensi yang dapat mengakibatkan kerusakan.

Turbin angin poros horizontal memiliki beberapa varian lagi, antara lain:

- Kincir angin (*windmill*)
- Kincir angin pedesaan modern (*modern rural windmill*)
- Turbin angin modern (*modern wind turbin*)



Gambar 2.2 Kincir angin di Doesburger, Ede, Belanda
Sumber: [wikipedia](#), 2009



Gambar 2.3 Kincir angin pedesaan modern di Jerman
Sumber: [wikipedia](#), 2009



Gambar 2.4 Turbin angin modern di Denmark
Sumber: wikipedia, 2009

Turbin angin poros horizontal memiliki beberapa keuntungan dan kerugian pada aplikasinya. Berikut angin dibahas mengenai keuntungan dan kerugian tersebut.

Keuntungan turbin angin poros horizontal (HAWT) adalah:

- Sudu-sudu terletak di samping pusat gravitasi turbin sehingga membantu stabilitas
- Dapat melengkungkan sayap, sehingga memberikan sudut serang (*angle of attack*) yang baik pada sudu-sudu turbin
- Memungkinkan sudut serang dapat diatur secara terpisah untuk memungkinkan pengendalian yang lebih baik, sehingga turbin dapat menangkap energi angin dalam jumlah yang maksimum
- Sudu-sudu rotor dapat ditala pada kondisi badai untuk meminimalkan kerusakan
- Menara yang tinggi dapat memberikan akses pada angin yang lebih kencang pada daerah perpotongan angin (*wind shear*). Pada daerah ini setiap kenaikan tinggi 10 meter, kecepatan angin meningkat 20% dan daya keluaran meningkat 34%
- Menara yang tinggi dapat ditempatkan pada daerah lepas pantai
- Dapat ditempatkan juga di hutan di atas garis tinggi pepohonan
- Memiliki kemampuan start sendiri (*self-starting*)
- Memiliki harga lebih murah karena kapasitas produksi yang tinggi, ukuran yang besar, faktor kapasitas yang besar dan efisiensi yang tinggi

Kerugian turbin angin poros horizontal (HAWT) adalah:

- Sukar dioperasikan pada ketinggian dekat dengan tanah karena adanya angin aliran turbulen. Bantalan (*bearing*) dari sudu-sudu membutuhkan aliran angin yang halus dan lebih laminar

- Menara yang tinggi dan sudu-sudu yang panjang (hingga 180 kaki dan panjang sudu 50m) lebih sukar diangkut baik melalui jalan darat maupun laut. Biaya transportasi dapat mencapai 20% dari biaya peralatan.
- Turbin dengan menara yang tinggi lebih sukar dirakit/dipasang karena membutuhkan *crane* yang sangat tinggi dan mahal serta membutuhkan operator yang kompeten
- Suplai (produksi) turbi angin poros horizontal lebih rendah daripada permintaan, dan antara tahun 2004 dan 2006 harga turbin meningkat hingga 60%. Pada akhir tahun 2006, seluruh produsen besar telah dipesan dengan pesanan hingga tahun 2008
- HAWT yang tinggi mempengaruhi radar pada pangkalan udara
- Menara lepas pantai dapat menimbulkan masalah navigasi dan harus dipasang pada laut yang dangkal
- Varian downwind (searah dengan arah angin) mempunyai kelemahan kerusakan struktural dan jam operasi yang rendah yang disebabkan oleh turbulensi

2.2.1.2 Turbin Angin Poros Vertikal

Turbin angin poros vertikal mempunyai batang rotor utama yang berputar secara vertikal. Keuntungan utama dari susunan seperti ini adalah bahwa generator dan atau gearbox dapat diletakkan pada bagian bawah, sehingga menara tidak perlu menopang generator dan gearbox, dan juga turbin tidak perlu diarahkan menghadap angin. Kelemahannya adalah torsi yang fluktuatif yang dihasilkan selama perputaran dan tarikan yang ditimbulkan ketika sudu-sudu berputar. Merupakan hal yang sukar untuk menempatkan turbin poros vertikal pada menara, yang berarti turbin harus dioperasikan pada kecepatan yang jauh lebih rendah, lebih banyak aliran udara turbulen dekat tanah, yang pada akhirnya menghasilkan efisiensi rendah pada pembangkitan energi.

Turbin angin poros vertikal memiliki beberapa keuntungan dan kerugian pada aplikasinya. Berikut angin dibahas mengenai keuntungan dan kerugian tersebut.

Turbin angin vertikal memiliki beberapa varian lagi berdasarkan konfigurasi rotornya, antara lain:

- Kincir angin dengan layar berputar
- Turbin Angin Darrieus
- Turbin Angin H-Darrieus
- Turbin Angin Savonius

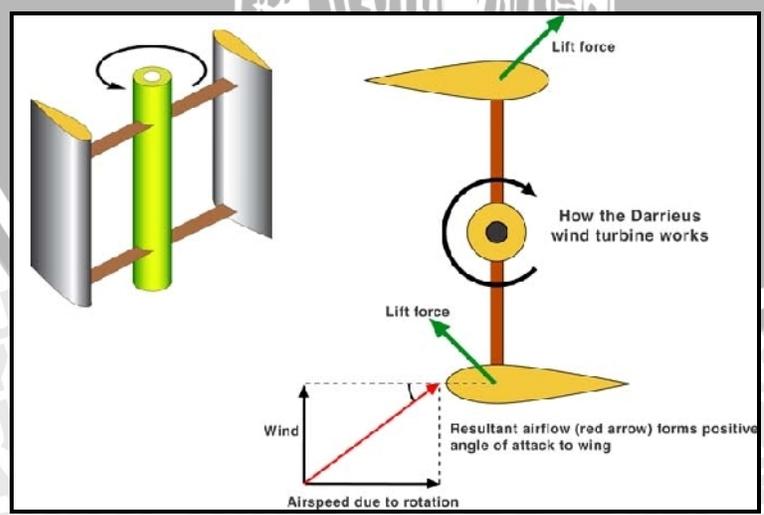
- Turbin Windstar



Gambar 2.5 Kincir angin dengan layar berputar di Osijek, Kroasia
Sumber: wikipedia, 2009



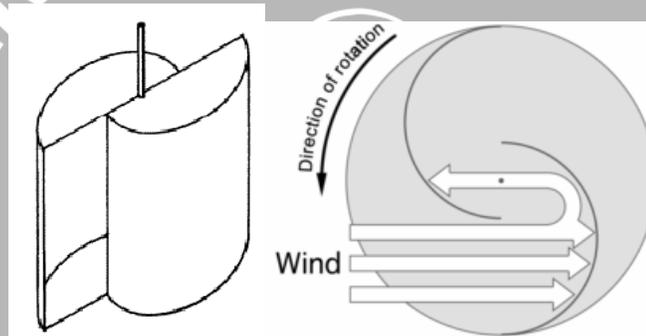
Gambar 2.6 Turbin angin Darrieus di Magdalen Islands
Sumber: wikipedia, 2009



Gambar 2.7 Prinsip kerja turbin angin Darrieus
Sumber: wikipedia, 2009



Gambar 2.8 Turbin angin H-Darrieus
Sumber: wikipedia, 2009



Gambar 2.9 Gambar skematik turbin angin Savonius dan cara kerjanya
Sumber: [wikipedia](#), 2009



Gambar 2.10 Turbin Windstar
Sumber: [wikipedia](#), 2009

Keuntungan turbin angin poros vertikal (VAWT) adalah:

- Lebih mudah dalam perawatannya karena sebagian besar bagian berputar terletak dekat dengan tanah. Hal ini dikarenakan bentuk turbin angin yang vertikal. Airfoil atau sudu-sudu rotor dihubungkan dengan lengan menuju batang yang berada pada bantalan (*bearing*) dan menggerakkan generator di bawahnya, biasanya dengan hubungan langsung melalui gearbox

- Karena sudu-sudu rotor yang vertikal, perangkat pengarah angin (*yaw device*) tidak dibutuhkan, sehingga mengurangi kebutuhan akan *bearing* dan menurunkan biaya (*cost*)
- Turbin angin vertikal memiliki sudut penalaan airfoil yang tinggi sehingga meningkatkan aerodinamika dan mengurangi *drag* pada tekanan rendah dan tinggi
- Memiliki ketinggian yang rendah
- Turbin angin vertikal yang kecil lebih mudah diangkut dan dipasang/dirakit
- Tidak membutuhkan menara yang berdiri secara terpisah sehingga lebih murah dan lebih kuat pada angin besar
- Tidak perlu diarahkan menghadap angin karena dapat berputar tanpa memperhatikan arah angin.
- Dapat dibuat yang jauh lebih besar daripada turbin angin horizontal

Kerugian turbin angin poros vertikal (VAWT) adalah:

- Sebagian besar VAWT menghasilkan energi pada efisiensi 50% dari efisiensi HAWT pada ukuran besar karena gesekan/ tahanan (*drag*) tambahan saat sudu-sudu berputar. Hal ini dapat diatasi dengan menggunakan struktur seperti corong dan mengarahkan angin pada rotor.
- Terdapat batasan ketinggian pada turbin angin yang dapat dibangun dan seberapa banyak daerah sapuan (*swept area*) yang dapat dicakup. Tetapi hal ini dapat diatasi dengan menghubungkan sejumlah turbin secara bersama-sama pada pola segitiga dengan kait yang melintasi bagian atas struktur. Cara ini dapat mengurangi penyangga vertikal, dan memungkinkan sudu-sudu turbin dibuat lebih panjang
- Sebagian besar VAWT harus dipasang pada bagian tanah yang relatif datar dan tidak terlalu curam. Sementara bagian yang curam masih dapat digunakan oleh HAWT
- Sebagian besar VAWT memiliki torsi start yang rendah sehingga membutuhkan energi awal untuk memutarinya
- VAWT yang membutuhkan kawat pemandu (*guide wires*) untuk menahan turbin pada tempatnya mengakibatkan tekanan pada bantalan (*bearing*) bawah sementara seluruh berat pada rotor bertumpu pada bearing. Kawat pemandu yang dipasang pada bagian atas bearing meningkatkan gaya tekan ke bawah pada saat angin berhembus keras. Pemecahan masalah ini membutuhkan struktur yang kuat untuk

menahan bearing atas pada tempatnya untuk mengurangi gaya tekan ke bawah dari angin yang berhembus keras

- Penggantian suku cadang menjadi rumit (harus membongkar instalasi) jika tidak didesain dengan tepat.

2.2.2 Pengendalian Putaran

Rasio kecepatan ujung (*tip speed ratio*) adalah perbandingan/rasio antara kecepatan angin dan kecepatan pada ujung sudu turbin angin. Turbin tiga sudu efisiensi tinggi memiliki rasio kecepatan ujung/kecepatan angin antara 6 sampai 7.

Turbin angin modern dirancang untuk berputar pada kecepatan yang bervariasi. Penggunaan aluminium dan komposit pada sudu telah menyumbangkan inersia putar yang rendah, yang berarti turbin angin yang lebih baru dapat berakselerasi lebih cepat jika mendapat angin, dan menjaga *tip speed ratio* hampir konstan. Operasi dekat dengan *tip speed ratio* optimal selama tiupan angin keras yang sering terjadi memungkinkan turbin angin meningkatkan energi yang ditangkap dari hembusan keras tiba-tiba yang merupakan setting tipikal daerah kota.

Berlawanan dengan turbin angin tipe yang lebih lama, yang dirancang dengan sudu baja yang lebih berat, yang memiliki inersia lebih tinggi, dan berputar pada kecepatan yang diatur oleh frekuensi arus bolak-balik dari jaringan daya listrik. Inersia yang tinggi menyangga perubahan kecepatan putar sehingga membuat daya keluaran lebih stabil.

Kecepatan dan torsi dimana turbin angin berputar harus dikendalikan untuk beberapa alasan, yaitu:

- Mengoptimalkan efisiensi aerodinamika dari rotor pada angin yang lemah
- Menjaga generator pada kecepatan kerjanya dan batas torsinya.
- Menjaga rotor dan poros pada batas gaya sentripetalnya. Gaya sentripetal dari perputaran rotor meningkatkan sebagai kuadrat dari kecepatan putar, yang membuat struktur sensitif/peka terhadap kecepatan lebih (*overspeed*)
- Menjaga rotor dan menara pada batas kekuatannya. Karena daya angin meningkat sebagai kuadrat kecepatan angin, turbin harus dibangun untuk tahan terhadap beban angin yang lebih besar (misal saat hembusan keras angin) daripada yang mampu ditahan pada pembangkitan energi praktis/normal. Sebagian besar turbin angin memiliki cara untuk mengurangi torsi saat angin keras.
- Memudahkan dilakukan perawatan (*maintenance*) karena berbahaya bagi orang yang bekerja pada turbin angin jika sedang aktif, kadang-kadang diharuskan turbin agar berhenti total.

- Untuk mengurangi noise. Noise dari turbin angin meningkat dengan daya keenam dari kecepatan angin relatif (seperti terlihat dari ujung bergerak dari sudu-sudu). Pada daerah yang sensitif terhadap noise, kecepatan ujung (*tip speed*) dibatasi hingga kira-kira 60 m/s

Pengendalian kecepatan lebih (*overspeed*) diusahakan melalui dua cara: aerodinamika *stalling* atau *furling* dan pengereman mekanik (*mechanical braking*). *Furling* merupakan metode yang lebih disukai dalam meperlambat turbin angin.

2.2.2.1 Kehilangan Kecepatan (*Stalling*) dan Penggulungan (*Furling*)

Stalling terjadi dengan meningkatkan sudut serang (*angle of attack*), dan mengurangi drag. *Stalling* cukup sederhana karena terjadi secara pasif (akan meningkat jika kecepatan angin bertambah), tetapi meningkatkan penampang melintang dari sudu yang menghadap angin. Sudu turbin angin mengalami *stall* penuh, ketika berhenti maka bagian datar sudu turbin menghadap langsung ke angin.

Penggulungan (*furling*) terjadi dengan menurunkan sudut serang, sehingga mengurangi drag dan lift rotor serta mengurangi penampang melintang sudu yang menghadap angin. Salah satu masalah utama dalam merancang turbin angin adalah agar sudu dapat *stall* atau *furl* secepat mungkin ketika angin keras menyebabkan akselerasi secara mendadak. Sudu turbin yang menggulung penuh, ketika berhenti, maka bagian tepi/pipih (*edge*) dari sudu menghadap angin.

Turbin angin poros horizontal (HAWT) kecepatan konstan akan meningkatkan sudut serangnya pada kecepatan angin yang tinggi saat sudu-sudu mengalami pertambahan kecepatan. Teknik ini telah berhasil digunakan pada HAWT saat ini. Tetapi hasil pengamatan pada beberapa pasang sudu, derajat dari penalaan sudu (*blade pitch*) cenderung meningkatkan level *audible noise* (berisik/bising yang dapat didengar). Turbin modern standar akan menggulung secara penuh pada kecepatan angin yang tinggi. Penggulungan membutuhkan aksi/gaya untuk melawan torsi sudu sehingga memerlukan pengendalian sudut tala (*pitch angle control*), yang kebanyakan menggunakan sistem hidrolik. Ada juga yang menggunakan servomotor elektrik pada setiap sudu. Jenis ini memiliki baterai sebagai cadangan jika terjadi gangguan pada jaringan listrik. Turbin angin yang kecil menggunakan penalaan variabel (*variable pitching*) yang digerakkan oleh gaya sentrifugal.

Turbin angin kecepatanvariabel menggunakan penggulungan sebagai metode utama pengendalian putaran. Turbin angin memiliki tiga mode operasi:

- Operasi di bawah kecepatan angin nominal
- Operasi di sekitar kecepatan angin nominal
- Operasi di atas kecepatan angin nominal

Di atas kecepatan angin nominal, rotor akan menggulung pada suatu sudut tertentu untuk mempertahankan torsi.

2.2.2.2 Pengereman Elektromagnetik (*Electromagnetic Braking*)

Pengereman turbin dapat juga dilakukan dengan membuang energi dari generator menuju resistor, sehingga mengubah energi kinetik dari turbin menjadi panas. Metode ini sangat berguna jika beban pada generator dikurangi mendadak atau terlalu kecil untuk menjaga kecepatan turbin pada batas yang diijinkan.

Pengereman ini mengakibatkan kecepatan sudu-sudu menurun, meningkatkan efek stall (kehilangan kecepatan), mengurangi efisiensi sudu. Dengan cara ini, putaran turbin dapat dijaga pada kecepatan aman saat angin bertiup kencang sambil mempertahankan daya keluaran nominal.



Gambar 2.11 Resistor pengereman dinamik pada turbin angin
Sumber: solar navigator, 2005

2.2.2.3 Pengereman Mekanik (*Mechanical Braking*)

Rem tabung mekanik atau rem cakram digunakan untuk menahan turbin saat perbaikan/perawatan (maintenance). Pengereman ini dilakukan hanya setelah pengurangan kecepatan oleh penggulangan sudu dan pengereman elektromekanik. Rem mekanik digunakan untuk menghentikan turbin dari kecepatan penuh.

2.3 Puli (pulley)

Pada sistem transmisi puli (pulley) dan sabuk (belt) berlaku: [Hagendoorn, 1989:20]

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{r_2}{r_1}$$

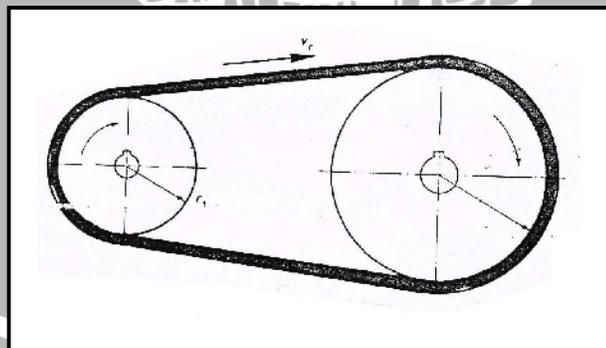
atau

$$n_1 = \frac{r_2}{r_1} \cdot n_2 \dots\dots\dots (2.9)$$

dimana :

- n_1 : Kecepatan putar puli 1 (rpm)
- n_2 : Kecepatan putar puli 2 (rpm)
- r_1 : Jari-jari puli 1 (m)
- r_2 : Jari-jari puli 2 (m)

Dengan sistem transmisi puli dan sabuk (gambar 2.12), maka kecepatan putar rotor generator dapat diatur pada nilai tertentu berdasarkan kecepatan putar turbin. Dengan mengubah perbandingan jari-jari puli sistem transmisi, maka akan didapatkan nilai kecepatan putar yang berbeda-beda tergantung dengan nilai perbandingannya



Gambar 2.12 Sistem transmisi puli dan sabuk

Sumber: Hagendoorn, 1989:23

2.4 Generator AC 3 fasa

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

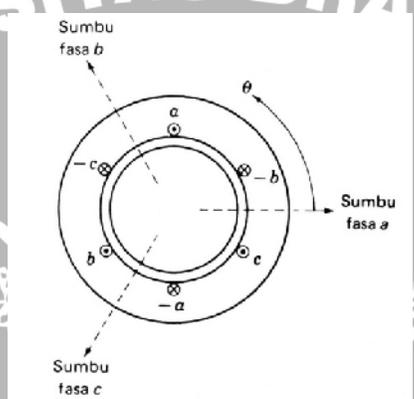
Generator adalah sebuah mesin yang menggunakan magnet untuk mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Prinsip generator secara sederhana dapat dikatakan bahwa tegangan diinduksikan pada konduktor apabila konduktor tersebut bergerak pada medan magnet sehingga memotong garis gaya. Hukum tangan kiri berlaku pada generator dimana menyebutkan bahwa terdapat hubungan antara penghantar bergerak, arah medan magnet, dan arah resultan dari aliran arus yang terinduksi. Apabila ibu jari menunjukkan arah gerakan penghantar, telunjuk menunjukkan arah fluks, jari tengah menunjukkan arah aliran elektron yang terinduksi. Hukum ini juga berlaku apabila magnet sebagai pengganti penghantar yang digerakkan. Jumlah tegangan yang diinduksikan pada penghantar saat penghantar bergerak pada medan magnet tergantung pada :

- a. Kekuatan medan magnet, makin kuat medan makin besar tegangan yang diinduksikan.
- b. Kecepatan penghantar dalam memotong fluks, makin cepat maka semakin besar tegangan yang diinduksikan.
- c. Sudut perpotongan, pada sudut 90 derajat tegangan induksi maksimum dan tegangan kurang bila kurang dari 90 derajat.
- d. Panjang penghantar pada medan magnet.

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

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

Pada generator 3 fasa, lilitan dari masing-masing fasa terpisah satu dengan yang lain sebesar 120 derajat listrik dalam ruang di sekitar keliling celah udara, seperti tampak pada kumparan a, -a, b, -b, dan c, -c seperti tampak pada gambar 2.13 di bawah ini.



Gambar 2.13 Lilitan stator generator AC 3 fasa
 Sumber: Fitzgerald, 1997: 154

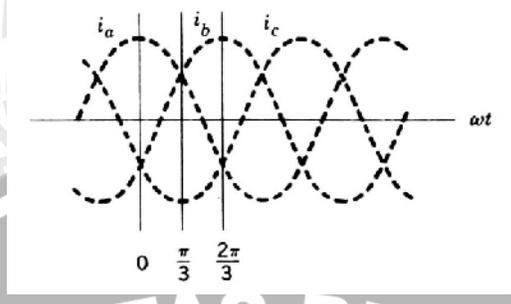
Kumparan langkah penuh terpusat yang diperlihatkan menggambarkan lilitan terbagi yang menghasilkan gelombang agm sinus yang berpusat pada sumbu magnet dari masing-masing fasa. Ketiga komponen gelombang agm sinusoida satu sama lain berbeda sebesar 120 derajat listrik dalam ruang. Tetapi tiap fasa dipteral oleh arus bolak-balik yang magnetudonya berubah-ubah secara sinusoida menurut waktu. Dalam keadaan fasa 3 setimbang besarnya arus sesaat adalah :

$$i_a = I_m \cos \omega t \dots\dots\dots (9)$$

$$i_b = I_m \cos (\omega t - 120^\circ) \dots\dots\dots (10)$$

$$i_c = I_m \cos (\omega t - 240^\circ) \dots\dots\dots (11)$$

dimana I_m merupakan harga maksimum arus dan titik awal waktu dapat diambil sembarang yaitu pada saat arus fasa a berharga maksimum positif. Urut-urutan fasanya diambil abc. Besarnya arus sesaat diperlihatkan pada gambar 2.14.



Gambar 2.14 Arus 3 fasa sesaat
 Sumber: Fitzgerald, 1997: 154

Agm dari fasa a telah diketahui sebagai

$$\mathcal{F}_{a1} = \mathcal{F}_{a1}^+ + \mathcal{F}_{a1}^- \dots\dots\dots (12)$$

Dimana

$$\mathcal{F}_{a1}^+ = \frac{1}{2} F_{maks} \cos(\theta - \omega t) \dots\dots\dots (13)$$

$$\mathcal{F}_{a1}^- = \frac{1}{2} F_{maks} \cos(\theta + \omega t) \dots\dots\dots (14)$$

dan

$$F_{maks} = 4/ k_w \cdot N_{ph} / P \cdot I_m \dots\dots\dots (15)$$

Dengan cara yang sama, untuk fasa b dan c,

$$\mathcal{F}_{b1} = \mathcal{F}_{b1}^+ + \mathcal{F}_{b1}^-$$

$$\mathcal{F}_{b1}^+ = \frac{1}{2} F_{maks} \cos(\theta - \omega t)$$

$$\mathcal{F}_{b1}^- = \frac{1}{2} F_{maks} \cos(\theta + \omega t) \dots\dots\dots (16)$$

dan

$$\mathcal{F}_{c1} = \mathcal{F}_{c1}^+ + \mathcal{F}_{c1}^-$$

$$\mathcal{F}_{c1}^+ = \frac{1}{2} F_{maks} \cos(\theta - \omega t)$$

$$\mathcal{F}_{c1}^- = \frac{1}{2} F_{maks} \cos(\theta + \omega t) \dots\dots\dots (17)$$

Agm keseluruhan merupakan jumlah dari ketiga fasa tersebut

$$\mathcal{F}(\theta, t) = \mathcal{F}_{a1} + \mathcal{F}_{b1} + \mathcal{F}_{c1} \dots \dots \dots (18)$$

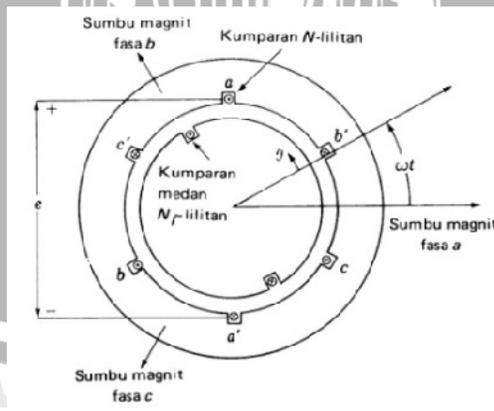
Suatu generator AC dasar penampangnya tampak pada gambar 2.15. Kumparan-kumparan pada rotor maupun stator tampak sebagai kumparan langkah-penuh lilitan majemuk tunggal. Lilitan medan pada rotor dianggap menghasilkan gelombang ruang sinusoida dengan kerapatan fluks B pada permukaan stator. Rotornya berputar pada suatu kecepatan sudut tetap sebesar radian listrik tiap detik.

Pada saat kutub rotor segaris dengan sumbu magnet dari kumparan statornya, gandengan fluks dengan kumparan N lilitan stator adalah $N \int B \cdot dl$, dimana merupakan fluks celah udara tiap kutub. Dengan anggapan gelombang kerapatan fluks berbentuk sinus

$$B = B_{\text{puncak}} \cos \theta \dots \dots \dots (19)$$

Dimana B_{puncak} merupakan harga puncaknya pada pusat kutub rotor dan θ diukur dalam radian listrik dari sumbu kutub rotor. Besarnya fluks celah udara tiap kutub merupakan integral dari kerapatan fluks meliputi daerah kutub, jadi untuk mesin kutub 2.

$$= \int_{-\pi/2}^{+\pi/2} B_{\text{puncak}} \cos \theta \cdot l r \cdot d\theta = 2B_{\text{puncak}} l r \dots \dots \dots (20)$$



Gambar 2.15. Penampang sebuah generator AC 3 fasa
 Sumber: Fitzgerald, 1997: 158

Dimana l merupakan panjang sumbu stator dan r adalah jari-jarinya pada celah udara. Untuk mesin kutub P.

$$= \frac{2}{P} 2B_{\text{puncak}} lr \dots \dots \dots (21)$$

Karena luas kutub adalah $2/P$ kali yang terdapat pada mesin kutub 2 dengan garis tengah dan panjang yang sama.

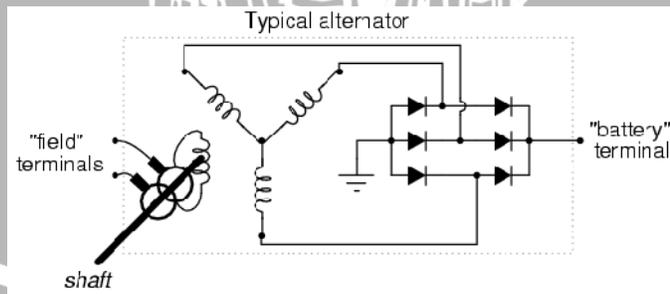
Pada saat rotor berputar, gandengan fluks berubah-ubah sesuai kosinus dari sudut antara sumbu magnet kumparan stator dan rotor. Dengan rotor berputar pada kecepatan sudut tetap ω , gandengan fluks dengan kumparan stator adalah :

$$= N \cos \omega t \dots \dots \dots (22)$$

dimana waktu t dipilih sembarang sebagai nol pada saat puncak dari gelombang kerapatan fluks berimpit dengan sumbu magnet dari kumparan stator. Dengan hukum Faraday, tegangan yang diinduksikan pada kumparan stator adalah

$$e = \frac{d\lambda}{dt} = N \frac{d\phi}{dt} \cos \omega t - \omega N \phi \sin \omega t \dots \dots \dots (23)$$

Generator (alternator) yang dipergunakan disini mempunyai fasa 3 yang diberi penyearah yang terdiri dari 6 (enam) buah dioda. Karenanya keluaran tegangan dari generator (alternator) tersebut sudah merupakan tegangan DC. Adapun skema diagram dari lilitan kawat yang terdapat dalam gambar 2.16.



Gambar 2.16. Gambar skematik diagram generator (alternator) dan susunan dioda. Sumber: all about circuits, 2009

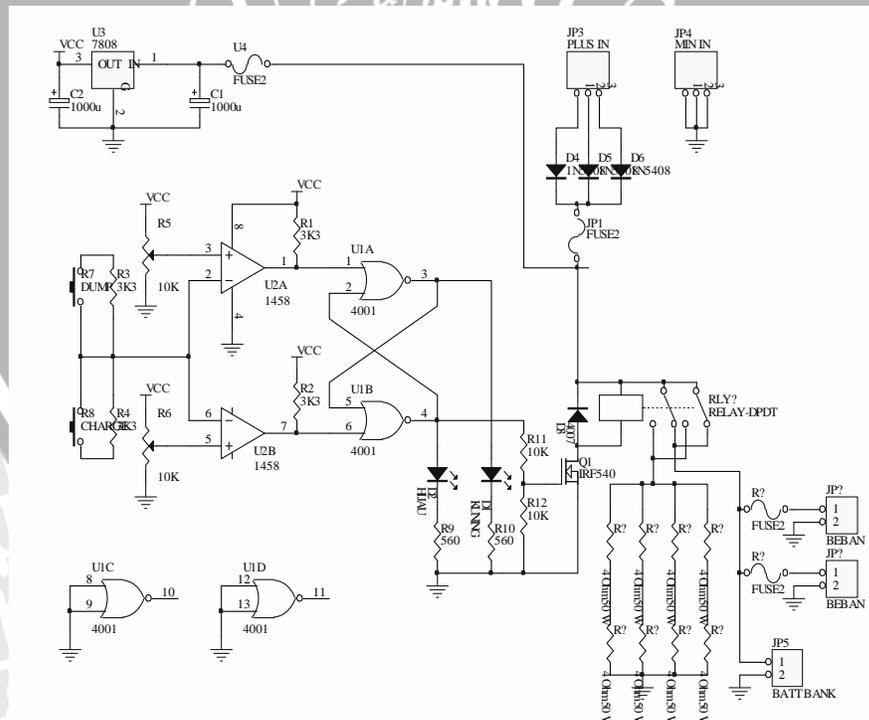
Generator (alternator) ini jika terpasang pada mobil berfungsi untuk pengisian accu, dan berputar sehingga menghasilkan tegangan. Apabila "pulley" yang terdapat pada poros alternator terhubung dengan sistem penggerak mesin pada mobil.

2.5 Battery Charger dan Pengontrolan

Battery charger adalah suatu alat yang berfungsi untuk mengisi battery dengan arus konstan hingga mencapai tegangan yang ditentukan. Bila level tegangan yang ditentukan itu telah tercapai, maka proses pengisian batteray (yang selanjutnya disebut dengan Accu) akan berhenti dan relay sebagai penghubung akan cut-off dan membuang tegangan lebih tersebut.

Didalam rangkaian pengisi accu terdapat rangkaian yang akan mengontrol selama proses pengisian berlangsung. Pada rangkaian tersebut terdapat dua buah komparator dan sebuah rangkaian flip-flop yang menggunakan gerbang logika NOR CMOS, yang akan selalu bekerja secara otomatis akan membuang tegangan lebih apabila accu sudah dalam kondisi penuh sesuai dengan batas maksimal yang ditentukan. Dan rangkaian akan melakukan pengisian (charge) pada accu bila tegangan yang ada didalamnya sudah berada di bawah tegangan maksimal, gambar 2.18.

Juga terdapat rangkaian dummy-load yang berfungsi sebagai beban pembuang pada saat proses pengisian accu sudah terpenuhi, hal ini perlu dilakukan agar pada saat tidak terjadi pengisian pada accu tidak akan mengakibatkan generator rusak yang diakibatkan oleh adanya arus balik.



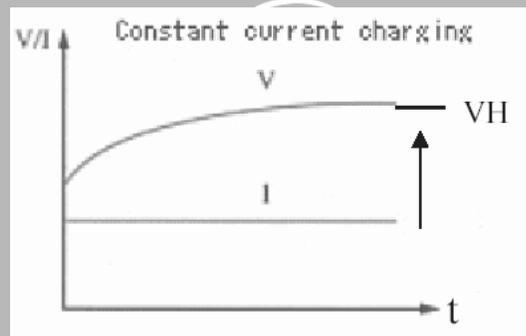
Gambar 2.17. Rangkaian kontrol charger dan discharge
Sumber: Penulis

2.6 Proses Charge dan Discharge

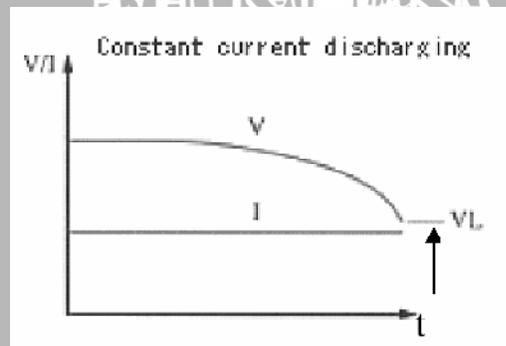
Accu yang biasanya juga disebut dengan akumulator merupakan salah satu komponen yang sangat penting untuk memberikan supply tenaga terutama pada kendaraan bermotor. Peranan accu pada proyek tugas akhir ini berfungsi sebagai penyimpan tegangan DC yang dihasilkan oleh generator yang sebelumnya disearahkan terlebih dahulu dengan rectifier. Penelitian atau percobaan tentang Proses Charge dan Discharge telah menghasilkan banyak sekali metode yaitu antara lain :

a. Proses Charge dan Discharge dengan Arus Konstan.

Proses Charge dan Proses Discharge dengan arus konstan yang ditunjukkan pada Gambar 2.19 dan Gambar 2.20 dapat diambil kesimpulan bahwa, proses charge discharge akan berakhir ketika waktu yang telah diset terlampaui atau apabila kapasitas accu yang ditentukan telah terpenuhi.



Gambar 2.18. Proses charge dengan arus konstan
Sumber: all about circuits, 2009

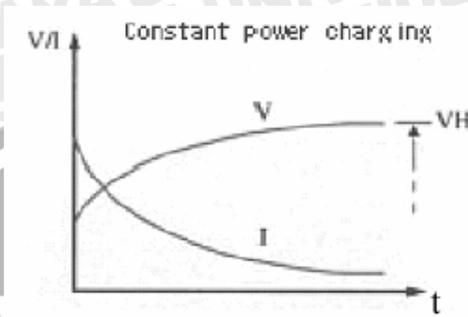


Gambar 2.19. Proses discharge dengan arus konstan
Sumber: all about circuits, 2009

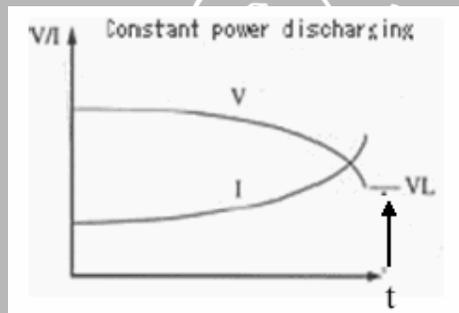
b. Proses Charge Discharge dengan Daya Konstan.

Proses Charge dengan daya konstan yang ditunjukkan pada Gambar 2.21 dilakukan ketika tegangan naik dan arus turun, proses ini berakhir ketika set time

terpenuhi atau tegangan pada battery terpenuhi. Sedangkan Proses Discharge dengan daya konstan yang ditunjukkan pada Gambar 2.22 dilakukan ketika tegangan battery turun dan arus naik dan discharge berakhir saat set time terlampaui atau tegangan beban terpenuhi.

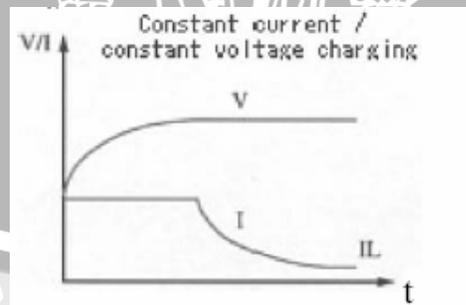


Gambar 2.20. Proses charge dengan daya konstan
 Sumber: all about circuits, 2009



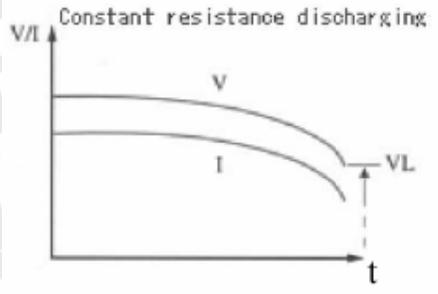
Gambar 2.21. Proses discharge dengan daya konstan
 Sumber: all about circuits, 2009

c. Gambar 2.23 menunjukkan Proses Charge dengan arus konstan ketika tegangan terminal lebih rendah dari pada tegangan charge.



Gambar 2.22. Proses charge dengan arus konstan /tegangan konstan
 Sumber: all about circuits, 2009

d. Gambar 2.24 menunjukkan Proses Discharge dengan resistansi konstan ketika tegangan accu turun dan arus juga turun.



Gambar 2.23. Proses discharge dengan resistansi konstan
 Sumber: all about circuits, 2009

Untuk mengetahui waktu dalam proses pengisian accumulator, dapat menggunakan perhitungan pada persamaan (7) dan persamaan (8) :

- Lama pengisian Arus:

$$T_a = \frac{Ah}{A} \dots \dots \dots (7)$$

keterangan :

- Ta = Lamanya pengisian arus (jam).
- Ah = Besarnya kapasitas accumulator (Ampere hours).
- A = Besarnya arus pengisian ke accumulator (Ampere).

- Lama pengisian Daya:

$$T_d = \frac{\text{daya Ah}}{\text{daya Ah} / T_d} \dots \dots \dots (8)$$

Keterangan :

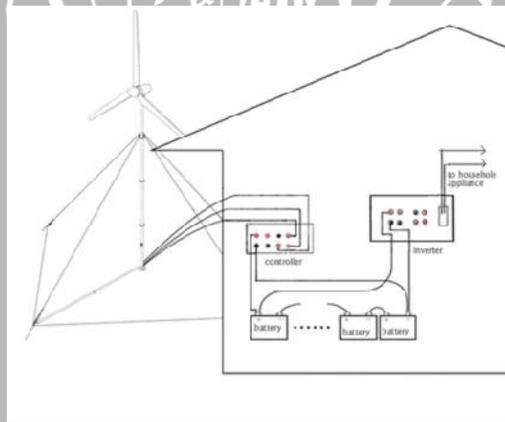
- Td = Lamanya pengisian Daya (jam).
- Daya Ah = Besarnya daya yang didapat dari perkalian Ah dengan besar tegangan accumulator (Watt hours).
- Daya A = Besarnya daya yang didapat dari perkalian A dengan besar tegangan accumulator (Watt).

2.7 Battery atau Accumulator

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

merupakan sumber arus searah (DC) dari proses kimiawi, yaitu elemen primer dan elemen sekunder. Elemen primer terdiri dari elemen basah dan elemen kering. Reaksi kimia pada elemen primer yang menyebabkan elektron mengalir dari elektroda negatif (katoda) ke elektroda positif (anoda) tidak dapat dibalik arahnya. Maka jika muatannya habis, maka elemen primer tidak dapat dimuati kembali dan memerlukan penggantian bahan pereaksinya (elemen kering). Sehingga dilihat dari sisi ekonomis elemen primer dapat dikatakan cukup boros. Contoh elemen primer adalah batu baterai (dry cells).

Elemen sekunder dalam pemakaiannya harus diberi muatan terlebih dahulu sebelum digunakan, yaitu dengan cara mengalirkan arus listrik (secara umum dikenal dengan istilah 'disetrum'). Akan tetapi, tidak seperti elemen primer, elemen sekunder dapat dimuati kembali berulang kali. Elemen sekunder ini lebih dikenal dengan aki. Dalam sebuah aki berlangsung proses elektrokimia yang reversible (bolak-balik) dengan efisiensi yang tinggi. Yang dimaksud dengan proses elektrokimia reversibel yaitu di dalam aki saat dipakai berlangsung proses perubahan kimia menjadi tenaga listrik (discharging). Sedangkan saat diisi atau dimuati, terjadi proses tenaga listrik menjadi tenaga kimia (charging). Besar ggl yang dihasilkan satu sel aki adalah 2 Volt. Sebuah aki mobil terdiri dari enam buah aki yang disusun secara seri, sehingga ggl totalnya adalah 12 Volt.



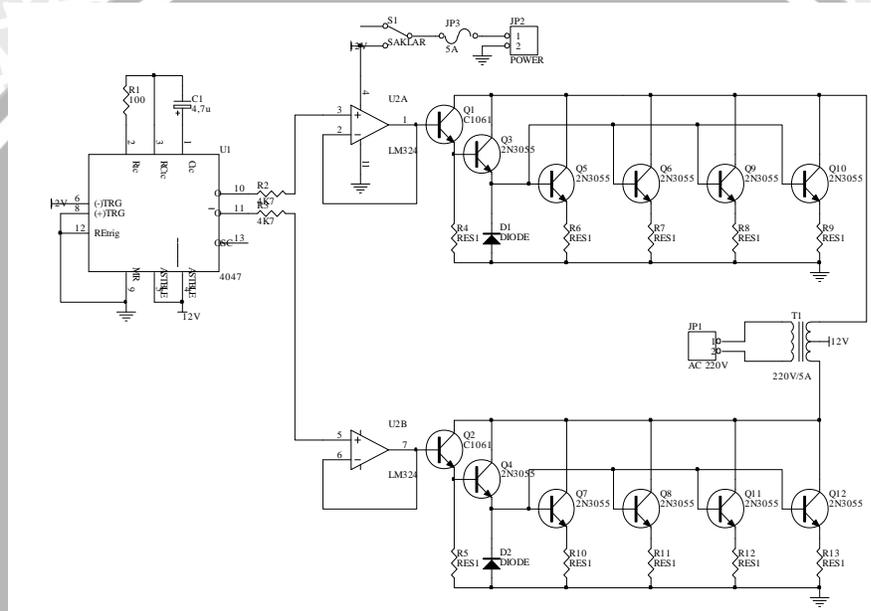
Gambar 2.24. Koneksi generator dengan accu
Sumber: all about circuits, 2009

Accu mencatu arus untuk menyalakan mesin (motor dan mobil dengan menghidupkan dinamo stater) dan komponen listrik lain dalam mobil. Pada saat mobil berjalan aki dimuati (diisi) kembali sebuah dinamo (disebut dinamo jalan) yang dijalankan dari putaran mesin mobil atau motor. Pada aki kendaraan bermotor arus yang terdapat di dalamnya dinamakan dengan kapasitas aki yang disebut Ampere-Hour/AH

(Ampere-jam). Contohnya untuk aki dengan kapasitas arus 5 AH, maka aki tersebut dapat mencatu arus 5 Ampere selama 1 jam atau 1 Ampere selama 5 jam.

2.8 Rangkaian Inverter

Rangkaian *inverter* berfungsi sebagai pengubah tegangan DC 12 Volt menjadi tegangan AC 220 Volt, 50 Hz. Perancangan *inverter* tidak lepas dari penyediaan komponen pendukung elektronik seperti tertera pada tabel 3.30. Rangkaian lengkap *inverter* seperti gambar 2.26.

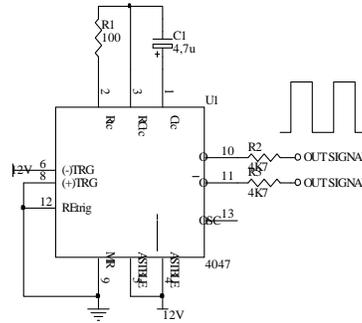


Gambar 2.25 Gambar rangkaian lengkap inverter
Sumber: Penulis

Dasar dari rangkaian inverter ini adalah IC C-MOS 4047 yang dipergunakan sebagai generator sinyal kotak (square wave), gambar 2.27, karena merupakan astable multivibrator dan monostable multivibrator. Pengoperasian untuk astable multivibrator dapat diperoleh dengan memberi inputan High pada kaki input Astable (A) atau inputan Low pada kaki Inverting Astable (A). Frekuensi keluaran 50% daur aktif pada output Q dan Q ditentukan oleh komponen-komponen pewaktu ekstern, yaitu tergantung pada nilai R_x , C_x , sehingga nantinya akan diperoleh frekuensi yang kita inginkan, mengingat rumus untuk menghitung frekuensi, adalah :

$$f = 1/T$$

$$= \frac{1}{4.40R_x \cdot C_x} \text{ (Hz, det, } \Omega, F)$$



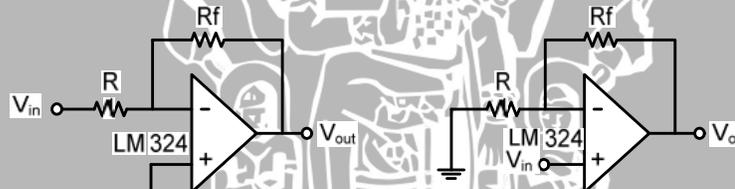
Gambar 2.26 Rangkaian astable multivibrator dengan 4047
 Sumber: P. Hogenboom, Data sheet 3, Catatan Aplikasi

2.8.1 Penguat *Op-Amp*

Penguat *Op-Amp* digunakan untuk menguatkan variasi-variasi tegangan yang masih kecil untuk menjadi variasi-variasi tegangan yang besar. Penguat dasar dengan *op-amp* adalah penguat *inverting* dan *non inverting*. Penguat *inverting* dan *non inverting* seperti pada gambar 2.28 di bawah.

Pada penguat *Inverting* berlaku, $V_{out} = -\frac{R_f}{R} \times V_{in}$

Untuk penguat *Non Inverting* berlaku, $V_{out} = \frac{R + R_f}{R} \times V_{in}$



Gambar 2.27 Penguat *op-amp*, (a). Penguat *inverting* dan (b) Penguat *non inverting*

Sumber: P. Hogenboom, Data sheet 3, Catatan Aplikasi

2.8.2 Pengikut Tegangan (*Buffer*)

Rangkaian pengikut tegangan disebut juga pengikut sumber, untuk rangkaian pengikut tegangan mempunyai penguatan satu. Tegangan masukan V_{in} diterapkan pada masukan *non inverting*. Rangkaian *buffer* seperti pada gambar 2.29. Besarnya penguatan untuk rangkaian pengikut tegangan adalah:

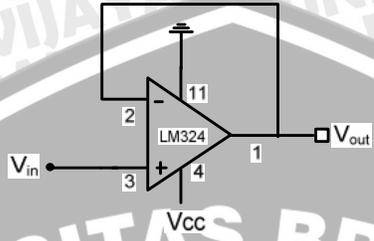
$$A_{CL} = \frac{V_{OUT}}{V_{in}} = 1$$

Atau:

$$V_{out} = V_{in}$$

Dimana:

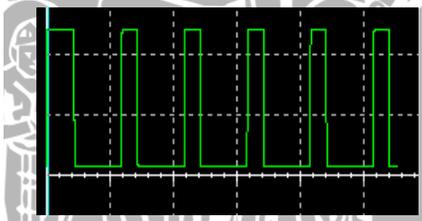
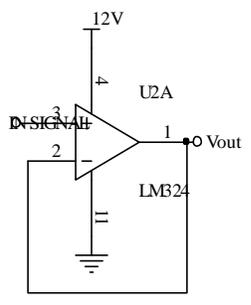
V_{in} = Tegangan *Input*
 V_{out} = Tegangan Keluaran
 V_{CL} = Penguatan Rangkaian Tertutup



Gambar 2.28 Rangkaian Pengikut Tegangan (*Buffer*)

Sumber: Robert F., Penguat Operasional dan Rangkaian Terpadu Linear

Tegangan *output* gelombang petak dari osilator *monostable multivibrator* yang bekerja dengan mode *free running* masih terjadi osilasi tidak stabil, sehingga diperlukan rangkaian pengikut tegangan (*buffer*) untuk menyangga tegangan *output* sehingga akan dihasilkan sinyal tegangan yang stabil seperti Gambar 2.30.



Skala: 20ms/Div
 Skala: 5V/Div

(a) (b)

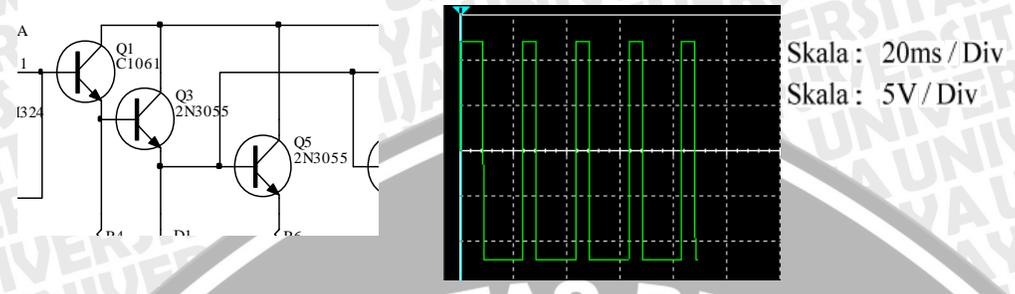
Gambar 2.29 Simulasi Blok Rangkaian Pengikut Tegangan (Voltage Follower)
 (c) Rangkaian Pengikut Tegangan
 (d) Hasil simulasi

Sumber: Robert F., 1996, Penguat Operasional dan Rangkaian Terpadu Linear

Diperlukan rangkaian pengikut tegangan supaya tegangan bolak-balik yang dihasilkan dari rangkaian Osilator *monostable multivibrator* dapat ditingkatkan menjadi 12 Volt bolak-balik seperti Gambar 2.30b.

2.8.3 Rancangan Rangkaian *Darlington* dan Transistor Hubungan *Push-pull*

Rangkaian *Darlington* dan Transistor hubungan *pus-pull* dapat menghasilkan tegangan 12 Vol AC. *Output* dari Rangkaian *Darlington* dan Transistor Hubungan *Pus-pull* dapat menghasilkan tegangan bolak-balik 12 Volt. Seperti pada Gambar 2.31.



(a) (b)

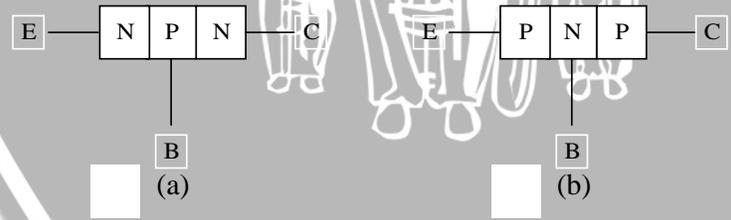
Gambar 2.30 Simulasi Blok Penguat Arus
(c) Rangkaian Penguat Arus
(b) Hasil Simulasi

Sumber: Robert F., 1996, Penguat Operasional dan Rangkaian Terpadu Linear

Pada rangkaian penguat arus dan penguat *pus pull* dapat menghasilkan tegangan bolak-balik pada outputnya sebesar +12Vol dan -12Volt seperti pada Gambar 3.13b.

2.8.4 Transistor

Transistor merupakan bahan semikonduktor yang terdiri dari tiga terminal seperti pada gambar 2.32, transistor disusun atas tipe N; tipe P transistor ini dikenal jenis NPN, sebaliknya sebuah tipe P yang diapit dua buah sisi N dikenal jenis PNP.



Gambar 2.31 (a) Transistor jenis bahan NPN
(b) Transistor jenis bahan PNP

Sumber: Malvino, Albert Paul, 1986, Prinsip-Prinsip Elektronika



Gambar 2.32 Simbol Transistor NPN dan PNP
 Sumber: Wasito.S, 1992, Vadamekum elektronik

2.8.4.1 Karakteristik Transistor

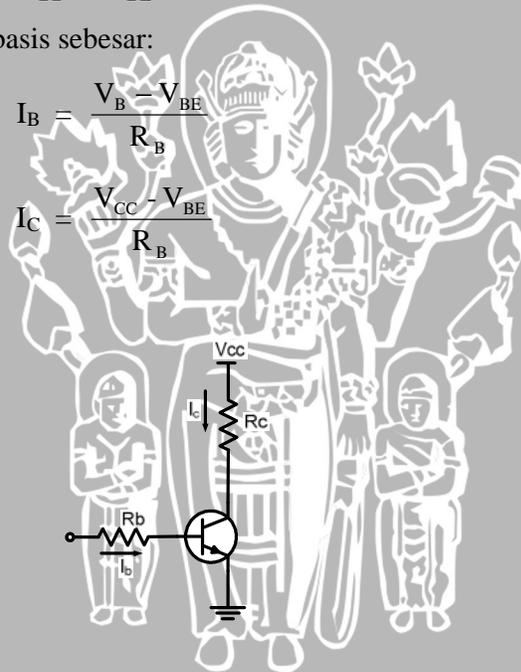
Bila pada terminal Basis (*Bias Basis*) diberikan resistor (R_B) seperti pada gambar 2.34, maka sumber tegangan V_{BB} memberi bias maju kepada terminal emiter melalui tahanan R_B , maka besar tegangan yang jatuh pada R_B adalah:

$$V_{BB} - V_{BE}$$

Dan menghasilkan arus basis sebesar:

$$I_B = \frac{V_B - V_{BE}}{R_B}$$

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C}$$



Gambar 2.33 Bias Transistor
 Sumber: Wasito.S, 1992, Vadamekum elektronik

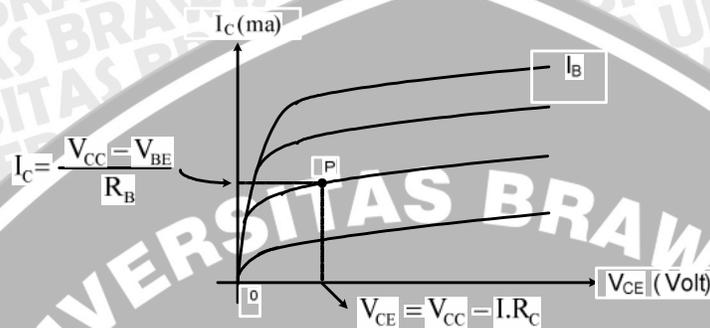
Bila pada kolektor diberikan R_C , maka:

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot R_C$$

Perbandingan antara kuat I_C dan Kuat I_B disebut bandingan hantaran arus maju (*Forward current transfer ratio*) atau disingkat dengan h_{fe} , dimana:

$$h_{fe} = \frac{I_C}{I_B}$$

Dari perbandingan I_B dan I_C juga diperoleh bentuk karakteristik transistor seperti pada gambar 2.35.



Gambar 2.34 Karakteristik Transistor
 Sumber: Wasito.S, 1992, Vadamekum elektronika

2.8.4.2 Transistor Sebagai Penguat Daya

Transistor sebagai penguat daya diperlukan pada sebuah rangkaian yang membutuhkan keluaran daya yang lebih tinggi, karena *input* penguat ini biasanya dalam satuan yang kecil, diperlukan beberapa kopling transistor untuk memungkinkan penyediaan arus lebih tinggi sesuai dengan spesifikasi dari transistor yang digunakan. Penguat daya yang lazim digunakan untuk penguat dari *inverter* adalah penguat *Balans*, dengan penguat jenis ini akan diperoleh daya *output* yang lebih tinggi. Penguat *Balans* yang digunakan untuk penguatan daya pada *inverter* seperti pada gambar 2.36 Pada penguat *Balans* berlaku persamaan-persamaan sebagai berikut:

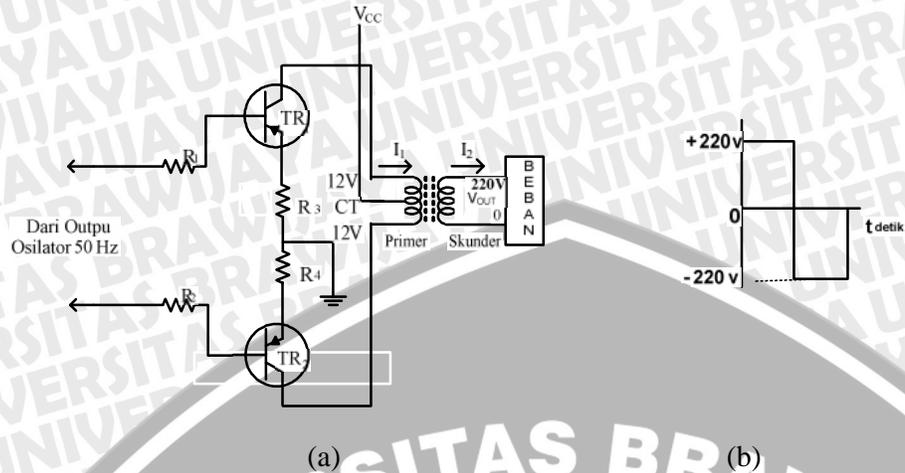
$$P_o = \frac{V_{ef}^2}{R_{Beban}} \text{ (Watt)}$$

Atau:

$$P_o = \frac{I_{Beban}^2 \cdot Z_{Primer}}{2} \text{ (Watt)}$$

Dimana:

$$Z_{Primer} = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C} \text{ (Ohm)}$$



Gambar 2.35 (a). Penguat Sistem *Balans*, (b) Sinyal *Output*
 Sumber: Malvino, 1987, *Aproksimasi Elektronika*

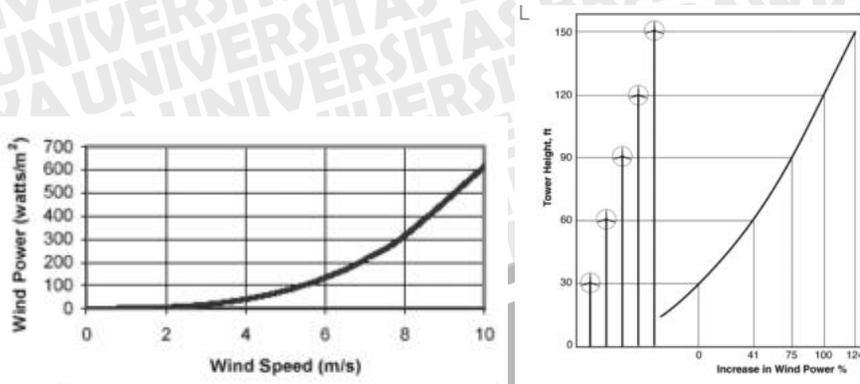
Dimana:

- P_0 = Daya *output* transistor
- V_{ef} = Tegangan efektif V_{cc}
- R_{Beban} = Tahanan beban sisi sekunder
- V_{CC} = Tegangan sumber
- V_{CE} = Tegangan antara kolektor dengan emitter
- I_C = Arus yang mengalir pada kolektor

2.8 Komponen dari sistem energi angin

Komponen-komponen dasar yang biasa dipergunakan untuk pembuatan energi dari angin sebagai berikut :

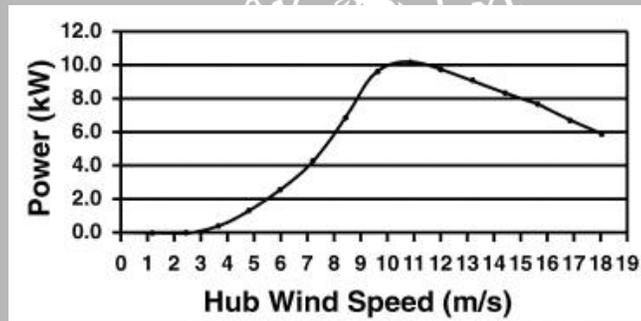
- Sebuah rotor, terdiri dari banyak bilah yang tersusun dalam bentuk kubah. Ketika angin menghembus bilah-bilah tersebut rotor menjadi berputar, mengakibatkan generator atau alternator pada turbin berputar dan menghasilkan listrik.
- Isolator, akan melindungi generator dan komponen-komponen yang lain yang merupakan elemen-elemen turbin.



Gambar 2.36. Gambar kurva kecepatan angin dan tegangan keluaran

Sumber: Cross, 1987, Tenaga Angin

Pada umumnya kincir angin normalnya keluaran tegangan digambarkan dengan menggunakan kurva tegangan keluaran berbanding dengan kecepatan angin, yang disebut dengan kurva tegangan, adapun bentuk kurva tersebut seperti terlihat pada gambar 2.38 di bawah ini.



Gambar 2.37. Gambar kurva perbandingan kecepatan angin dengan tegangan

Sumber: Cross, 1987, Tenaga Angin

Penempatan baling-baling generator angin tidaklah mudah, karena hal ini akan mempengaruhi hasil keluaran tegangan pada semua tempat. Kita harus memastikan bahwa pembangkit menempati area dimana diperoleh cukup banyak angin. Ini haruslah kita perhitungkan dan pertimbangkan dengan cermat, seperti halangan dari pohon-pohon, rumah-rumah dan geografis tanah.

Untuk mendapatkan tempat atau posisi yang baik untuk menempatkan baling-baling, yang harus dilakukan adalah :

1. Observasi karakteristik angin dan lokasi dataran.
2. Mengukur kecepatan angin pada setiap tempat.
3. Legalitas batas tanah.

Pada saat observasi lapangan harus dilakukan dengan hati-hati dalam menentukan angin yang merupakan energi potensial dari daerah tersebut. Yang perlu

diperhatikan dalam penempatan turbin haruslah jauh dari halangan. Kecepatan angin juga mempengaruhi terhadap ketinggian tiang penyangga turbin dan diameter turbin yang kecil akan mempunyai tiang yang lebih tinggi dari pada turbin yang diameternya lebih besar.



BAB III METODE PENELITIAN

Dalam pelaksanaan penelitian ini, terdapat metode penelitian yang digunakan untuk memberikan satu alur kerangka berpikir dalam bentuk langkah-langkah yang ditempuh, yaitu meliputi:

- Studi literatur
- Perencanaan dan pembuatan alat
- Pengambilan data
- Analisa data
- Penarikan kesimpulan

3.1 Studi Literatur

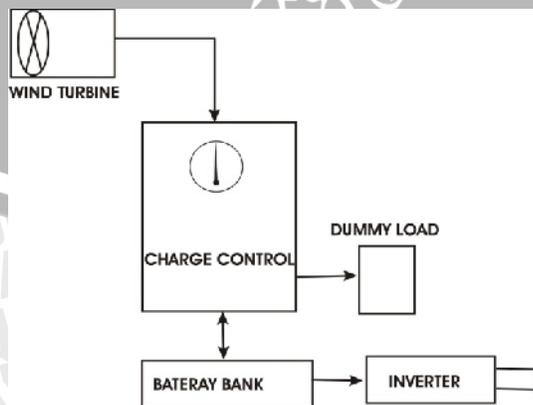
Studi literatur, dilakukan melalui buku-buku dan literatur yang menunjang dalam penyusunan tugas akhir ini.

- mempelajari teknologi pembangkit energi listrik menggunakan angin.
- mempelajari komponen-komponen pembangkit listrik tenaga angin diantaranya:

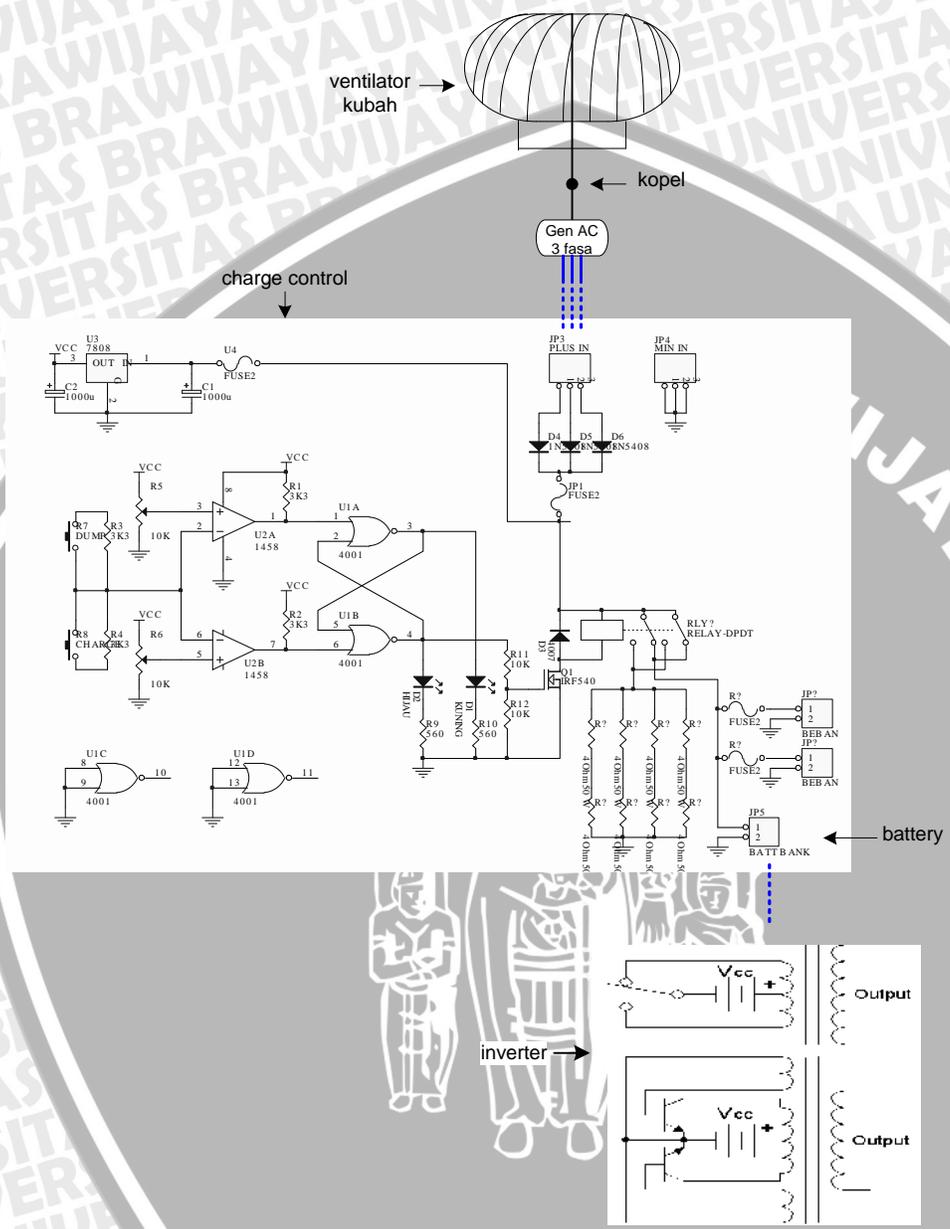
- Turbin
- Sistem mekanik
- Generator
- Charge control
- Battery / accumulator
- Inverter

3.2 Perencanaan dan Pembuatan Alat

Rancangan dari pembuatan alat ini dijelaskan dalam gambar berikut ini:



Gambar 3.1 Gambar blok diagram alat



Gambar 3.2. Rancangan pembuatan alat

3.2.1 Turbin Angin / Baling-baling

Turbin angin merupakan alat koversi energi untuk mengubah energi angin (energi kinetik) menjadi energi mekanik yang selanjutnya digunakan untuk menggerakkan (memutar) rotor dari generator listrik.

Baling-baling yang dipergunakan dalam perancangan dan pembuatan alat ini mempergunakan baling-baling yang berbentuk kubah (Ventilator Kubah) dengan banyak sirip. Pada umumnya baling-baling tersebut dipergunakan untuk ventilasi udara pada pabrik-pabrik dan diletakkan di atas atap atau bubungan pabrik tersebut.



Spesifikasi:

- Bahan: fluorocarbon polyester coating alumunium
- Diameter kubah: 600 mm
- Bekerja pada: kecepatan angin 0.12 m/s

Gambar 3.3. Gambar ventilator kubah dan spesifikasi

Spesifikasi *baling-baling kubah* ini merupakan suatu acuan utama yang digunakan dalam perancangan alat pembangkit energi listrik yang terbarukan, dimana poros dari baling-baling dipasangkan *pulley* untuk menghubungkan dengan *pulley* yang terdapat pada poros generator, dan output yang sudah bentuk tegangan searah (DC) dimanfaatkan sebagai penyedia energi utama pengisian battery.

Kincir Angin dalam sistem ini dirancang dengan menggunakan beberapa komponen sebagai berikut:

1. Sudu atau Daun

Sudu atau Daun berfungsi sebagai penangkap angin, sudu ini mempunyai panjang, lebar dan lengkungan yang sama besar.

2. Klaker (Bearing)

Klaker ini berfungsi untuk tempat dudukan dari poros kincir. Klaker yang digunakan mempunyai diameter 50 mm, dengan nomer seri 6204.

3. Poros

Poros berfungsi sebagai penyangga baling-baling dan penggerak rotor. Poros yang berupa pipa ini sepanjang 60 cm dengan diameter 19 mm.

4. Puly (*Pulley*)

Pulley dalam sistem ini berfungsi sebagai roda penghubung antara poros baling-baling dengan pulley yang ada pada rotor generator melalui tali belt, sebab kincir angin ini merupakan penggerak mula dari generator dan pulley

ini juga berfungsi untuk mengatur torsi. Penggunaan pulley untuk kincir angin dipilih dengan ukuran yang lebih besar daripada pulley pada generator dengan perbandingan 2:1. Perbandingan pulley ini dimaksudkan agar torsi yang dihasilkan kincir angin lebih besar daripada torsi generator sehingga putaran generator menjadi lebih cepat.

Perhitungan daya angin:

$$P_A = \frac{\left(\frac{1}{2} \rho A v^3\right)}{1} = \frac{\rho A v^3}{2}$$

Dimana:

- ρ = massa jenis udara (kg/m^3)
= 1.201 kg/m^3 pada 1000 mbar dan 290 K
- A = luas penampang melintang arus angin (m^2)
- v = kecepatan angin (m/s)
- P_A = daya angin (kW)

Perhitungan Daya Angin

$$P_A = K A v^3 = \frac{\rho}{2} A v^3 = \frac{1,201}{2} A v^3$$

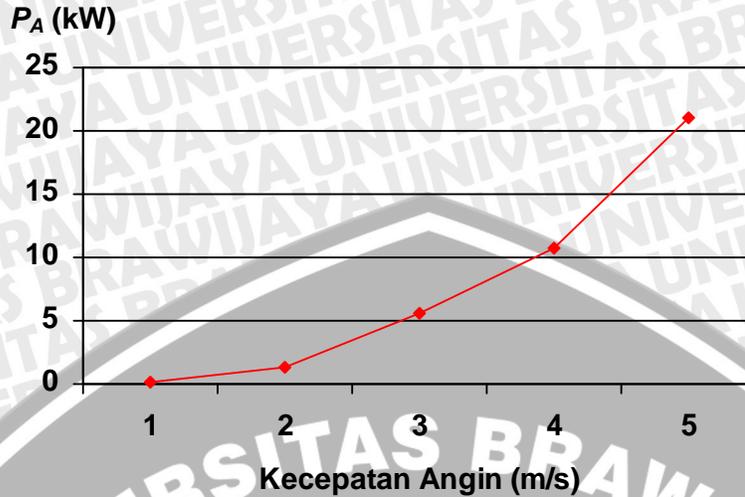
$$P_A = 0,6 A v^3 \leftarrow A = \frac{\pi}{4} D^2 = \frac{3,14}{4} \cdot (0,6)^2 = 0,28 \text{ m}^2$$

$$P_A = 0,6 \times 0,28 v^3$$

$$= 0,168 v^3$$

Kecepatan Angin (m/s)	P_A (kW)
1	0,168
2	1,344
3	4,536
4	10,752
5	21

Tabel 3.1 Tabel kecepatan angin terhadap daya angin

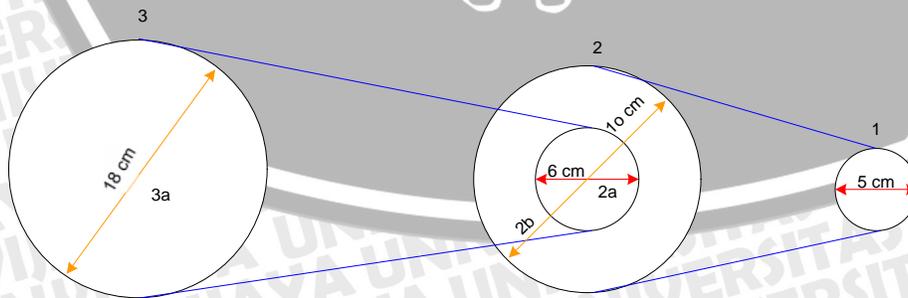


Grafik 3.1 Grafik kecepatan angin terhadap daya angin

Dengan sistem banyak sirip tersebut membuat baling-baling akan tetap berputar walaupun kondisi angin dengan kecepatan rendah. Sehingga jika digabungkan atau dikopelkan ke generator AC tiga fasa sebagai pembangkit listrik, maka kumparan generator tersebut akan tetap berputar sesuai dengan kecepatan angin. Dan menghasilkan energi listrik yang nantinya disimpan ke dalam Accu sebagai penampung energi listrik yang disearahkan untuk diubah menjadi tegangan DC terlebih dahulu.

3.2.2 Puli (pulley)

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium konversi energi alternatif/surya diperoleh putaran rotor sebesar 225 rpm. Tetapi untuk membangkitkan tegangan sebesar 12 V dibutuhkan kecepatan putar 1320 rpm. Sehingga tidak dipergunakan perbandingan pulley 2:1, melainkan menggunakan perbandingan pulley sebagai berikut:

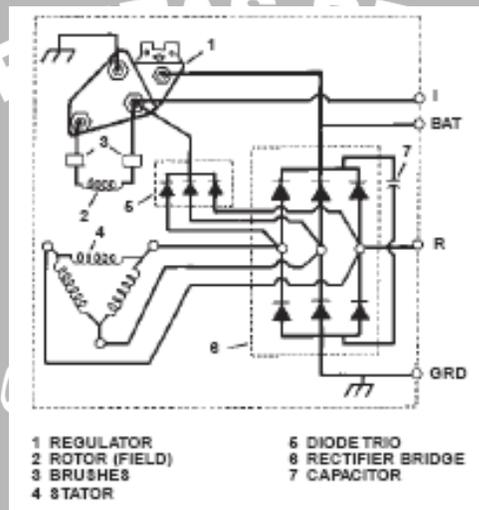


$$n_1 = \frac{d_{3a}}{d_{2b}} \times \frac{d_{2a}}{d_1} \times n_3 = \frac{18}{6} \times \frac{10}{5} \times 225 \text{ rpm} = 1350 \text{ rpm}$$

Dengan perbandingan pulley seperti di atas didapatkan putaran generator sebesar 1350 rpm. Sehingga dapat mencukupi kebutuhan putaran generator sebesar 1320 rpm untuk membangkitkan tegangan DC sebesar 12 V.

3.2.3 Generator AC 3 fasa

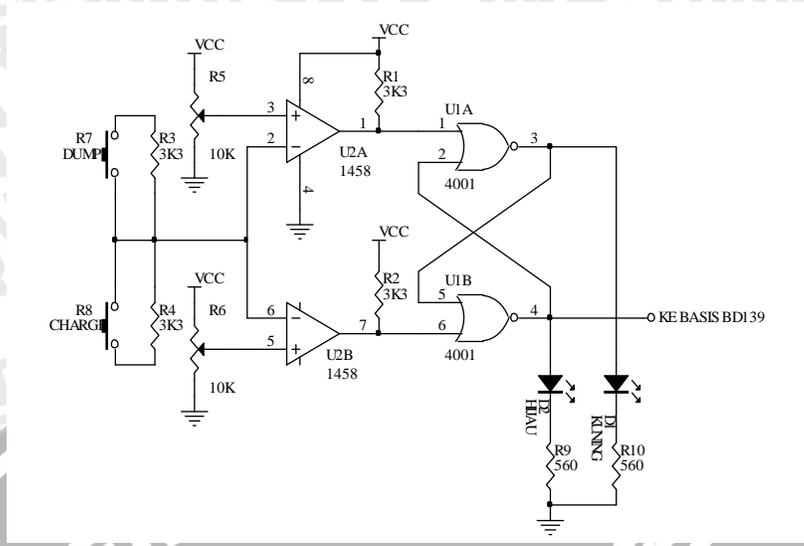
Dalam sistem ini generator yang digunakan adalah generator AC 3 fasa, dengan tipe Delco Remy 21SI. Yang sudah terpasang jembatan diode di dalamnya, sehingga pada terminal outputnya keluar tegangan DC. Gambar skemanya diperlihatkan seperti gambar di bawah ini.



Gambar 3.4. Gambar skema generator Delco Remy 21SI
Sumber: Delco Remy product information 1G-286, 1997

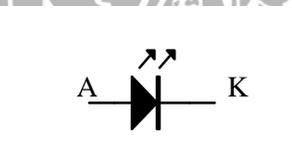
3.2.4 Rangkaian Control Charge dan Discharge

Sumber tegangan dari output generator yang sudah berupa tegangan DC dimasukkan ke dalam Battery. Pada proses pengisian battery terdapat rangkaian pengontrol tegangan battery, gambar 3.5, dimaksudkan apabila kapasitas battery sudah penuh sesuai dengan kapasitasnya, rangkaian komparator (LM 1458) dan rangkaian flip-flop NOR C-MOS 4001, akan memicu basis transistor BD-139. Transistor BD-139 inilah yang dipergunakan sebagai rangkaian penggerak relay untuk mengalihkan proses pengisian ke rangkaian dummy-load, gambar 3.7, hal ini dimaksudkan agar tegangan yang keluar dari generator yang tidak terisikan ke battery tidak mengakibatkan generator menjadi rusak dan bahkan berubah jadi motor.

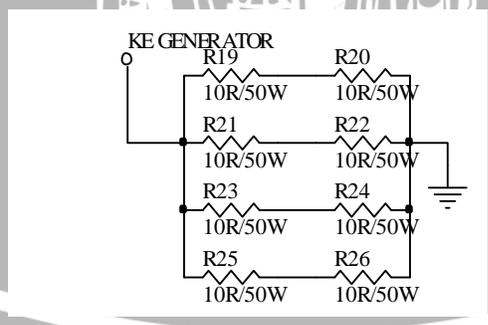


Gambar 3.5. Rangkaian kontrol pengisian batteray

Pada rangkaian kontrol pengisi batteray ini dipasang diode led yang dipergunakan sebagai indikator dalam proses charge atau discharge. Diode mempunyai kaki-kaki yang disebut dengan anoda dan katoda, demikian juga dengan led diode mempunyai konfigurasi kaki yang sama. Simbol led diode seperti pada gambar 3.6.



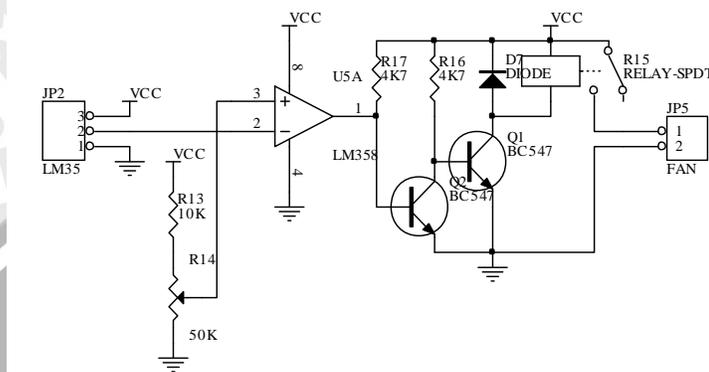
Gambar 3.6. Simbol diode led



Gambar 3.7. Rangkaian Dummy-load

Pada saat pembuangan tegangan karena kapasitas batteray sudah penuh dan outputnya harus dibebankan pada dummy-load, maka akan terjadi panas thermal pada dummy-load tersebut. Untuk itu supaya suhu panas tersebut tidak merusak system

rangkaian yang lain diperlukan sebuah *fan* (kipas) yang berfungsi untuk menghembus panas tersebut. Rangkaian penggerak kipas tersebut seperti nampak pada gambar 3.8 dibawah ini, yaitu sebuah rangkaian komparator (LM-358), sensor suhu (LM-35), dan rangkaian penggerak relay.



Gambar 3.8. Rangkaian komparator pendeteksi panas.

Rangkaian komparator dengan sensor suhu LM-35 disetel untuk mendeteksi suhu 30°C , dengan maksud apabila pada rangkaian dummy-load terdeteksi suhu diatas besaran yang sudah ditentukan, maka rangkaian ini akan menggerakkan rangkaian relay dan akan menghidupkan fan.

Rangkaian penggerak relay seperti pada gambar 3.8 dapat bekerja apabila kaki basis pada transistor BC-547 mendapatkan picu 0 volt atau diberiukan kondisi LOW. Sehingga pada kaki basis transistor BD-139 mendapatkan kondisi 1 atau HIGH, dengan demikian output pada kaki kolektor menjadi 0 volt. Dan relay mempunyai kumparan atau koil pada kutubnya dikenakan pada tegangan 12 volt DC dan kutub yang lain mendapatkan 0 volt maka terjadi induksi pada relay tersebut, akibatnya relay tersebut dipergunakan sebagai saklar elektronik akan mengalirkan arus atau tegangan pada fan yang dipergunakan untuk mendinginkan rangkaian dummy-load.

3.2.5 Pemilihan Spesifikasi Battery

Batere diperlukan dalam perancangan ini sebagai penyimpan energi listrik.

Battery yang digunakan berupa battery air (*Accu*), dengan spesifikasi sebagai berikut:

1. ACCU : 12 Volt
2. Kapasitas Arus: 15 Ah
3. Jumlah *cel*: 18
4. Temperatur *Charging*: 30°C

3.2.6 Rangkaian Inverter

Rangkaian *inverter* berfungsi sebagai pengubah tegangan DC 12 Volt menjadi tegangan AC 220 Volt, 50 Hz. Perancangan *inverter* tidak lepas dari penyediaan komponen pendukung elektronik seperti tertera pada tabel 3.30. Rangkaian *inverter* yang dirancang dalam penelitian ini berkapasitas 1000 Watt, penulis merancang *inverter* dengan daya yang kecil agar penyerapan energi batere dapat serendah mungkin. Rangkaian lengkap *inverter* seperti gambar 3.9.

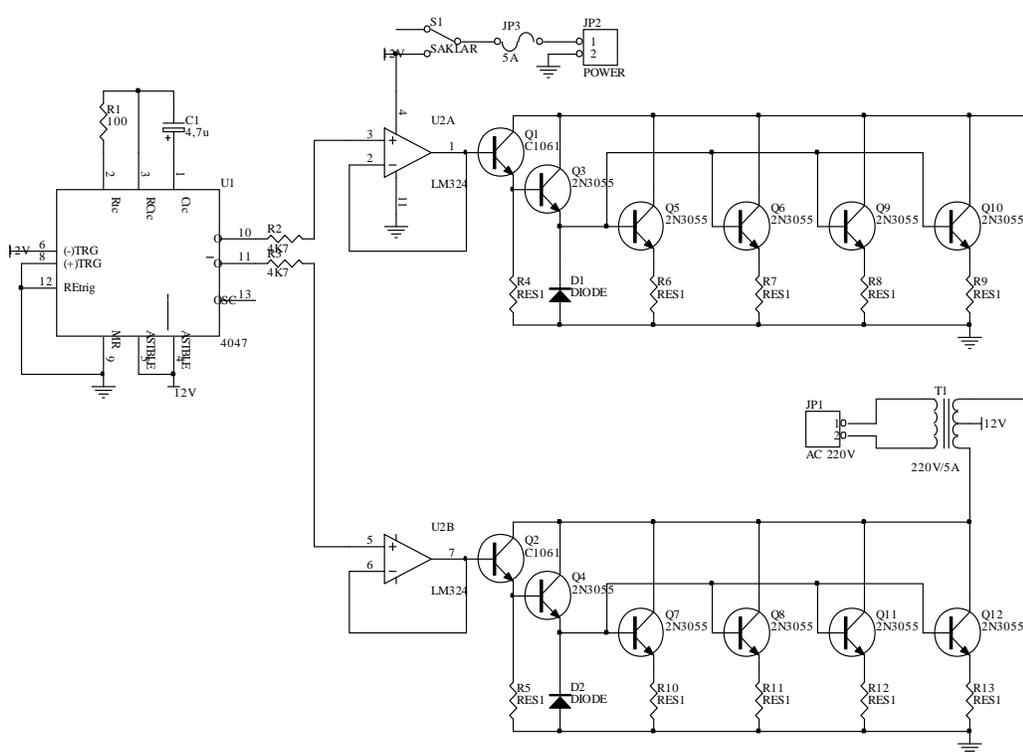
Untuk merancang sebuah inverter yang perlu diperhatikan adalah masalah pemilihan trafo. Misalkan kita ingin daya output inverter 1000 watt pada 220 Vac maka arus output menjadi 4,54 ampere, dan tentunya pada input 12 V harus menggunakan 83,33 ampere. Sesuai dengan perhitungan berikut:

$$\text{Rumus dasar : } P(\text{daya}) = V(\text{tegangan}) \times I(\text{Arus})$$

$$\text{DAYA INPUT TRAFU} = \text{DAYA OUTPUT TRAFU}$$

$$12 \text{ volt} \times 83,33 \text{ ampere} = 220 \text{ volt} \times 4,54 \text{ ampere}$$

Dari perhitungan di atas kita bisa memilih trafo step-up dengan karakter lilitan input sebesar 12 V /80 A , dan karakter lilitan output 220 V/ 5A. Sehingga inverter dapat mencukupi kebutuhan daya hingga 1000 W.

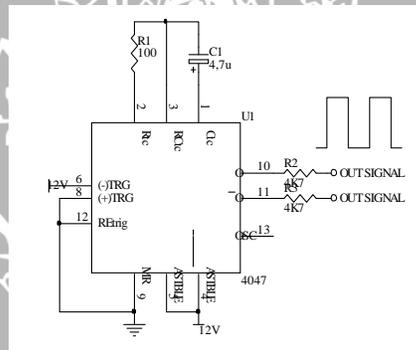


Gambar 3.9 Gambar rangkaian lengkap inverter

Dasar dari rangkaian inverter ini adalah IC C-MOS 4047 yang dipergunakan sebagai generator sinyal kotak (square wave) gambar 3.9, merupakan astable multivibrator dan monostable multivibrator. Pada rangkain inverter terdapat transistor 2N3055 yang dihubungkan paralel sebanyak 5 buah, dan kaki-kaki collectornya terhubung satu dengan yang lain dikarenakan untuk mencegah terjadinya pemanasan (heating). Pengoperasian untuk astable multivibrator dapat diperoleh dengan memberi inputan High pada kaki input Astable (A) atau inputan Low pada kaki Inverting Astable (A). Frekuensi keluaran 50% daur aktif pada output Q dan Q ditentukan oleh komponen-komponen pewaktu ekstern, yaitu tergantung pada nilai R_x , C_x , sehingga nantinya akan diperoleh frekuensi yang kita inginkan, mengingat rumus untuk menghitung frekuensi, adalah :

$$f = 1/T$$

$$= \frac{1}{4,40R_x \cdot C_x} \text{ (Hz, det, } \Omega, F)$$



Gambar 3.10 Rangkaian astable multivibrator IC 4047

3.3 Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Terbarukan/Surya Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Adapun data tersebut meliputi :

- Pengambilan data kecepatan angin di kota Malang

Pengambilan data kecepatan angin dilakukan pada bulan Agustus 2009. Data mengenai kecepatan angin di kota Malang, diambil dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika daerah Karangploso. Data pada tabel di bawah ini memberikan kecepatan angin rata-rata, arah angin terbanyak, serta kecepatan angin maksimum, dalam tahun 2008 .

- Kecepatan angin dan kecepatan putaran turbin

Mengukur kecepatan angin dalam besaran m/dtk yang merupakan satuan ukuran untuk kecepatan angin terhadap kecepatan putaran yang dihasilkan turbin (ventilator kubah) dalam rpm, dengan menggunakan anemometer dan tachometer. Dengan melakukan pengujian terhadap kecepatan angin akan diperoleh data untuk dapat memutar baling-baling sehingga bisa menggerakkan rotor dari generator.

- Output tegangan generator

Mengukur besarnya tegangan output dari generator dengan cara mengkoppel dengan motor DC. Sehingga diperoleh kecepatan putaran generator tertentu yang dapat menghasilkan tegangan DC minimal 12 V. Besaran tegangan yang dapat digunakan dalam pengisian battery minimal adalah 12 volt DC karena kapasitas tegangan dari battery sebesar 12 volt DC. Untuk pengukuran ini dipergunakan avometer dan tachometer.

- Pengukuran pengisian battery

Pengukuran pengisian battery dilakukan untuk mengetahui besar arus pengisian battery. Dari hasil percobaan untuk tegangan keluaran 12 V DC, diperoleh arus dengan, sehingga dapat digunakan untuk menghitung lama pengisian arusnya

- Pengujian pada inverter

Pengujian pada inverter bertujuan untuk mengetahui daya inverter yang telah dirancang apakah mampu mengeluarkan daya 1000 watt, serta mengetahui bentuk tegangan keluarannya.

3.4 Analisa Data

Setelah data terkumpul, akan dilakukan analisis sebagai evaluasi terhadap konversi energi tenaga angin. Adapun proses penganalisaan data dan pengujian alat adalah sebagai berikut :

- Menentukan potensi penempatan Pembangkit Listrik Tenaga Angin Dengan Ventilator Kubah di daerah kota Malang yang sesuai berdasarkan data yang diambil dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika daerah Karangploso, dan data dari pengukuran kecepatan angin dan kecepatan putaran turbin (ventilator kubah).

- Menentukan besarnya tegangan output terhadap kecepatan putaran generator. Sehingga diperoleh besarnya putaran generator yang mampu menghasilkan tegangan DC 12 V , untuk mengisi battery (accu).
- Menentukan besarnya arus pengisian battery (accu), sehingga dapat digunakan untuk menghitung lama pengisian kapasitas arusnya.
- Menentukan besarnya daya inverter yang telah dirancang apakah mampu mengeluarkan daya 1000 watt, serta mengetahui bentuk tegangan keluarannya.

3.5 Penarikan Kesimpulan

Dari hasil analisis akan didapatkan kesimpulan dan saran sebagai hasil dari evaluasi.



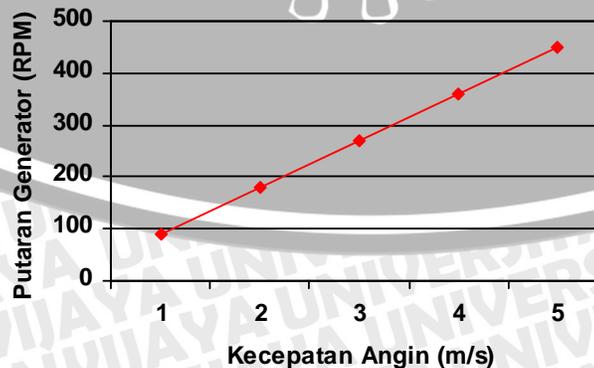
Berdasarkan data klimatologi tahun 2008 dapat diketahui tempat yang sesuai untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin Dengan Ventilator Kubah. Karena untuk mendapatkan putaran rotor yang dapat membangkitkan tegangan DC 12 volt dari generator untuk mengisi battery, yaitu sebesar 450 RPM. Diperlukan kecepatan angin sebesar 5 m/s.

Sehingga dari data klimatologi tersebut dapat disimpulkan bahwa dari kecepatan rata-rata tiap bulan, diperoleh desa Ngijo kecamatan Karangploso kabupaten Malang sebagai tempat yang sesuai untuk pemasangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin Dengan Ventilator Kubah. Karena Desa Tersebut memiliki rata-rata kecepatan angin yang sesuai yaitu lebih dari 5 m/s. Sehingga diperkirakan mampu untuk menggerakkan turbin yang berupa ventilator kubah.

Pengukuran dan perhitungan kecepatan angin terhadap putaran turbin dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Terbarukan/Surya, Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. Dengan hasil di bawah ini.

KECEPATAN ANGIN (m/s)	PUTARAN GENERATOR (RPM)
1	90
2	180
3	270
4	360
5	450

Tabel 4.1 Tabel hubungan kecepatan angin terhadap putaran generator



Grafik 4.1 Grafik hubungan kecepatan angin terhadap putaran generator

4.2 Pengujian Dan Pengukuran Tegangan Output Generator

Untuk pengujian dan pengukuran generator dilakukan dengan menempatkan generator terkopel pada motor AC 3 fasa yang dapat diatur kecepatan hingga 2060 rpm dan pengukuran tegangan output pada terminal generator. Data-data pengukuran generator seperti pada tabel 4.3.

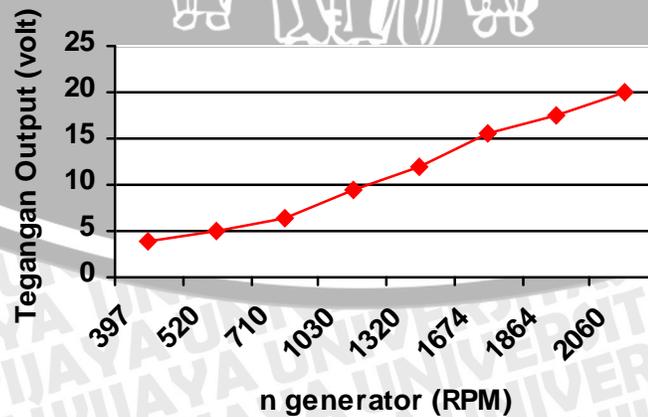


Gambar 4.1 Hubungan generator dengan avometer

Pengukuran generator dilakukan dengan menghubungkan terminal dari avometer dengan output dari generator tersebut, seperti tampak pada gambar 4.1.

Tabel 4.2 Data tegangan output generator

n generator (RPM)	Tegangan Output (VOLT)
397	4
520	5
710	6.5
1030	9.5
1320	12
1674	15.5
1864	17.5
2060	20



Grafik 4.2 Grafik hubungan kecepatan angin terhadap tegangan output

Tabel 4.2 merupakan data pengambilan sampel tegangan generator, dari tabel ini dapat disimpulkan bahwa tegangan output dari generator sangat tergantung pada keadaan kecepatan putaran generator. Dengan bertambahnya kecepatan putaran generator, bertambah pula tegangan keluarannya. Pada kecepatan putaran 1320 RPM, diperoleh tegangan keluaran DC 12 V. Tegangan ini sanggup digunakan untuk mengisi baterai (accu) 12 V.

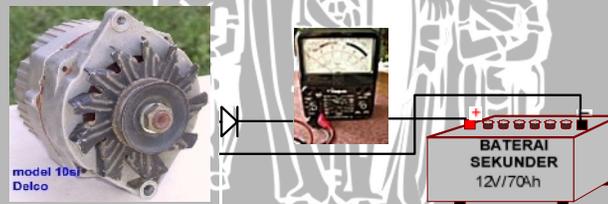
4.3 Pengukuran Pengisian Battery

Langkah pengukuran pengisian baterai seperti pada gambar 4.2. Pengukuran pengisian battery dilakukan untuk mengetahui besar arus pengisian battery. Dari hasil percobaan untuk tegangan keluaran 12 V DC, diperoleh arus sebesar 21 A. Sehingga dapat dihitung lama pengisian arusnya, dengan rumus:

$$T_a = \frac{A_h}{A} = \frac{15}{21} \text{ jam} = 0,71 \text{ jam} = 42,6 \text{ menit}$$

Dimana: T_a = Lamanya pengisian arus (jam)
 A_h = Besarnya kapasitas accumulator (ampere hours)
 A = Besarnya arus pengisian ke accumulator (ampere)

Dari hasil hasil perhitungan tersebut untuk mengisi accumulator yang memiliki kapasitas 15 Ah diperoleh waktu 0,71 jam atau 42,6 menit.



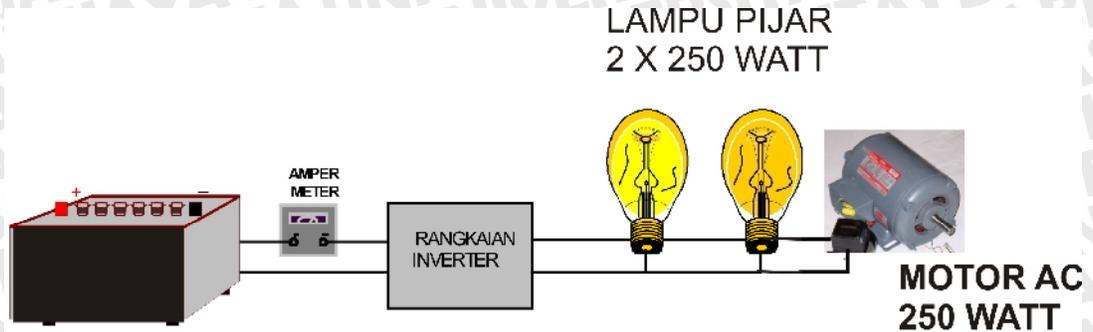
Gambar 4.2 Blok diagram pengukuran pengisian battery

4.4 Pengujian Rangkaian Inverter

Untuk pengujian pada inverter seperti pada diagram blok gambar 4.3 dan 4.4, tujuannya untuk mengetahui daya inverter yang telah dirancang apakah mampu mengeluarkan daya 1000 watt, sehingga dengan daya output ini mampu menyalakan lampu dan motor bor yang dipergunakan sebagai beban dalam pengujian.

Langkah pengujian inverter sebagai berikut:

- Pengujian dengan beban lampu pijar dan motor AC dengan daya keseluruhan 750 Watt, hubungan pengujian seperti pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Blok diagram pengujian inverter beban 750 watt

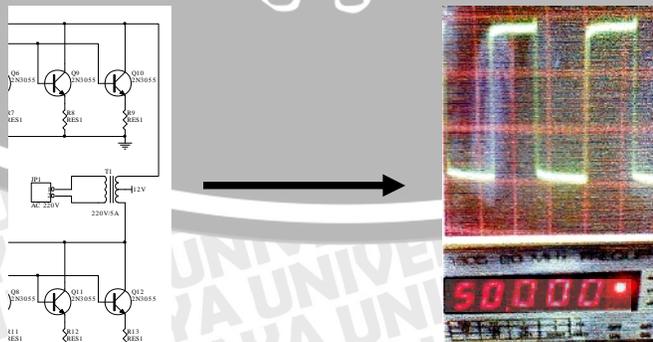
Tabel 4.3 Hasil pengujian inverter beban 750 watt

Tegangan Battery	Arus Beban	Tegangan Inverter
12 Volt	3,38 ampere	218,7 volt

Pada pengujian ini hasil yang diperoleh pada output inverter tidak signifikan terjadi drop tegangan dibandingkan dengan beban lampu pijar, ini artinya inverter yang telah dirancang mampu melayani beban dengan daya +/-1000 watt.

4.5 Pengukuran Tegangan Output Inverter

Pengukuran rangkaian inverter dilakukan untuk mendapatkan informasi sinyal output inverter yaitu tegangan bolak-balik 220 VAC, 50 Hz berupa gelombang petak. Untuk mendapatkan informasi data ini penulis melakukan pengukuran dengan osiloskop. Data hasil pengukuran seperti pada gambar 4.5.



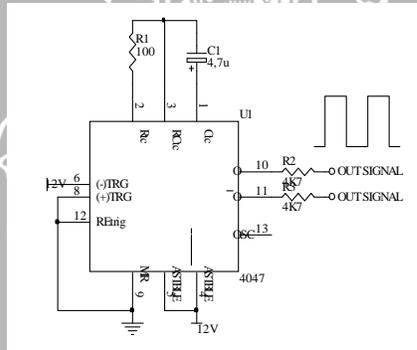
Skala: 100V/Div

Gambar 4.5 Pengukuran frekuensi Pada output terminal inverter

Tegangan output yang dihasilkan oleh inverter adalah 220 Volt dengan frekuensi 50 Hz. Sinyal output inverter yang dihasilkan bukan gelombang sinus, tetapi berupa gelombang petak. Gelombang petak yang dihasilkan oleh inverter adalah hasil osilasi dari rangkaian multivibrator pada rangkaian inverter dengan persamaan osilasinya:

$$\begin{aligned}
 f_{out} &= \frac{1}{R \cdot C} \quad (\text{Hz}) \\
 &= \frac{1}{20\text{K} \times 1\mu\text{F}} \\
 &= \frac{1}{0,02} \\
 &= 50 \text{ Hz}
 \end{aligned}$$

Rangkaian osilator frekuensi seperti pada gambar 4.6



Gambar 4.6 Rangkaian osilator pembangkit gelombang kotak

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang meliputi perancangan, pembuatan dan pengujian alat, maka dapat diambil kesimpulan antara lain:

1. Dari data klimatologi dapat disimpulkan bahwa dari kecepatan angin rata-rata tiap bulan, diperoleh desa Ngijo kecamatan Karangploso kabupaten Malang sebagai tempat yang sesuai untuk pemasangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin Dengan Ventilator Kubah. Karena Desa Tersebut memiliki rata-rata kecepatan angin yang sesuai yaitu lebih dari 5 m/s. Sehingga diperkirakan mampu untuk menggerakkan turbin yang berupa ventilator kubah.
2. Rancangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin dengan Ventilator Kubah sanggup menghasilkan tegangan DC 12 V dengan kecepatan putaran generator sebesar 1320 RPM, untuk mengisi baterai (accu) selama 0,71 jam atau 42,6 menit.
3. Inverter yang dirancang dalam penulisan ini dapat digunakan untuk melayani kebutuhan listrik +/- 1000 Watt sebagai energi yang terbarukan.
4. Hasil keluaran inverter adalah tegangan bolak-balik 220 V AC, 50 Hz berupa gelombang petak.

5.2 Saran

Setelah penulis menyelesaikan tugas akhir ini, ada beberapa saran yang sekiranya dapat menjadi rujukan bagi penulis selanjutnya antara lain:

1. Untuk menghasilkan arus pengisian baterai maksimal disarankan menggunakan baling-baling vertikal yang lebih baik lagi.
2. Supaya kapasitas penyimpanan arus battery bisa bertahan lama, maka baterai harus digunakan lebih dari satu dihubung secara paralel supaya daya yang dihasilkan lebih optimal lagi.
3. Supaya menggunakan pulley dengan diameter yang lebih besar lagi pada turbin, sehingga akan didapatkan putaran yang lebih cepat lagi pada generator.

DAFTAR PUSTAKA

- Cross, Mike. 1987. *Tenaga Angin*. Jakarta: PT Pradnya Paramita
- Fitzgerald, A.E, Kingsley Charles Jr, 1997. *Mesin-mesin Listrik*, Jilid keempat, Penerbit Erlangga
- <http://www.allaboutcircuits.com>
- <http://colonizeantarctica.blogspot.com>
- http://en.wikipedia.org/wiki/Darrieus_wind_turbine
- http://en.wikipedia.org/wiki/Savonius_wind_turbine
- http://en.wikipedia.org/wiki/Vertical-axis_wind_turbine
- http://en.wikipedia.org/wiki/Wind_power_in_Denmark
- http://en.wikipedia.org/wiki/Wind_turbine
- http://en.wikipedia.org/wiki/Wind_turbine
- http://en.wikipedia.org/wiki/Wind_turbine_design
- http://en.wikipedia.org/wiki/Windstar_turbine
- <http://kangtoyo.wordpress.com/2008/12/04/12-vdc-to-220-vac-inverter-with-ic-4047/>
- http://www.solarnavigator.net/wind_turbines_how_they_work.htm
- Malvino, Albert Paul, 1986, *Prinsip-Prinsip Elektronika, Jilid II*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Malvino, 1987, *Aproksimasi Elektronika*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- P. Hogenboom, 1990, *Data sheet 3, Catatan Aplikasi*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Rufus P. Turner, 1993, *Rangkaian Elektronika*, Penerbit PT. Elex Media Komputindo, Jakarta.
- Robert F, 1996, *Penguat Operasional dan Rangkaian Terpadu Linear*, Penerbit PT. Elex Media Komputindo, Jakarta.
- Schaum, 1994, *Rangkaian Listrik*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Wasito.S, 1992, *Vadamekum Elektronika*, Penerbit PT. Gramedia, Jakarta.
- Wasito, S. 1991. "*Data Sheet Book 1 Data IC Linier, TTL dan CMOS*". Gramedia. Pustaka Utama. Jakarta.
- Zuhal, 1990, *Dasar Teknik Listrik Dan Elektronika Daya*, Penerbit PT. Gramedia, Jakarta.

Lampiran



Gambar 6.1. Ventilator kubah dan tower



Gambar 6.2. Rangkaian Charger





Gambar 6.3. Battery / Accumulator



Gambar 6.4. Generator



Gambar 6.5. Pulley dan Belt



Gambar 6.6. Rangkaian Pembangkit Tenaga Angin Utuh

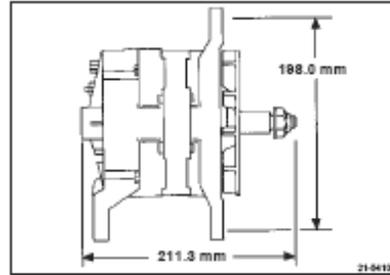


Gambar 6.7. Rangkaian Beban Lampu Pijar

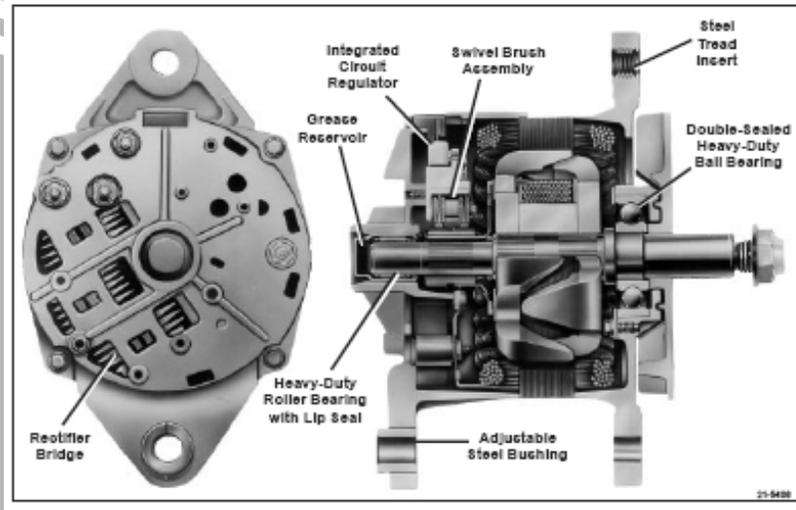
DELCO REMY 21SI

FEATURES

- **High-Output Models**
 - 100 to 145 Amps, 12-Volt
 - 50 to 70 Amps, 24-Volt
- **Applications**
 - Large and Mid-Range On-Highway Diesel and Gasoline Engines
 - Off-Highway, Agriculture and Construction
 - Handles Heavy Belt Load and Vibrations
 - High Electrical Loads
- **Heavy Duty Design**
 - High-Output Rectifier Bridge
 - Double-Sealed Needle Bearing
 - 25mm Drive End Ball Bearing
 - Swivel Brush Holder Construction
- **Built-in Voltage Regulator**
 - Solid-State Integrated-Circuit
 - Flat Temperature-Compensated
 - Low Parasitic Draw
 - Low Turn-On Speed
 - Improved RFI Suppression
 - Load Dump Protection (12-Volt)



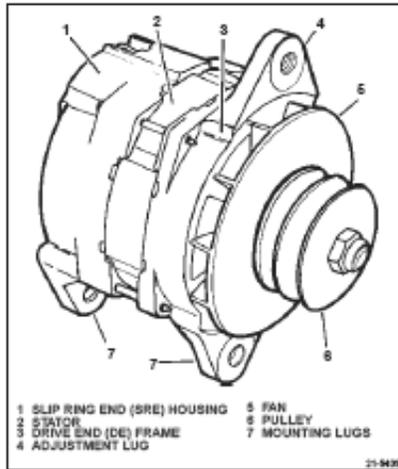
- **Specifications**
 - Maximum Speed, Continuous: 10,000 rpm
 - Intermittent: 12,000 rpm
 - Ambient Temperature Limits: -34° C to +93° C (-30° F to +200° F)
 - Mounting Span: Conforms to SAE J180
 - Polarity: Negative Ground
 - Rotation: Clockwise or Counterclockwise
 - Weight: 6.46 kg (14.2 lbs.)
- **Charging System Wiring**
 - One, Two or Three-Wire Design
 - Terminal Boots Prevent Damage
 - Optional "R" and/or "I" Terminals



PRODUCT INFORMATION AND SERVICE MANUAL
**21-SI HEAVY DUTY
 BRUSH ALTERNATOR**

CONTENTS

Introduction	1	Alternator	8
Features	2	SRE Housing and Components	9
Operating Principles	3	DE Frame and Components	11
Troubleshooting	4	Alternator Assembly	12
A. All Systems	4	DE Frame and Components	12
B. Systems with Indicator Light	5	SRE Housing and Components	13
C. Systems without Indicator Light	6	Final Unit Assembly	17
D. No Output	6	Alternator Bench Check	18
E. Rated Output Check	7	Alternator Mounting	20
Alternator Unit Repair	8	Alternator Specification	22
Disassembly and Bench Checks	8	Service Parts	23



1 SLIP RING END (SRE) HOUSING 5 FAN
 2 STATOR 6 PULLEY
 3 DRIVE END (DE) FRAME 7 MOUNTING LUGS
 4 ADJUSTMENT LUG

Figure 1. 21-SI Alternator

INTRODUCTION

The 21-SI Heavy Duty Alternator is a high output integral charging system with built-in diode rectifier and voltage regulator, producing DC current for battery electrical systems. The 21-SI series is designed for use on large and mid-range diesel and gasoline engines in over-the-road service, as well as for off-road, agricultural, and construction equipment.

The 21-SI Alternator may be operated in either clockwise or counterclockwise directions (external fan may require changing to reverse rotation) at continuous speed of up to

10,000 alternator rpm. Intermittent speeds of up to 12,000 alternator rpm are also acceptable. The ambient temperature range for proper operation is -34° C to +93° C (-30°F to +200° F)

The solid state, integrated circuit voltage regulator built into the 21-SI Alternator limits system voltage by switching the ground circuit for the rotor field on and off. When the ground circuit is on, field current passes from a diode trio through the rotor via brushes and slip rings on the rotor shaft. Nominal regulated voltages of 13.8, 14.0, and 14.2 volts are available for 12-volt systems and 27.5 volts for 24-volt systems.

Various output levels are available. For 12-volt systems, output ratings range from 65 amperes to 160 amperes. For 24-volt systems, output ratings are 30 to 70 amperes. Refer to Figure 2 for graphs of typical outputs over a range of alternator speeds. For output ratings of specific 21-SI models call 1-800-DRA-0222.

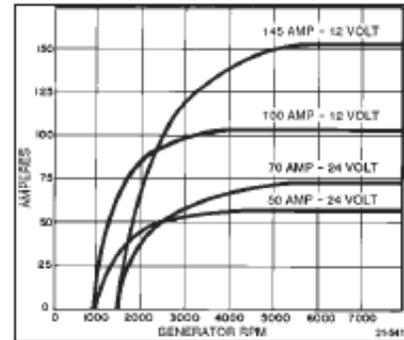


Figure 2. Typical Output vs. Alternator RPM

IC 4047 DATASHEET



CMOS Low-Power Monostable/Astable Multivibrator

High Voltage Types (20-Volt Rating)

■ CD4047B consists of a gateable astable multivibrator with logic techniques incorporated to permit positive or negative edge-triggered monostable multivibrator action with retriggering and external counting options.

Inputs include +TRIGGER, -TRIGGER, ASTABLE, RETRIGGER, and EXTERNAL RESET. Buffered outputs are Q, Q-bar, and OSCILLATOR. In all modes of operation, an external capacitor must be connected between the R-Timing and RC-Common terminals.

Astable operation is enabled by a high level on the ASTABLE input or a low level on the ASTABLE input, or both. The period of the square wave at the Q and Q-bar outputs in this mode of operation is a function of the external components employed. "True" input pulses on the ASTABLE input or "Complement" pulses on the ASTABLE input allow the circuit to be used as a gateable multivibrator. The OSCILLATOR output period will be half of the Q terminal output in the astable mode. However, a 50% duty cycle is not guaranteed at this output.

The CD4047B triggers in the monostable mode when a positive-going edge occurs on the +TRIGGER input while the -TRIGGER is held low. Input pulses may be of any duration relative to the output pulse.

If retrigger capability is desired, the RETRIGGER input is pulsed. The retriggerable mode of operation is limited to positive-going edge. The CD4047B will retrigger as long as the RETRIGGER input is high, with or without transitions (See Fig. 34).

An external countdown option can be implemented by coupling "Q" to an external "N" counter and resetting the counter with the trigger pulse. The counter output pulse is fed back to the ASTABLE input and has a duration equal to N times the period of the multivibrator.

A high level on the EXTERNAL RESET input assures no output pulse during an "ON" power condition. This input can also be activated to terminate the output pulse at any time. For monostable operation, whenever V_{DD} is applied, an internal power-on reset circuit will clock the Q output low within one output period (T_{ML}).

The CD4047B-Series types are supplied in 14-lead hermetic dual-in-line ceramic packages (D and F suffixes), 14-lead dual-in-line plastic packages (E suffix), and in chip form (H suffix).

CD4047B Types

Features:

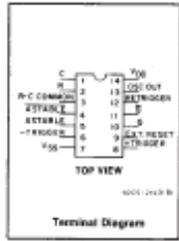
- Low power consumption: special CMOS oscillator configuration
- Monostable (one-shot) or astable (free-running) operation
- True and complemented buffered outputs
- Only one external R and C required
- Buffered inputs
- 100% tested for quiescent current at 20 V
- Standardized, symmetrical output characteristics
- 5-V, 10-V, and 15-V parametric ratings
- Meets all requirements of JEDEC Tentative Standard No. 13B, "Standard Specifications for Description of 'B' Series CMOS Devices"

Monostable Multivibrator Features:

- Positive- or negative edge trigger
- Output pulse width independent of trigger pulse duration
- Retriggerable option for pulse width extension
- Internal power-on reset circuit
- Long pulse widths possible using small RC components by means of external counter provision
- Fast recovery time essentially independent of pulse width
- Pulse-width accuracy maintained at duty cycles approaching 100%

Astable Multivibrator Features:

- Free-running or gateable operating modes
- 50% duty cycle



- Oscillator output available
- Good astable frequency stability: Frequency deviation: ±2% + 0.02%/°C @ 100 kHz ±0.5% + 0.015%/°C @ 10 kHz (circuits "trimmed" to frequency V_{DD} = 10 V ± 10%)

Applications:

- Digital equipment where low-power dissipation and/or high noise immunity are primary design requirements:
- Envelope detection
- Frequency multiplication
- Frequency division
- Frequency discriminators
- Timing circuits
- Time-delay applications

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

For maximum reliability, nominal operating conditions should be selected so that operation is always within the following ranges:

CHARACTERISTIC	LIMITS		UNITS
	MIN.	MAX.	
Supply-Voltage Range (For I _A = Full Package-Temperature Range)	3	18	V

NOTE: IF AT 15 V OPERATION A 10 MΩ RESISTOR IS USED THE OPERATING TEMPERATURE SHOULD BE BETWEEN -25°C AND 100°C

MAXIMUM RATINGS, Absolute-Maximum Values:

- DC SUPPLY-VOLTAGE RANGE (V_{DD})
Voltage referenced to V_{SS} Terminal: -0.5V to +20V
- INPUT VOLTAGE RANGE, ALL INPUTS: -0.5V to V_{DD} + 0.5V
- DC INPUT CURRENT, ANY ONE INPUT: ±15mA
- POWER DISSIPATION PER PACKAGE (P_D): Series Linearity at 125mW/°C to 200mW/°C
For T_A = -25°C to +100°C: 500mW
- DEVICES PER PACKAGE TEMPERATURE RANGE (T_{OP}): Series Linearity at 125mW/°C to 200mW/°C
For T_A = FULL PACKAGE-TEMPERATURE RANGE (All Package Types): 100mW
- OPERATING-TEMPERATURE RANGE (T_A): -65°C to +125°C
- STORAGE TEMPERATURE RANGE (T_{STG}): -65°C to +150°C
- LEAD TEMPERATURE (DURING SOLDERING): +265°C

At distance 1/16 ± 1/32 inch (1.58 ± 0.76mm) from case for 15s max

CD4047B Types

CD4047B FUNCTIONAL TERMINAL CONNECTIONS
 NOTE: IN ALL CASES EXTERNAL RESISTOR BETWEEN TERMINALS 2 AND 3A
 EXTERNAL CAPACITOR BETWEEN TERMINALS 1 AND 3A

FUNCTION	TERMINAL CONNECTIONS			OUTPUT PULSE FROM	OUTPUT PERIOD OR PULSE WIDTH
	TO VDD	TO VSS	INPUT TO		
Astable Multivibrator: Free Running True Gating Complement Gating	4,5,6,14	7,8,9,12	—	10,11,13	$1_A(10,11) = 4.40 RC$ $1_A(13) = 2.20 RC^*$
	4,6,14	7,8,9,12	5	10,11,13	
	6,14	5,7,8,9,12	4	10,11,13	
Monostable Multivibrator: Positive-Edge Trigger Negative-Edge Trigger Retriggerable External Countdown	4,14	5,6,7,9,12	8	10,11	$1_M(10,11) = 2.46 RC$
	4,8,14	5,7,9,12	6	10,11	
	4,14	5,6,7,9	8,12	10,11	
	—	—	—	10,11	
	14	5,6,7,8,9,12	—	10,11	

- * See Text.
- * First positive 1/2 cycle pulsewidth = 2.46 RC, see Note on Page 3-134.
- * Input Pulse to Reset of External Counting Chip External Counting Chip Output To Terminal 4

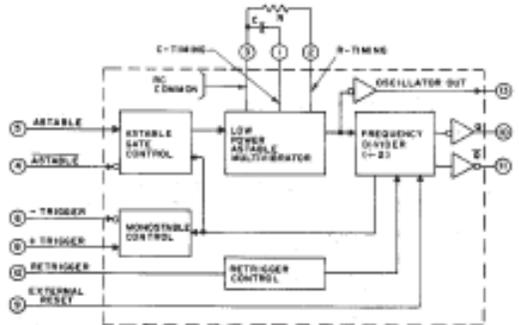


Fig. 1—CD4047B logic block diagram.

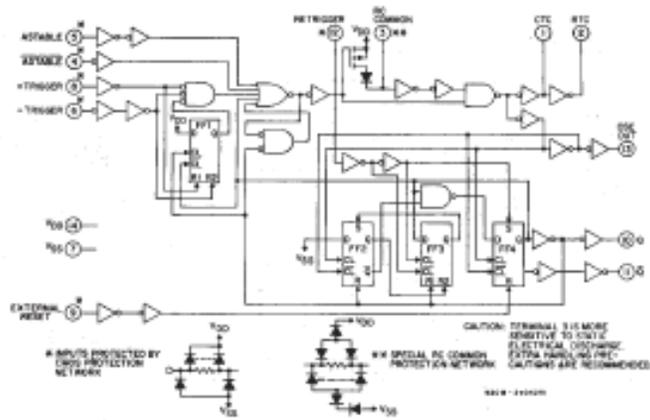


Fig. 2—CD4047B logic diagram.

TRANSISTOR 2N3055 DATASHEET



2N3055
MJ2955

COMPLEMENTARY SILICON POWER TRANSISTORS

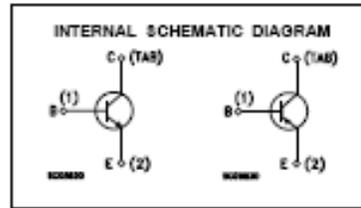
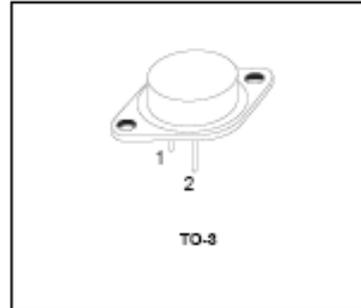
- STMicroelectronics PREFERRED SALESTYPES
- COMPLEMENTARY NPN-PNP DEVICES

DESCRIPTION

The 2N3055 is a silicon Epitaxial-Base Planar NPN transistor mounted in Jedec TO-3 metal case.

It is intended for power switching circuits, series and shunt regulators, output stages and high fidelity amplifiers.

The complementary PNP type is MJ2955.



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value		Unit
		NPN	PNP	
V_{CB0}	Collector-Base Voltage ($I_B = 0$)		100	V
V_{CE0}	Collector-Emitter Voltage ($I_B \leq 100\mu A$)		70	V
V_{CE0}	Collector-Emitter Voltage ($I_B = 0$)		60	V
V_{EB0}	Emitter-Base Voltage ($I_C = 0$)		7	V
I_C	Collector Current		15	A
I_B	Base Current		7	A
P_{tot}	Total Dissipation at $T_c \leq 25^\circ C$		115	W
T_{stg}	Storage Temperature		-85 to 200	$^\circ C$
T_j	Max. Operating Junction Temperature		200	$^\circ C$

For PNP types voltage and current values are negative.

2N3055 / MJ2955

THERMAL DATA

$R_{\theta\text{-case}}$	Thermal Resistance Junction-case	Max	1.5	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$
--------------------------	----------------------------------	-----	-----	-----------------------------

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_{\text{case}} = 25^{\circ}\text{C}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
I_{CER}	Collector Cut-off Current ($V_{\text{BE}} = -1.5\text{V}$)	$V_{\text{CE}} = 100\text{V}$ $V_{\text{CE}} = 100\text{V}$ $T_j = 150^{\circ}\text{C}$			1	mA
I_{CEO}	Collector Cut-off Current ($I_{\text{B}} = 0$)	$V_{\text{CE}} = 30\text{V}$			0.7	mA
I_{EEO}	Emitter Cut-off Current ($I_{\text{C}} = 0$)	$V_{\text{BE}} = 7\text{V}$			5	mA
$V_{\text{CE(sat)}}$ *	Collector-Emitter Sustaining Voltage ($I_{\text{B}} = 0$)	$I_{\text{C}} = 200\text{mA}$	80			V
$V_{\text{CE(sat)}}$ *	Collector-Emitter Sustaining Voltage ($R_{\text{BE}} = 100\ \Omega$)	$I_{\text{C}} = 200\text{mA}$	70			V
$V_{\text{CE(sat)}}$ *	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_{\text{C}} = 4\text{A}$ $I_{\text{B}} = 400\text{mA}$ $I_{\text{C}} = 10\text{A}$ $I_{\text{B}} = 3.3\text{A}$			1 3	V V
V_{BE} *	Base-Emitter Voltage	$I_{\text{C}} = 4\text{A}$ $V_{\text{CE}} = 4\text{A}$ $I_{\text{C}} = 10\text{A}$ $V_{\text{CE}} = 4\text{A}$			1.8 2	V V
β_{DC} *	DC Current Gain	$I_{\text{C}} = 4\text{A}$ $V_{\text{CE}} = 4\text{A}$ $I_{\text{C}} = 10\text{A}$ $V_{\text{CE}} = 4\text{A}$	20 5		70	
f_{T}	Transition frequency	$I_{\text{C}} = 0.5\text{A}$ $V_{\text{CE}} = 10\text{V}$		3		MHz
I_{CBM} *	Second Breakdown Collector Current	$V_{\text{CE}} = 40\text{V}$	2.57			A

* Pulsed: Pulse duration = 300 μs , duty cycle 1.5%.
For PNP types voltage and current values are negative.





**BADAN METEOROLOGI KLIMATOLOGI DAN GEOFISIKA
STASIUN KLIMATOLOGI KARANGPLOS**

Jl. Zentana No.33 Karangploso Malang
Telp. (0341) 464827, 461665 Fax. (0341) 464827 E-mail: psstiana33@yahoo.com, zentana33@hotmail.com

DATA KLIMATOLOGI TAHUN 2008

Nama Pos : *Stasiun Karangploso*
Koordinat : 08° 09' 20" LS
112° 29' 09" BT

Desa : Karangploso
Kecamatan : Sumberpucung
Kabupaten : Malang
Tinggi : 283 m

No	Unsur Klimatologi	Satuan	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nop	Des
7	Kecepatan Angin	Km/jam	9,5	8,8	3,3	2,5	2,6	2,2	3,8	3,2	2,8	3,1	2,7	1,5
	Aran Angin Terbanyak	Mt angin	270	W	W	E	SE	SE	E	E	E	E	W	W
	Kec. Angin Maximum	Km/jam	16,2W	21,6W	21,6W	16,2S	13,7E	12,6S	14,4S	14,4SE	8/S	14,4W	14,4E	8W

Nama Pos : *Stasiun Karangploso*
Koordinat : 07° 45' 48" LS
112° 35' 48" BT

Desa : Nggo
Kecamatan : Karangploso
Kabupaten : Malang
Tinggi : 575 m

No	Unsur Klimatologi	Satuan	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nop	Des
7	Kecepatan Angin	Km/jam	8,5	12,5	5,3	8,5	9,9	6,7	10,6	8,8	10,8	10,4	8,8	7,2
	Aran Angin Terbanyak	Mt angin	S	NW	E	E	S	S	S	S	S	S	S	S
	Kec. Angin Maximum	Km/jam	36,0W	43,2NW	28,8S	36,0E	36,0E	39,6S	36,0S	36,0S	32,4S	46,8E	36,0E	25,2S

Nama Pos : *Lanud A.R. Saleh*
Koordinat : 07° 55' LS
112° 42' BT

Desa : Bugis
Kecamatan : Praks
Kabupaten : Malang
Tinggi : 533 m

No	Unsur Klimatologi	Satuan	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nop	Des
7	Kecepatan Angin	Km/jam	7	9	5,4	7,2	3	5,4	7,2	7,2	4	4,0	4	5
	Aran Angin Terbanyak	Mt angin	S	NW	N	N	SW	N	SW	SW	SW	N	N	SW
	Kec. Angin Maximum	Km/jam	36,0N	41,4SE	37,8NE	43,2NE	43,2NE	36,0N	47,0N	45,0N	38,0E	25,0N	32,0N	18,0W

Melang, 13 Agustus 2008

Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika
Kantor Wilayah Brawijaya
Kantor Stasiun Meteorologi Karangploso
Kantor Stasiun Meteorologi Lanud A.R. Saleh

Agus Sulartono
NIP. 196101091982031002