

**RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN SKALA
RUMAH TANGGA UNTUK PANTAI MALANG SELATAN**

SKRIPSI



DISUSUN OLEH :

Yayang Yoga Ret Pradita 10.12.013

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2014**

LEMBAR PERSETUJUAN

**RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN SKALA
RUMAH TANGGA UNTUK PANTAI MALANG SELATAN**

SKRIPSI

**Disusun Dan Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik Strata Satu (S-1)**

**Disusun Oleh :
Yayang Yoga Ret Pradita
NIM. 10.12.013**

Diperiksa dan Disetujui,

Dosen Pembimbing I



**Ir. Taufik Hidayat, MT
NIP. Y. 1018700015**

Dosen Pembimbing II



**Ir. Ni Putu Agustini, MT
NIP. Y. 1030100371**

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Elektri S-1




**M. Ibrahim Ashari, ST, MT
NIP. P. 1030100358**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

2014



LEMBAR PERSEMBAHAN

Yang Utama Dari Segalanya...

Sembah sujud serta syukur kepada Allah SWT. Taburan cinta dan kasih sayang-Mu telah memberikanku kekuatan, membekaliku dengan ilmu serta memperkenalkanku dengan cinta. Atas karunia serta kemudahan yang Engkau berikan akhirnya skripsi yang sederhana ini dapat terselesaikan. Sholawat dan salam selalu terlimpahkan keharibaan Rasulullah Muhammad SAW.

Kupersembahkan karya sederhana ini kepada orang yang sangat kukasihi dan kusayangi.

Ibunda dan Ayahanda Tercinta

Sebagai tanda bakti, hormat, dan rasa terima kasih yang tiada terhingga kupersembahkan karya kecil ini kepada Ibu dan Ayah yang telah memberikan kasih sayang, segala dukungan, dan cinta kasih yang tiada terhingga yang tiada mungkin dapat kubalas hanya dengan selembar kertas yang bertuliskan kata cinta dan persembahan. Semoga ini menjadi langkah awal untuk membuat Ibu dan Ayah bahagia karna kusadar, selama ini belum bisa berbuat yang lebih. Untuk Ibu dan Ayah yang selalu membuatku termotivasi dan selalu menyirami kasih sayang, selalu mendoakanku, selalu menasehatiku menjadi lebih baik,

Terima Kasih Ibu.... Terima Kasih Ayah...

My Sister

Untuk adikku, tiada yang paling mengharukan saat kumpul bersama, walaupun sering bertengkar tapi hal itu selalu menjadi warna yang tak akan bisa tergantikan, terima kasih atas doa dan bantuan kalian selama ini, hanya karya kecil ini yang dapat aku persembahkan. Maaf belum bisa menjadi panutan seutuhnya, tapi aku akan selalu menjadi yang terbaik untukmu..

My Sweet Heart "Jeehan"

Untuk yang terkasih. Terima kasih atas kasih sayang, perhatian, dan kesabaranmu. Semoga dari karyaku ini, aku bisa menatap masa depan yang cerah bersamamu. Dan berangkat dari inilah impian-impianku akan kumulai, terima kasih atas tinta kasih yang telah kau goreskan di kota keduaku. Malang..

My Best friend's

All Electrical Engineering '10. Sebuah kehormatan bisa belajar bersama kalian selama 4 tahun ini, semoga impian kita semua bisa tercapai. Amiin.

Yayang Yoga Ret Pradita, ST

ABSTRAK

RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN SKALA RUMAH TANGGA UNTUK PANTAI MALANG SELATAN

Yayang Yoga Ret Pradita

10.12.013

Pembimbing: Ir. Taufik Hidayat, MT dan Ir. Ni Putu Agustini, MT

Email: retpradita@rocketmail.com

Jurusan Teknik Elektro S-1, Konsentrasi Teknik Energi Listrik

Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang

Jl. Raya Karanglo Km 2 Malang

Di Indonesia, sumber daya energi, khususnya angin untuk pembangkit energi listrik, sudah dilakukan tahap penelitian (research). Penelitian turbin angin memerlukan proses pengujian yang sangat berkaitan erat dengan kondisi geografi suatu daerah penelitian tersebut. Mekanisme penelitian turbin angin saat ini, lebih menekankan aspek perancangan dan konstruksi turbin angin memiliki peranan yang signifikan. Dengan perancangan dan konstruksi yang sesuai dan memperhatikan kondisi alam dari suatu daerah penelitian, maka akan didapatkan daya optimum yang akan dijadikan sebagai sumber energi alternatif yang berasal dari energi angin. Perencanaan pada pembangkit listrik tenaga angin yang akan digunakan meliputi perencanaan turbin angin, memilih generator yang akan digunakan, serta menentukan accumulator dan inverter yang dapat memikul beban 100 watt selama 6 jam. Hasil pada saat pengujian kecepatan angin di Pantai Malang Selatan sendiri, terbilang sangat berpotensi untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga angin dengan tipe turbin angin horizontal menggunakan 6 blade.

Kata kunci: PLTA, Turbin Angin, Pantai Malang Selatan.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, dan inayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "**RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN SKALA RUMAH TANGGA UNTUK PANTAI MALANG SELATAN**" untuk memenuhi salah satu syarat dalam mendapatkan gelar Sarjana Teknik Elektro S-1.

Skripsi ini terwujud berkat rahmat dan karunia Tuhan Yang Maha Esa serta bantuan berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada yang terhormat:

- Bapak Ir. Soeparno Djiwo, MT selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
- Bapak Ir. H. Anang Subardi, MT selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri ITN Malang.
- Bapak M. Ibrahim Ashari, ST, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1 ITN Malang.
- Bapak Dr. Eng. Aryunto Soetedjo, ST, MT selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro S-1 ITN Malang.
- Bapak Ir. Taufik Hidayat, MT selaku Dosen Pembimbing 1.
- Ibu Ir. Ni Putu Agustini, MT selaku Dosen Pembimbing 2.
- Serta semua pihak yang telah mendukung sepenuhnya untuk penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam skripsi ini, sehingga penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun dari pembaca agar skripsi ini menjadi lebih baik.

Malang, September 2014

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	i
LEMBAR PERSEMBAHAN	ii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GRAFIK	x

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Metodologi	3
1.6 Sistematika Penulisan	3

BAB II DASAR TEORI

2.1 Energi Angin	5
2.2 Prinsip Konversi Energi Angin	5
2.3 Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH)	6
2.3.1 Kelebihan Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH)	7
2.3.2 Kelemahan Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH)	8
2.4 Performa Turbin Angin	8
2.4.1 Koefisien Daya	9
2.5 Desain Turbin Angin	10
2.5.1 Tip Speed Ratio	11
2.5.2 Shaft Speed	12
2.5.3 Torsi	12

2.6 Generator.....	13
2.6.1 Prinsip Kerja Generator Fluks Aksial.....	14
2.7 Accumulator.....	16
2.7.1 Konstruksi Accumulator.....	18
2.8 Inverter.....	20
2.8.1 Jenis Gelombang Inverter.....	20
2.8.2 Prinsip Kerja Inverter.....	21

BAB III PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN

3.1 Pendahuluan	23
3.2 Flowchart.....	23
3.3 Perencanaan Turbin Angin.....	25
3.3.1 Tip Speed Ratio.....	25
3.3.2 Shaft Speed.....	27
3.3.3 Performa Turbin Angin.....	28
3.3.4 Torsi.....	29
3.3.5 Konstruksi Turbin Angin.....	30
3.4 Pemilihan Generator.....	31
3.5 Penentuan Accumulator.....	33
3.6 Penentuan Inverter.....	34
3.7 Penggunaan Beban.....	36

BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA

4.1 Objek Pengujian.....	37
4.1.1 Peralatan Pengujian.....	37
4.2 Alur Pengujian.....	38
4.2.1 Pengujian Tegangan Dan Arus Keluaran Generator Terhadap Kecepatan Angin.....	38
4.2.2 Pengujian Turbin Angin Dengan Pembebanan	

Akumulator.....	39
4.2.3 Pengujian Pencatuan Ke Beban Listrik.....	39
4.3 Langkah Pengujian.....	40
4.3.1 Pengujian Tegangan Dan Arus Terhadap Kecepatan Angin.....	40
4.3.2 Pengujian Turbin Angin Dengan Pembebanan Accumulator 12 V 100ah.....	40
4.3.3 Pengujian Pencatuan Ke Beban Listrik.....	41
4.4 Hasil Pengujian.....	41
4.4.1 Hasil Pengujian Kecepatan Angin Pantai Malang Selatan.....	41
4.5 Hasil Pengujian Turbin Angin.....	43
4.6 Hasil Pengujian Tegangan Dan Arus Tanpa Beban.....	43
4.7 Analisis Hasil Pengujian Dengan Beban Accumulator.....	46
4.8 Hasil Pengujian Pencatuan Ke Beban Listrik.....	48

BAB V KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan.....	51
---------------------	----

DAFTAR PUSTAKA.....	52
----------------------------	-----------

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Turbin Angin Sumbu Horizontal.....	7
Gambar 2.2 Hubungan Torsi Rotor Dengan <i>Tip Speed Ratio</i>	12
Gambar 2.3 Generator Aksial Dengan Magnet Permanen.....	14
Gambar 2.4 Konstruksi Accumulator.	19
Gambar 2.5 Rangkaian Inverter.	21
Gambar 3.1 Blok Diagram Sistem Pengisian Battery Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin.....	23
Gambar 3.2 Flowchart.....	24
Gambar 3.3 Hubungan Antara <i>Tip Speed Ratio</i> Dan Koefisien Rotor Turbin.	27
Gambar 3.4 Konstruksi Turbin Angin.	30
Gambar 3.5 Generator Aksial Dengan Magnet Permanen.....	31
Gambar 3.6 Accumulator Incoe 12v 100ah.	34
Gambar 3.7 Inverter Tbe 300 Watt.	35
Gambar 3.8 Lampu Chiyoda 100 Watt.	36
Gambar 4.1 Diagram Pengujian Tegangan Generator.	39
Gmabra 4.2 Diagram Pengujian Pengisian Accumulator.	39
Gambar 4.3 Rangkaian Beban Ac.....	39

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi Turbin Angin.....	30
Tabel 3.2 Spesifikasi Generator Aksial 200 W.....	32
Tabel 4.1 Pengujian Kecepatan Angin Pantai Malang Selatan.....	41
Tabel 4.2 Data Kecepatan Angin Ketika Wind Turbine Mulai Berputar.....	43
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Tegangan keluaran Generator.....	44
Tabel 4.4 Hasil Pengujian dengan pembebanan Accumulator.....	47
Tabel 4.5 Data Pengujian Pencatuan Beban Listrik.....	49

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Kecepatan Angin Pantai Malang Selatan.	43
Grafik 4.2 Hubungan Antara Tegangan Output Generator Terhadap Kecepatan Angin.....	45
Grafik 4.3 Hubungan Kecepatan Putaran Turbin Terhadap Angin.....	46
Grafik 4.4 Arus Pengisian Accumulator Terhadap Kecepatan Angin.....	48
Grafik 4.5 Tegangan Pada Accumulator.....	49
Grafik 4.6 Tegangan Pada Lampu.	50

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Kehidupan di sekitar pantai masih sederhana karena jauhnya penyediaan listrik ke daerah Pantai Malang Selatan. Mayoritas penduduk yang berprofesi sebagai nelayan kurang mengetahui bagaimana caranya memanfaatkan sumber daya angin yang ada. Sampai hari ini mereka masih bergantung pada genset, dimana kita ketahui bahwa mesin itu masih menggunakan bahan bakar fosil hingga harganya terlampau mahal. Semestinya penghasilan mereka dapat dimanfaatkan sebaik mungkin untuk mengembangkan sumber daya manusia masing-masing dan kebutuhan pokok yang lain, agar masyarakat di sekitar pantai tidak hanya dapat menikmati keindahan ragam laut tetapi juga dapat memanfaatkan kekayaan alam dalam lingkungan mereka dari pembangkit listrik yang memanfaatkan angin dari pantai. Adapun potensi angin dari angin laut yang bisa dimanfaatkan sebagai pengganti energi tersebut.

Di Indonesia, sumber daya energi, khususnya angin untuk pembangkit energi listrik, sudah dilakukan tahap penelitian (research). Kecuali di beberapa wilayah di Indonesia yang memang sudah menggunakan tenaga angin sebagai sumber energi listrik alternatif, penelitian turbin angin memerlukan seperangkat desain, alat uji dan proses pengujian yang sangat berkaitan erat dengan kondisi geografi suatu daerah penelitian tersebut. Penelitian tentang tenaga angin pun masih kurang dikarenakan kondisi iklim, cuaca, dan arah angin beserta volume angin yang relatif berubah pada setiap saat dan kondisi tempat yang berbeda. (Adi Andriyanto, 2008)

Mekanisme penelitian turbin angin saat ini, lebih menekankan aspek perancangan dan konstruksi turbin angin memiliki peranan yang signifikan. Kebanyakan dari kelemahan hasil penelitian dikarenakan kurang memperhatikan efek perancangan dan konstruksi yang sesuai. Dengan perancangan dan konstruksi yang sesuai dan memperhatikan kondisi alam dari suatu daerah penelitian, maka akan didapatkan daya optimum yang akan dijadikan sebagai sumber energi alternatif yang berasal dari energi angin.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang, maka penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut: Bagaimana Pembangkit Listrik Tenaga Angin ini dapat memenuhi beban penerangan untuk skala rumah tangga?

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Berdasarkan rumusan masalah yang tercantum di atas, maka penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Merancang Bangun Kincir Angin dan menentukan Generator yang digunakan untuk pengisian Accumulator.
2. Menentukan Besarnya Kapasitas Accumulator yang digunakan untuk memikul beban penerangan 100 W selama 6 Jam.

1.4 BATASAN MASALAH

Batasan masalah dari skripsi ini antara lain:

1. Penulis tidak membahas tentang system kontroler.
 2. Turbin angin yang digunakan merupakan jenis turbin angin tipe horizontal.
 3. Pengujian turbin angin dilakukan di sekitar pantai malang selatan.
-

1.5 METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam pembahasan skripsi ini adalah:

1. Studi Literatur

Mencari referensi-referensi yang berhubungan dengan perencanaan dan pembuatan alat yang akan dibuat.

2. Perancangan Alat

Melakukan perancangan terhadap alat yang akan digunakan sesuai dengan data yang ada agar alat tersebut dapat berfungsi secara optimal.

3. Pengujian Alat

Untuk mengetahui cara kerja alat, maka dilakukan pengujian secara keseluruhan, dan menganalisa hasil pengujian alat untuk membuat kesimpulan.

1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

BABI PENDAHULUAN

Pada bab ini berisi latar belakang dari perencanaan alat, tujuan yang ingin dicapai, batasan permasalahan pada skripsi ini serta sistematika penulisan.

BAB II DASAR TEORI

Pada bab ini meliputi teori-teori dasar, serta referensi-referensi yang berguna sebagai acuan dan landasan dalam perencanaan skripsi ini antara lain: perancangan pada kincir angin, penentuan Generator, Inverter dan Battery (Accumulator).

BAB III PERENCANAAN

Pada bab ini berisi perencanaan pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin, Perencanaan turbin angin berdasarkan kecepatan angin untuk menentukan jumlah blade . dan penentuan peralatan lain yang dilakukan berdasarkan perhitungan dan perencanaan yang telah dibuat.

BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA

Berisi tentang pengujian alat yang telah dilakukan perencanaan dalam pembuatan Skripsi tersebut, sehingga dapat dianalisa hasil yang diperoleh.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini berisi kesimpulan dari skripsi yang telah dikerjakan serta saran-saran mengenai skripsi ini, untuk dilakukan perbaikan dan pengembangan alat yang akan dibuat ini pada masa yang akan datang.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 ENERGI ANGIN

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

Seperti yang telah dijelaskan, Angin adalah udara yang bergerak dari tekanan udara yang lebih tinggi ke tekanan udara yang lebih rendah. Perbedaan tekanan udara disebabkan oleh perbedaan suhu udara akibat pemanasan atmosfer yang tidak merata oleh sinar matahari. Karena bergerak angin memiliki energi kinetik. Energi angin dapat dikonversi atau ditransfer ke dalam bentuk energi lain seperti listrik atau mekanik dengan menggunakan kincir atau turbin angin. Oleh karena itu, kincir atau turbin angin sering disebut sebagai Sistem Konversi Energi Angin (SKEA).

2.2 PRINSIP KONVERSI ENERGI ANGIN

Bentuk energi yang terdapat pada angin yang dapat diekstraksi oleh turbin angin adalah energi kinetiknya. Angin adalah massa udara yang bergerak. Besarnya energi yang terkandung pada angin bergantung pada besar kecepatan dan massa jenisnya. Jika diformulasikan, besar energi kinetik yang

terkandung pada angin atau udara bergerak yang bermassa m dan berkecepatan v adalah (Hau, 2005:81):

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

dimana:

E_k = Energi kinetik (joule)

m = massa udara (kg/s)

v = kecepatan angin (m/s)

Energi kinetik yang terkandung dalam angin inilah yang nantinya akan ditangkap turbin angin untuk memutar rotor, untuk menganalisis seberapa besar energi angin yang dapat diserap oleh turbin angin, digunakan teori momentum elementer betz.

2.3 TURBIN ANGIN SUMBU HORIZONTAL (TASH)

Turbin angin sumbu horizontal (TASH) memiliki poros rotor utama dan generator listrik di puncak menara. Turbin berukuran kecil diarahkan oleh sebuah baling-baling angin (baling-baling cuaca) yang sederhana, sedangkan turbin berukuran besar pada umumnya menggunakan sebuah sensor angin yang digandengkan ke sebuah servo motor. Sebagian besar memiliki sebuah *gearbox* yang mengubah perputaran kincir yang pelan menjadi lebih cepat berputar. Karena sebuah menara menghasilkan turbulensi di belakangnya, turbin biasanya diarahkan melawan arah anginnya menara. Bilah-bilah turbin dibuat kaku agar mereka tidak terdorong menuju menara oleh angin berkecepatan tinggi. Sebagai tambahan, bilah-bilah itu diletakkan di depan menara pada jarak tertentu dan sedikit dimiringkan.

Karena turbulensi menyebabkan kerusakan struktur menara, dan realibilitas begitu penting, sebagian besar TASH merupakan mesin *upwind* (melawan arah angin). Meski memiliki permasalahan turbulensi, mesin *downwind* (menurut jurusan angin) dibuat karena tidak memerlukan mekanisme tambahan agar mereka tetap sejalan dengan angin, dan karena di saat angin berhembus sangat kencang, bilah-bilahnya bisa ditekuk sehingga mengurangi wilayah tiupan mereka dan dengan demikian juga mengurangi resintensi angin dari bilah-bilah itu.



Gambar 2.1 : Turbin angin sumbu horizontal

2.3.1 KELEBIHAN TURBIN ANGIN SUMBU HORIZONTAL (TASH):

Dasar menara yang tinggi membolehkan akses ke angin yang lebih kuat di tempat-tempat yang memiliki geseran angin (perbedaan antara laju dan arah angin) antara dua titik yang jaraknya relatif dekat di dalam atmosfer bumi. Di sejumlah lokasi geseran angin, setiap sepuluh meter ke atas, kecepatan angin meningkat sebesar 20%.

2.3.2 KELEMAHAN TURBIN ANGIN SUMBU HORIZONTAL (TASH):

1. Menara yang tinggi serta bilah yang panjang sulit diangkut dan juga memerlukan biaya besar untuk pemasangannya, bisa mencapai 20% dari seluruh biaya peralatan turbin angin.
2. TASH yang tinggi sulit dipasang, membutuhkan derek yang sangat tinggi dan mahal serta para operator yang terampil.
3. Konstruksi menara yang besar dibutuhkan untuk menyangga bilah-bilah yang berat, *gearbox*, dan generator.
4. TASH yang tinggi bisa memengaruhi radar airport.
5. Ukurannya yang tinggi merintang jangkauan pandangan dan mengganggu penampilan *landscape*.
6. Berbagai varian *downwind* menderita kerusakan struktur yang disebabkan oleh turbulensi.

2.4 PERFORMA TURBIN ANGIN

Daya yang dihasilkan konversi oleh turbin angin sebanding dengan pangkat tiga kecepatan angin. Daya yang dihasilkan rotor turbin angin

(Eric Hau, Wind Turbines Fundamentals 2005 : 82):

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

Dimana:

P : daya mekanik (W)

v : kecepatan angin (m/s)

ρ : densitas udara (ρ rata-rata : $1,2 \text{ kg}/\text{m}^3$)

A : luas penampang

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

D : Diameter rotor (m)

persamaan di atas kemudian disederhanakan menjadi:

$$C_p = \frac{P}{P_0} = \frac{1}{2} \left[\left[1 - \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^2 \right] \left[1 + \frac{v_2}{v_1} \right] \right]$$

dengan memasukkan nilai v_2/v_1 , maka C_p dapat disajikan dalam bentuk grafik berikut:

Didapat bahwa C_p maksimum diperoleh pada kisaran $v_2/v_1 = 1/3$, setelah rasio tersebut disubstitusi ke persamaan $C_p = \frac{P}{P_0} = \frac{1}{2} \left[\left[1 - \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^2 \right] \left[1 + \frac{v_2}{v_1} \right] \right]$ akan diperoleh “faktor daya ideal” yaitu sebesar $C_p = \frac{16}{27} = 0,593$ (besaran faktor daya ini disebut “*Betz factor*”). Keadaan maksimum ini terjadi pada saat rasio kecepatan udara $v_2/v_1 = 1/3$ sehingga didapat bahwa kecepatan aliran udara pada turbin angin (v') adalah sebesar $\frac{2}{3} v_1$.

2.5 DESAIN TURBIN ANGIN

Untuk mendesain sebuah kincir angin, ada banyak hal yang harus diperhatikan. Hal pertama yang harus dipertimbangkan yaitu kecepatan angin, berapa besar daya yang kita butuhkan, setelah itu yang tidak kalah penting yaitu berapa jumlah blade yang harus digunakan, dan masih banyak hal teknis lainnya.

2.5.1 TIP SPEED RATIO

Hal pertama yang diperhatikan dalam desain kincir angin yaitu TSR (Tip Speed Ratio) atau perbandingan kecepatan di tip kincir angin (ujung) dan kecepatan angin yang didapat oleh kincir. TSR adalah perbandingan ujung sudu/blade dengan kecepatan angin yang melewatinya. Bila $TSR < 1$ artinya lebih banyak bagian sudu yang mengalami gaya dorong/drag. Sedangkan bila $TSR > 1$ artinya lebih banyak bagian sudu yang mengalami gaya angkat/lift. Umumnya, desain sudu dengan dominasi gaya angkat memiliki efisiensi dan daya yang lebih tinggi.

Menghitung TSR (λ) dapat menggunakan persamaan (Eric Hau, Wind Turbines Fundamentals 2005 : 94) :

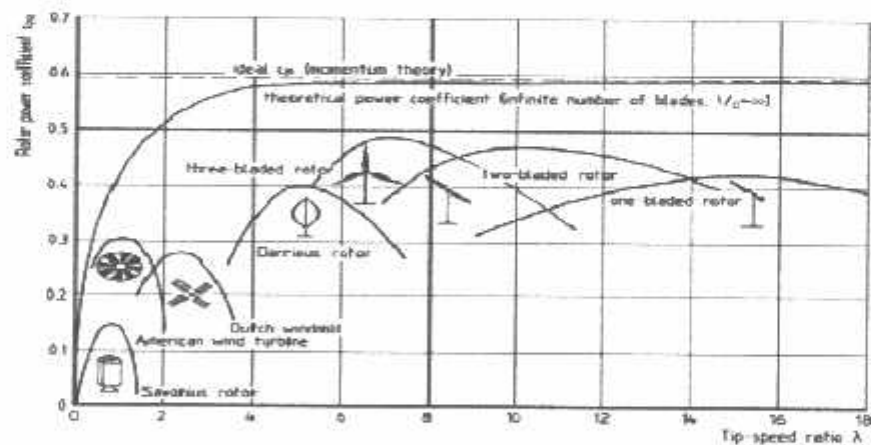
$$\lambda = \frac{4\pi}{B}$$

Dengan:

λ = tipe speed ratio

B = Jumlah Blade

Grafik berikut menunjukkan variasi nilai *tip speed ratio* dan koefisien daya c_p untuk berbagai macam turbin angin.



Gambar 2.2 Hubungan Torsi Rotor Dengan *Tip Speed Ratio*

2.5.2 SHAFT SPEED

Kecepatan angin mempengaruhi kecepatan putaran kincir (rpm). Hubungan kecepatan angin dengan kecepatan putaran kincir yaitu :

$$\text{Shaft speed} = \frac{60\lambda v}{\pi D} \text{rpm}$$

Dimana:

D = Diameter turbin (m)

2.5.3 TORSI

Kebanyakan turbin angin mengekstraksi energi dari angin dalam bentuk mekanik dan ditransmisikan ke beban dengan memutar poros dari turbin angin. Poros tersebut harus benar-benar dirancang atau dibuat untuk mengirimkan tenaga dari turbin angin. Ketika daya ditransmisikan melalui poros, maka dengan begitu akan didapat nilai torsi.

Torsi dari sebuah kincir angin dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$T = \frac{P}{\omega} = \frac{P \cdot 60}{2\pi \cdot n}$$

Dimana:

T = torsi (N.m)

P = daya (watt)

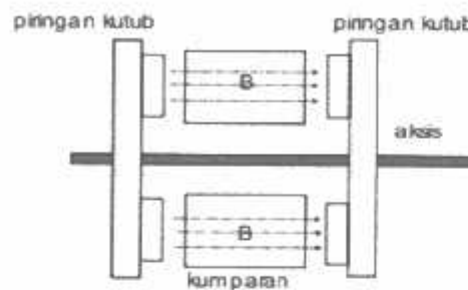
ω = kecepatan angular (rad/s)

n = putaran (rpm)

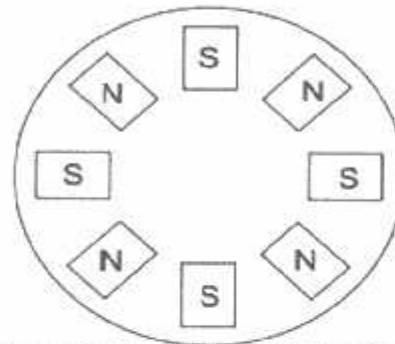
2.6 GENERATOR

Generator fluks aksial adalah salah satu jenis mesin listrik yang dapat membangkitkan energi listrik dengan arah aliran fluks secara aksial. Generator jenis ini terus dikembangkan dengan berbagai variasi desain agar didapat tingkat efisiensi yang tinggi untuk diimplementasikan dengan sumber daya alam yang ada (Nugroho, 2013).

Magnet permanen yang digunakan pada generator fluks aksial memiliki fungsi sebagai pengganti catu daya DC untuk memberikan medan (eksitasi) pada stator generator tersebut. Generator magnet permanen fluks aksial tipe rotor ganda stator tunggal merupakan salah satu topologi dari generator fluks aksial. Generator ini dapat digunakan untuk pembangkitan tenaga listrik pada putaran yang rendah. Pada bagian stator terdapat kumparan kawat tembaga yang tersusun melingkar, dan pada bagian rotor terdapat magnet permanen yang nantinya akan membangkitkan medan utama. Accumulator besar luas permukaan permanen magnet yang digunakan, Accumulator banyak pula fluks magnetik yang dibangkitkan oleh magnet permanen tersebut dan menembus kumparan pada stator, sehingga gaya gerak listrik (GGL) induksi yang dibangkitkan juga Accumulator tinggi (Kurniawan, 2010). Pada rangkaian stator, bisa terdapat inti besi. Fungsinya, inti besi akan memfokuskan fluks magnet permanen pada rotor terhadap kumparan statornya tersebut. Bentuk belitan stator dapat mempengaruhi besarnya torsi, bentuk gelombang, dan kemampuan daya yang dialirkan.



Gambar 1. Konstruksi Dasar Generator Aksial. Arah Medan Magnet Sejajar dengan Aksis Generator



Gambar 2. Tampak Muka Posisi Kutub - Kutub Magnetik pada Piringan Kutub (Kutub Magnetik Diletakkan secara Berselang-Seling)

Gambar 2.3 Generator Aksial Dengan Magnet Permanen

2.6.1 PRINSIP KERJA GENERATOR FLUKS AKSIAL

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

$$\Phi_a = B_f \cdot A \cos \theta$$

Keterangan:

A = Luas bidang yang ditembus oleh medan magnet

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

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

$$E_a = - \frac{d\Phi_a}{dt}$$

Tanda negatif menunjukkan bahwa arah gaya gerak listrik berlawanan dengan tegangan sumber. Dari persamaan diatas terlihat bahwa nilai GGL yang dihasilkan tergantung dari nilai perubahan fluks terhadap waktu. Penempatan kumparan pada stator menentukan tegangan output dari generator. Tiap pasang kumparan pada stator akan memiliki sudut fasa tertentu sehingga jika kita menempatkan 1 pasang kumparan saja, kita akan mendapatkan tegangan output dengan 1 fasa saja. Namun jika menempatkan 3 pasang kumparan pada stator dengan beda sudut 120 derajat, maka akan diperoleh tegangan keluaran dengan fasa yang berbeda 120 derajat juga. Persamaan frekuensi yang dihasilkan oleh generator aksial adalah sama dengan frekuensi yang dibangkitkan oleh generator konvensional. Yaitu:

$$f = \frac{nP}{120}$$

Keterangan:

f = frekuensi listrik yang dihasilkan

n = kecepatan medan putar rotor (rpm)

P = jumlah kutub pada rotor

2.7 ACCUMULATOR

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

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

Elemen sekunder dalam pemakaiannya harus diberi muatan terlebih dahulu sebelum digunakan, yaitu dengan cara mengalirkan arus listrik (secara umum dikenal dengan istilah 'di-charge'). Akan tetapi, tidak seperti elemen primer, elemen sekunder dapat dimuati kembali berulang kali. Elemen sekunder ini lebih dikenal dengan accumulator. Dalam sebuah accumulator berlangsung proses elektrokimia yang reversibel (bolak-balik) dengan efisiensi yang tinggi. Yang dimaksud dengan proses elektro kimia reversibel yaitu di dalam accumulator saat dipakai berlangsung proses perubahan kimia menjadi tenaga listrik (*discharging*). Sedangkan saat diisi atau dimuati, terjadi proses tenaga listrik menjadi tenaga kimia (*charging*).

Untuk mengetahui waktu dalam proses pengisian accumulator, dapat menggunakan perhitungan sebagai berikut :

Lama pengisian arus :

$$T_a = \frac{Ah}{A}$$

Keterangan :

T_a = Lamanya pengisian arus (jam)

Ah = Besarnya kapasitas accumulator (Ampere hours)

A = Besarnya arus pengisian ke accumulator (Ampere)

Kapasitas baterai atau accumulator adalah jumlah ampere jam ($Ah = \text{kuat arus/Ampere} \times \text{waktu/hour}$), artinya baterai dapat memberikan/menyuplai sejumlah isinya secara rata-rata sebelum tiap selnya menyentuh tegangan/voltase turun (drop voltage) yaitu sebesar 1,75 V (tiap sel memiliki tegangan sebesar 2 V; jika dipakai maka tegangan akan terus turun dan kapasitas efektif dikatakan sudah terpakai semuanya bila tegangan sel telah menyentuh 1,75 V). Misal, baterai 12 V 100 Ah. Baterai ini bisa memberikan kuat arus sebesar 75 Ampere dalam satu jam artinya memberikan daya rata-rata sebesar 1200 Watt ($\text{Watt} = V \times I = \text{Voltase} \times \text{Ampere} = 12 V \times 100 A$). Secara hitungan kasar dapat menyuplai alat berdaya 1200 Watt selama satu jam atau alat berdaya 100 Watt selama 12 jam, walaupun pada kenyataannya tidak seperti itu. Ada tiga faktor yang menentukan besar kecilnya kapasitas baterai yaitu :

1. Jumlah bahan aktif

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

2. Temperatur

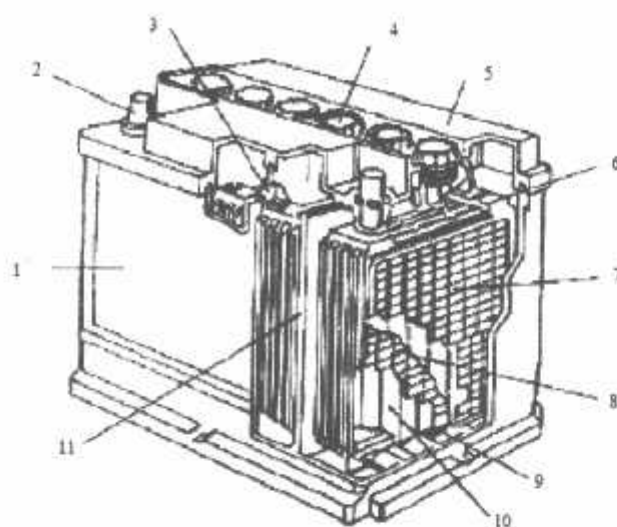
Makin rendah temperatur (makin dingin) maka makin kecil kapasitas baterai saat digunakan karena reaksi kimia pada suhu yang rendah makin lambat tidak peduli apakah arus yang digunakan tinggi ataupun rendah. Kapasitas baterai biasanya diukur pada suhu tertentu, biasanya 25 derajat Celcius.

3. Waktu dan arus pengeluaran

Pengeluaran lambat (berupa pengeluaran arus yang rendah) mengakibatkan waktu pengeluaran juga diperpanjang atau kapasitas lebih tinggi. Kapasitas yang dinyatakan untuk baterai yang umum pemakaiannya pada pengeluaran tertentu, biasanya 20 jam. Contoh, baterai 12 V 100 Ah bisa dipakai selama 20 jam jika kuat arus rata-rata yang digunakan dalam 1 jam adalah 5 Ampere ($100 \text{ Ah}/20 \text{ h}$), sedangkan bila digunakan sebesar 10 Ampere maka waktu pemakaian bukannya 10 jam ($100\text{Ah}/10\text{A}$) tapi lebih kecil yaitu 9 jam, sedangkan pada penggunaan Ampere yang jauh lebih besar, yaitu 20 Ampere maka waktu pemakaian bukan 5 jam ($100\text{Ah}/20\text{A}$) tapi hanya 4 jam.

2.7.1 KONSTRUKSI ACCUMULATOR

Accumulator terdiri dari dua kumpulan pelat yang dicelupkan dalam larutan asam-sulfat encer. Kedua kumpulan pelat dibuat dari timbal, sedangkan lapisan timbal dioksida akan dibentuk pada pelat positif ketika elemen pertama kali dimuati. Letak pelat positif dan negatif sangat berdekatan tetapi dicegah tidak langsung menyentuh oleh pemisah yang terbuat dari bahan penyekat (isolator). Adapun konstruksinya ditunjukkan oleh Gambar 2.4



Gambar 2.4 Konstruksi Accumulator

Bagian-bagian accumulator timah hitam dan fungsinya sebagai berikut

:

1. Rangka, berfungsi sebagai rumah accumulator.
2. Kepala kutub positif, berfungsi sebagai terminal kutub positif.
3. Penghubung sel, berfungsi untuk menghubungkan sel-sel.
4. Tutup Ventilasi, berfungsi menutup lubang sel..
5. Penutup, berfungsi untuk menutup bagian atas accumulator.
6. Plat-plat, berfungsi sebagai bidang pereaktor.
7. Plat negatif, terbuat dari Pb, berfungsi sebagai bahan aktif accumulator.
8. Plat positif, terbuat dari PbO₂, berfungsi sebagai bahan aktif accumulator.
9. Ruang sedimen, berfungsi untuk menampung kotoran.
10. Plastik pemisah, berfungsi untuk memisahkan plat positif dan negatif.
11. Sel-sel.

2.8 INVERTER

Inverter merupakan suatu rangkaian listrik yang berfungsi untuk mengubah tegangan input DC menjadi tegangan output AC. Sumber tegangan input inverter dapat menggunakan baterai, sel bahan bakar, accumulator, atau sumber tegangan DC yang lain. Rumus untuk menentukan inverter adalah sebagai berikut :

$$\eta = \frac{P_{out \text{ Inverter}}}{P_{in \text{ Inverter}}}$$

η = Efisiensi Inverter

P_{out} = Daya Beban keluaran

P_{in} = Daya masuk

2.8.1 JENIS GELOMBANG INVERTER

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

1. Gelombang Kotak (*Square Wave*)

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

2. Gelombang Sinus Termodifikasi

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

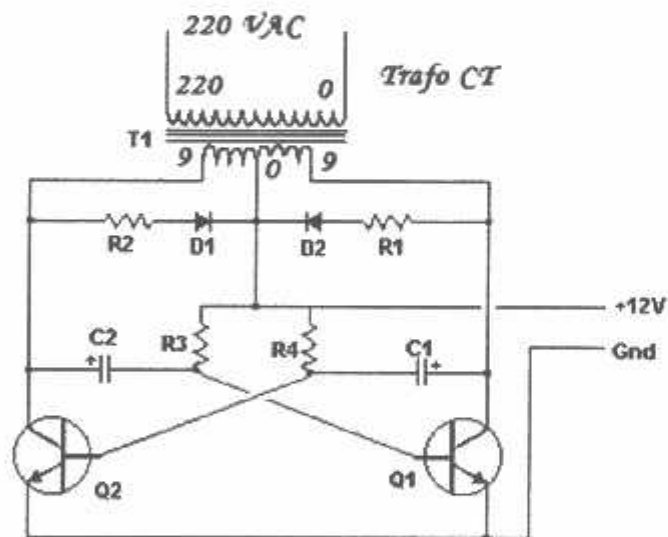
tidak cocok bila digunakan pada alat-alat listrik dengan presisi gelombang sangat tinggi, seperti laser jet dan alat-alat kedokteran.

3. Gelombang Sinus Murni

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

2.8.2 PRINSIP KERJA INVERTER

Prinsip kerja dari rangkaian inverter yaitu memanfaatkan rangkaian flip-flop sebagai pembangkit pulsa. Rangkaian tersebut memanfaatkan masing-masing dua buah transistor, kapasitor dan resistor. Nilai frekuensi ditentukan oleh besarnya kapasitor dan resistor. Tegangan listrik dari rangkaian flip-flop kemudian dinaikkan dengan menggunakan transformator (trafo). Berikut adalah gambar rangkaian pada inverter.



Gambar 2.5 Rangkaian Inverter

Rangkaian inverter diatas dapat digunakan untuk menyalakan lampu AC, karen output inverter ini adalah tegangan AC dengan bentuk gelombang

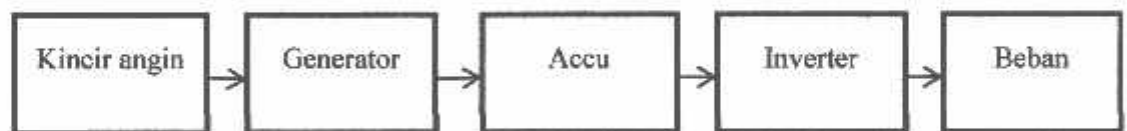
kotak (*square wave*) maka rangkaian inverter ini tidak dapat digunakan untuk mengoperasikan beban induktif atau motor listrik. Tegangan output rangkaian inverter sederhana ini dapat diubah sesuai dengan terminal primer trafo yang digunakan. Tegangan inout untuk rangkaian inverter ini adalah tegangan DC 12 volt yang dapat diambil dari suatu batere, solar cell atau sumber tegangan DC yang lain. Rangkaian transistor Q1,Q2 dan RC (R3,R4,C1 dan C2) merupakan rangkaian astabil multivibrator dengan beban berupa transformator CT yang berfungsi sebagai step-up transformer (primer sebagai output, sekunder sebagai input). Pulsa yang dihasilkan multivibrator, oleh Q1 dan Q2 digunakan untuk memberi sumber tegangan input ke *step-up transformer* sehingga menghasilkan tegangan output pada primer transformer pada rangkaian inverter sederhana tersebut.

BAB III

PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN

3.1 PENDAHULUAN

Dalam pembuatan turbin angin aspek desain memegang peranan yang sangat penting. Sebelum alat diadakan dan diujikan. Turbin angin memiliki banyak komponen, seperti sudu atau baling-baling, generator, yaw atau ekor, dan tiang penyanggah. Komponen-komponen pada turbin angin ini dirancang dan dibuatkan alatnya, sedangkan generator yang digunakan sebagai penghasil energi listrik merupakan produk jadi yang berupa *permanent magnet generator* (PMG) yang mempunyai spesifikasi khusus, sehingga kapasitas listrik dan dayanya sudah tertentu.

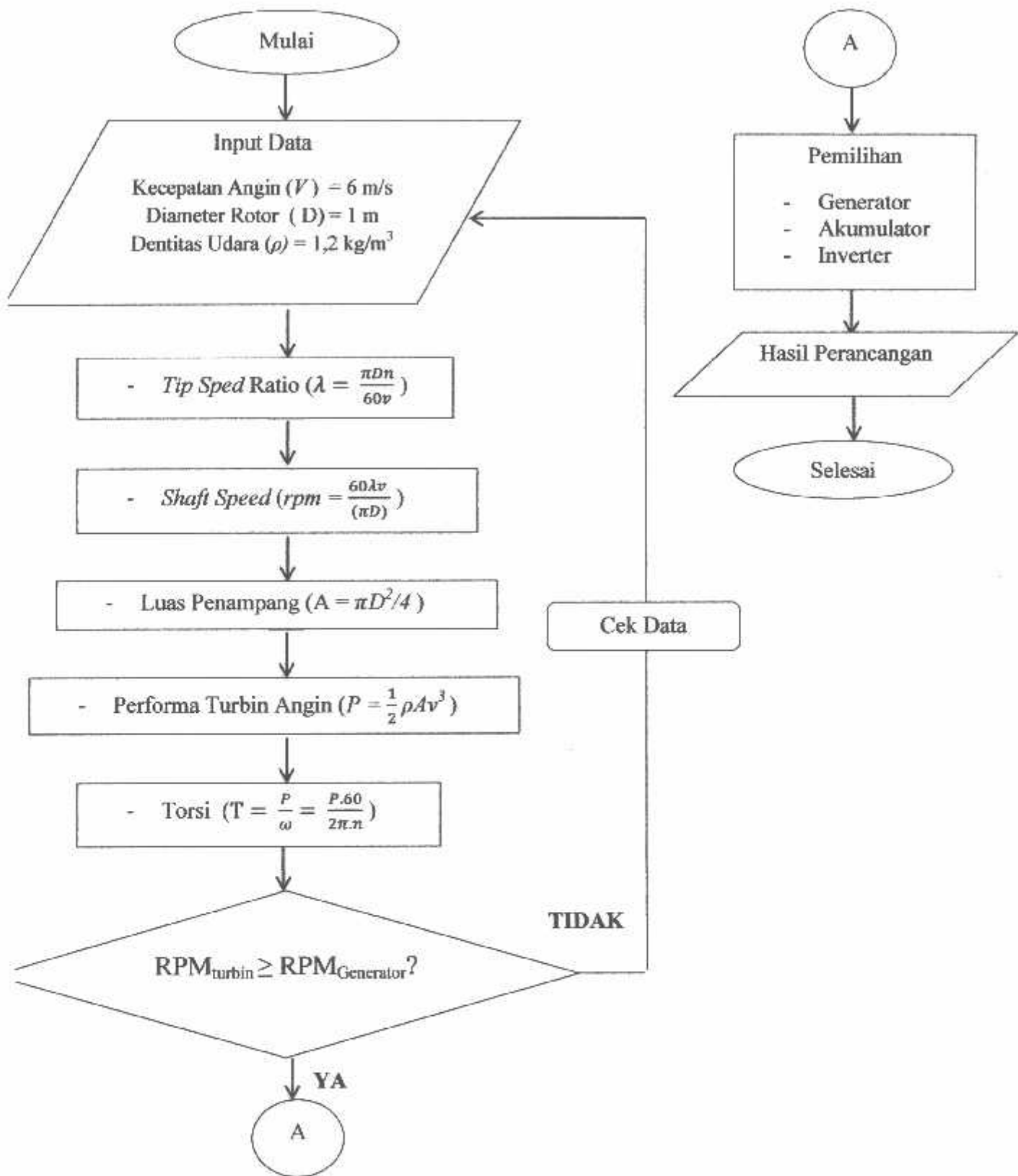


Gambar 3.1 Blok Diagram Sistem Pengisian Battery Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin.

Dari system yang dijelaskan pada gambar 3.1. kincir angin dikopel dengan generator dan akan memutar karena di hembuskan oleh angin dan akan menghasilkan daya, Selanjutnya daya dari turbin angin disimpan ke dalam battery/accumulator dan dibutuhkan inverter dengan spesifikasi yang ideal dengan accumulator sebelum dikonsumsi oleh beban.

3.2 FLOWCHART

Untuk memudahkan dalam pengerjaan skripsi maka dibuat flowchart pengerjaan seperti yang ditunjukkan gambar 3.2.



Gambar 3.2 Flowchart Perancangan Turbin Angin

3.3 PERENCANAAN TURBIN ANGIN

Hal pertama yang harus diperhatikan dalam perencanaan turbin angin ialah TSR (Tip Speed Ratio) atau perbandingan kecepatan di tip turbin angin (ujung) dan kecepatan angin yang didapat oleh turbin. Untuk kecepatan angin nominal yang tertentu, tip speed ratio akan berpengaruh pada kecepatan rotor. Turbin angin tipe *lift* akan memiliki speed ratio yang lebih besar dibandingkan dengan turbin tipe *drag*. TSR dilambangkan dengan λ (Mittal, 2001).

Langkah dalam perencanaan turbin angin selanjutnya adalah menghitung kecepatan putaran kincir (RPM) pada turbin angin. Kecepatan putaran kincir atau *shaft speed* ini dipengaruhi oleh kecepatan angin yang ada di sekitarnya.

Langkah pokok yang harus dilakukan selanjutnya ialah penghitungan torsi. Torsi merupakan hal yang penting dalam menentukan berapa besar daya yang dihasilkan dari turbin angin.

3.3.1 TIP SPEED RATIO

Tip Speed Ratio (rasio kecepatan ujung) adalah rasio kecepatan ujung rotor terhadap kecepatan aliran air. Tip speed ratio akan berpengaruh pada kecepatan putar rotor. Turbin tipe *lift* akan memiliki tip speed ratio yang relatif lebih besar dibandingkan dengan turbin angin tipe *drag*. Tipe speed ratio dihitung dengan persamaan :

Diketahui :

$D : 1 \text{ m (Asumsi)}$

$n = 250 \text{ rpm}$

$v = 6 \text{ (m/s)}$

Tip Speed Ratio

$$\lambda = \frac{\pi D n}{60 v}$$

$$\lambda = \frac{3,14 \times 1 \times 250}{60 \times 6}$$

$$= 2,18$$

Dari perhitungan *Tip Speed Ratio* didapatkanlah nilai 2,18. Nilai dari *Tip Speed Ratio* ini nantinya akan digunakan dalam menentukan Koefisien Rotor dan juga untuk menghitung *Shaft Speed* pada turbin angin.

3.3.1.1 KOEFISIEN ROTOR

Koefisien Rotor ialah perbandingan antara daya yang keluar dari rotor dengan daya yang masuk pada rotor. nilai koefisien daya tidak akan melebihi nilai ideal yaitu sebesar 0.593 (*Theory Momentum Elementary Betz*).

Dari sini kita mencari Koefisien dari rotor berdasarkan rumus,

$$\lambda = \frac{C_p}{C_q}$$

Diketahui :

$$\lambda = 2,18$$

$$C_p = \frac{16}{27} = 0,59 \text{ (Theory Momentum Elementary Betz)}$$

$$C_q = C_p / \lambda$$

$$= \frac{0,59}{2,18}$$

$$= 0,270$$

Dari hasil perhitungan *Tip Speed Ratio* dan Koefisien Rotor, maka jumlah blade berdasarkan gambar 2.2 ditentukan dengan jumlah *Blade 6 buah*.

3.3.2 SHAFT SPEED

Kecepatan angin dapat mempengaruhi kecepatan putaran kincir (rpm). Hubungan antara kecepatan angin dengan kecepatan putaran kincir, yaitu :

$$\text{Shaft speed} = \frac{60\lambda v}{(\pi D)} \text{rpm}$$

Dimana :

$$\lambda = 2,18$$

v = Rata-Rata dari hasil pengukuran 6 m/s (Tabel 4.1)

D = 1 m (Asumsi)

$$\begin{aligned} &= \frac{60 \times 2,18 \times 6}{(3,14 \times 1)} \text{rpm} \\ &= 249,936 \text{ rpm} \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas, kita dapat mengetahui bahwa kecepatan angin dan kecepatan putaran kincir berbanding lurus. Karena semakin tinggi angka dari kecepatan angin, maka akan semakin besar pula kecepatan putaran kincir (rpm) yang dihasilkan. Hal ini berlaku sebaliknya saat kecepatan angin menurun, maka kecepatan putaran kincir juga akan menurun atau berkurang.

3.3.3 PERFORMA TURBIN ANGIN

Energi kinetik dapat diambil dari angin dengan mengurangi kecepatannya. Artinya kecepatan udara dibelakang rotor akan lebih rendah dari pada kecepatan udara di depan rotor. Energi mekanik yang diambil dari angin setiap satuan waktu didasarkan pada perubahan kecepatannya dinyatakan dengan persamaan:

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

(Eric Hau, Wind Turbines Fundamentals 2005 : 82)

Dimana:

P : daya mekanik (W)

v : kecepatan angin (m/s)

(Rata-Rata dari hasil pengukuran 6 m/s (Tabel 4.1)

ρ : densitas udara (ρ rata-rata : $1,2 \text{ kg}/m^3$)

A : Luas penampang

$$A = \pi D^2 / 4$$

D : Diameter rotor (m)

$$A = \pi D^2 / 4$$

$$= 3,14 \times 1^2 / 4$$

$$= 0,79 \text{ m}^2$$

$$P = \frac{1}{2} \times 1,2 \times 0,79 \times 6^3$$

$$= 102,384 \text{ Watt}$$

Daya yang dimiliki oleh turbin untuk mengkonversi angin pada kecepatan 6 m/s adalah 102,384 Watt.

3.3.4 TORSI

Kebanyakan turbin angin mengekstraksi energi dari angin dalam bentuk mekanik dan ditransmisikan ke beban dengan memutar poros dari turbin angin. Poros tersebut harus benar-benar dirancang atau dibuat untuk mengirimkan tenaga dari turbin angin. Ketika daya ditransmisikan melalui poros, maka dengan begitu akan didapat nilai torsi.

$$T = \frac{P}{\omega} = \frac{P \cdot 60}{2\pi \cdot n}$$

Dimana :

T = torsi (N.m)

P = daya (watt)

ω = kecepatan angular (rad/s)

n = putaran (rpm)

diketahui :

P = 200 w

N = 500 rpm

$$T = \frac{P}{\omega} = \frac{P \cdot 60}{2\pi \cdot n}$$

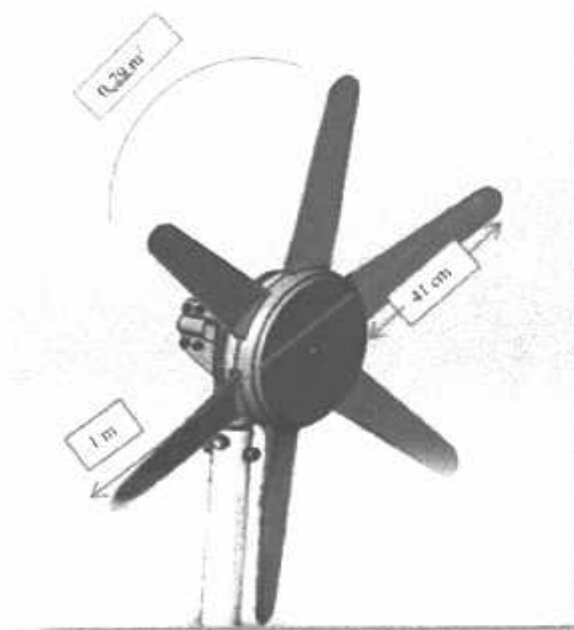
$$T = \frac{P}{\omega} = \frac{200 \times 60}{2 \times 3,14 \times 500}$$

= 3,82 Nm

Disini dilihat untuk dapat mencapai daya 200 Watt oleh turbin angin dengan kecepatan 500 rpm didapat torsi sebesar 3,82 Nm.

3.3.5 KONSTRUKSI TURBIN ANGIN

Setelah melakukan perhitungan maka didapatkan jenis turbin angin yang akan digunakan. Berikut adalah gambar dari konstruksi Turbin Angin.



Gambar 3.4 Konstruksi Turbin Angin

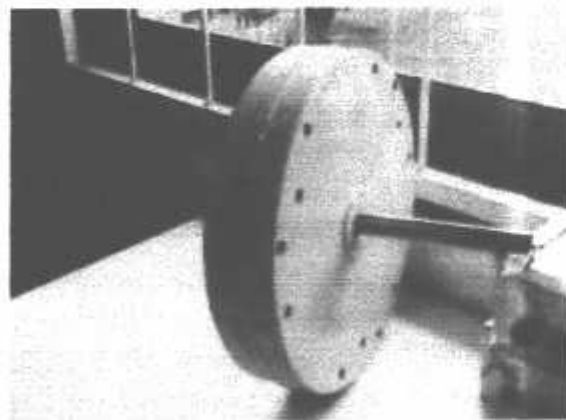
Turbin angin yang digunakan adalah tipe Horizontal dengan menggunakan 6 Blade. Berikut adalah tabel dari konstruksi turbin angin.

Tabel 3.1 Spesifikasi Turbin Angin

Nama komponen	keterangan
Diameter Rotor	1 Meter
Sapuan Luas	0,79 m ²
Jumlah Blade	6 buah
Panjang masing-masing Blade	41 cm
Bahan	Fiber Glass
Tinggi Tower	2 Meter

3.4 PEMILIHAN GENERATOR

Konstruksi generator axial adalah bentuk konstruksi generator dengan arah medan magnet searah dengan aksis generator. Kutub-kutub medan serta kumparan kumparan terletak sejajar dengan aksis. Kumparan-kumparan dipasang pada piringan kumparan yang akan menjadi stator dan diletakan di antara kutub-kutub magnetik. Kutub-kutub medan dipasang pada piringan kutub yang sekaligus menjadi rotor dan di lekatkan ke aksis sehingga ketika aksis berputar, kutub-kutub medan ikut berputar. Berputarnya kutub-kutub medan mengaccumulorbatkan medan magnetik di antara kutub-kutub tadi ikut berputar dan melewati kumparan-kumparan yang terletak di antaranya. Dengan menyusun kutub-kutub medan secara berurutan antara kutub utara dan selatan, maka arah medan magnetik yang melewati kumparan-kumparan akan berubah-ubah sehingga menimbulkan induksi magnetik yang menghasilkan GGL pada ujung-ujung kumparan. Semaccumulatomn cepat putaran kutub-kutub magnetik, akan semaccumulatomn tinggi pula GGL induksi yang dihasilkan oleh kumparan-kumparan yang dilewati oleh kutub medan tersebut. Generator axial mempunyai keuntungan dalam bentuk konstruksi yang sederhana.



Gambar 3.5 Generator Aksial dengan magnet permanen

Generator yang dipakai adalah generator tipe aksial yang dipakai pada turbin angin mempunyai kapasitas 200W, dengan tegangan 12 V dan Arus mencapai 16 Ampere. Berikut adalah spesifikasi teknis Generator 200 W.

Tabel 3.2 Spesifikasi Generator Aksial 200 W

Nama Komponen	Keterangan
<ul style="list-style-type: none"> • Rotor <ul style="list-style-type: none"> - Jenis Magnet - Jumlah magnet - Ukuran magnet 	NdFeb 8 Pasang 30x40 mm
<ul style="list-style-type: none"> • Stator <ul style="list-style-type: none"> - Jenis kawat - Jumlah lilitan - Jumlah kumparan - Diameter kawat - Diameter stator 	Tembaga email 2x52 8 buah 0,8 mm 220 mm
<ul style="list-style-type: none"> • Poros <ul style="list-style-type: none"> - Jenis - Diameter - Bahan 	Besi poros berlubang 25 mm Stainless steel
<ul style="list-style-type: none"> • Rumah generator <ul style="list-style-type: none"> - Bahan - Diameter 	Fiber Glass (Polyester) 270 mm
<ul style="list-style-type: none"> • Output <ul style="list-style-type: none"> - Tegangan - Arus - Daya 	12 VDC 15 A 200 W

- Putaran	450 – 500 RPM
- Fasa	1 Fasa
- Torsi	3,82 Nm

3.5 PENENTUAN ACCUMULATOR

Accumulator digunakan karena pertimbangan tegangan yang dihasilkan oleh turbin angin tidak dapat terus menerus bergantung dari kecepatan angin, dan juga agar dapat menyuplai daya untuk skala rumah tangga selama maksimal 6 jam untuk beban maksimal 100 Watt.

diketahui :

Total Beban : 100 W

Waktu yang dibutuhkan : 6 Jam

Efisiensi : 60 %

Maka :

$$\text{Waktu} = \frac{\text{Daya Accumulator} \times \text{Efisiensi}}{\text{Daya Beban}}$$

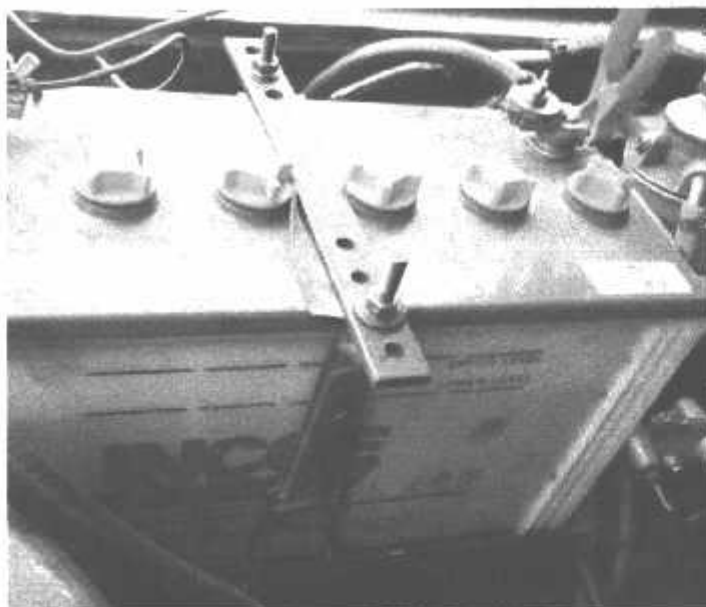
$$6 = \frac{\text{Daya Accumulator} \times 0,6}{100}$$

$$\text{Daya Accumulator} = \frac{6 \times 100}{0,6}$$

$$= 1000 \text{ Wh}$$

Dari perhitungan accumulator yang digunakan yaitu 1000 Wh. Jika tegangan yang digunakan adalah 12 V akan didapatkan arus = $\frac{1000 \text{ Wh}}{12 \text{ V}} =$

83,33 Ah. Disini penulis memakai accumulator 12V 100Ah, karena accumulator yang ada dipasaran dan untuk yang paling mendekati adalah 12V 100Ah. Berikut adalah accumulator yang digunakan.



Gambar 3.6 Accumulator INCOE 12V 100Ah

3.6 PENENTUAN INVERTER

Inverter mengubah tegangan 12 volt DC menjadi tegangan 220 volt AC. Ada dua tipe inverter yang sekaligus membedakan penggunaannya yaitu *pure sinewave* yang khusus bagi alat elektronik menggunakan motor listrik seperti pompa air dan lemari es, dan tipe *modified sinewave* bagi alat listrik yang tanpa motor atau kerjanya ringan seperti lampu. Inverter yang digunakan pada penelitian ini adalah inverter tipe *modified sinewave* karena beban yang digunakan pada penelitian ini hanya 2 lampu dengan masing masing daya 100 Watt. Efisiensi tertinggi dari inverter yaitu 90 %. Artinya

daya listrik yang dihasilkan setelah melewati inverter (output) akan berkurang 10 %. Dari data sebelumnya.

diketahui :

Beban = 100 W

Misal Efisiensi Inverter = 80 %

$$\eta = \frac{P_{out\ Inverter}}{P_{in\ Inverter}}$$

$$0,8 = \frac{100}{P_{in}}$$

$$P_{in} = 125\ \text{Watt}$$

Jadi Inverter yang ideal untuk mengubah tegangan dari DC menuju AC berkapasitas 125 Watt. Akan tetapi penulis memakai Inverter dengan kapasitas 300 Watt, karena Inverter yang ada dipasaran mempunyai kapasitas terkecil sebesar 300 Watt. Berikut adalah gambar dari inverter yang digunakan.



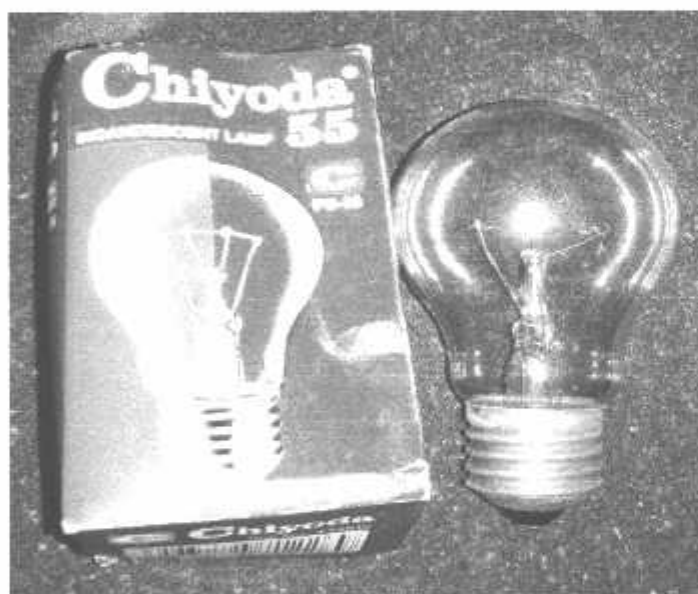
Gambar 3.7 Inverter TBE 300 Watt

3.7 PENGGUNAAN BEBAN

Pada pemilihan beban penulis memakai lampu pijar sebagai beban yang akan digunakan. Berikut adalah spesifikasi dari lampu pijar :

Jenis : Lampu Pijar
Merk : Chiyoda
Daya : 100 Watt
Tegangan : 220 volt – 240 volt

Lampu pijar disini memiliki tegangan 220 V AC, Sementara Accumulator mengeluarkan tegangan DC. Maka sebelum melakukan pencatuan beban, Accumulator dihubungkan terlebih pada Inverter untuk merubah menjadi tegangan AC 220 V. Berikut adalah gambar dari lampu pijar yang akan digunakan.



Gambar 3.8 Lampu Chiyoda 100 Watt

BAB IV

PENGUJIAN DAN ANALISA

4.1 OBJEK PENGUJIAN

Objek pengujian pada skripsi ini adalah kemampuan pembangkit listrik tenaga angin skala rumah tangga dalam menghasilkan energi listrik. Pengujian pada skripsi ini dilakukan dalam tiga tahapan. Pertama, Pengujian untuk mendapatkan besar tegangan pada generator yang digunakan. Dalam pengujian ini nantinya dapat dilihat kecepatan putar pada generator terhadap kecepatan angin dan tegangan yang dihasilkan generator.

Selanjutnya, pengujian pada generator turbin angin ketika melakukan pengisian accumulator. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan tegangan dan arus pengisian yang dihasilkan generator. Dalam pengujian ini akan didapatkan hasil tegangan dan arus pengisian pada Accumulator.

Terakhir, pengujian pencatuan beban listrik terhadap accumulator. Dalam pengujian ini nantinya akan dilihat kemampuan accumulator ketika menyuplai energi listrik pada beban listrik. Disini nantinya akan didapatkan hasil tegangan accumulator dan tegangan pada beban serta waktu yang dibutuhkan accumulator ketika sudah tidak dapat menyuplai beban listrik lagi. (Gambar selengkapnya pada lampiran)

4.1.1 PERALATAN PENGUJIAN

1. Turbin Angin
2. Generator Aksial

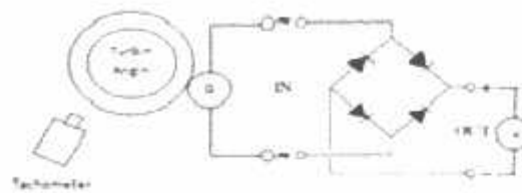
3. Rectifier
4. Regulator
5. Accumulator Basah
6. Multimeter
7. Tachometer
8. Kabel
9. Lampu (100 Watt)
10. Anemometer
11. Inverter

4.2 ALUR PENGUJIAN

Alur pengujian skripsi ini membahas tentang hasil pengujian pada percobaan yang dilakukan dan menganalisa hasil pengujian tersebut. Pengujian ini sendiri dilakukan dalam 3 tahapan, yaitu pengujian tegangan dan arus terhadap kecepatan angin, pengujian pengisian accumulator, dan pengujian pencatuan ke beban listrik.

4.2.1 PENGUJIAN TEGANGAN GENERATOR TERHADAP KECEPATAN ANGIN

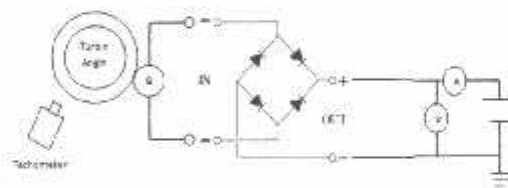
Pengujian Tegangan pada generator ini membandingkan variasi kecepatan angin dan tegangan dihasilkan oleh generator. Kecepatan angin adalah faktor utama dari sebuah pembangkit listrik tenaga angin. Kecepatan angin mempengaruhi kecepatan putaran pada turbin angin dan selanjutnya menghasilkan tegangan pada generator. Diagram pengujian ditunjukkan seperti berikut :



Gambar 4.1 Diagram Pengujian Tegangan Generator

4.2.2 PENGUJIAN TURBIN ANGIN DENGAN PEMBEBANAN ACCUMULATOR

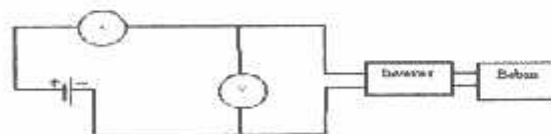
Pada pengujian ini yang menjadi parameter ialah tegangan dan arus yang mengisi accumulator. Dengan variasi kecepatan angin yang ada, nilai tegangan dan arus akan memasuki accumulator sebagai elemen penyimpanan. Diagram pengujian ditunjukkan seperti berikut :



Gambar 4.2 Diagram Pengujian Pengisian Accumulator

4.2.3 PENGUJIAN PENCATUAN KE BEBAN LISTRIK

Pada pengujian pencatuan ke beban listrik, beban sebelumnya dihubungkan dengan inverter untuk diubah menjadi tegangan AC. Diagram pengujian ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 4.3 Rangkaian Beban AC

4.3 LANGKAH PENGUJIAN

Adapun langkah-langkah dari pengujian yang akan dilakukan, agar pengujian dapat dilakukan secara benar dan teratur. Berikut adalah langkah-langkah dari pengujian yang akan dilakukan.

4.3.1 PENGUJIAN TEGANGAN KELUARAN GENERATOR TERHADAP KECEPATAN ANGIN

1. Memasang rangkaian seperti pada rangkaian pengujian gambar 4.1
2. Mengukur Kecepatan Putaran turbin dengan tachometer
3. Mengukur tegangan dengan voltmeter
4. Mengukur arus dengan amperemeter.
5. Kecepatan angin yang diperoleh bervariasi dari 1m/s hingga 7 m/s.

4.3.2 PENGUJIAN TURBIN ANGIN DENGAN PEMBEBANAN ACCUMULATOR 12 V 100AH

1. Memasang rangkaian seperti pada rangkaian pengujian gambar 4.2
 2. Mengambil keluaran Turbin Angin Selama 3 Jam.
 2. Mengukur tegangan dengan Voltmeter
 3. Mengukur arus dengan Amperemeter
-

4.3.3 PENGUJIAN PENCATUAN KE BEBAN LISTRIK

1. Mencatat tegangan pada accumulator yang terukur di voltmeter.
2. Mencatat tegangan pada lampu yang terukur di voltmeter.
3. Pengujian dibebani dengan lampu pijar dengan daya 100 watt

4.4 HASIL PENGUKURAN KECEPATAN ANGIN

Disini penulis melakukan pengukuran pencatatan kecepatan angin yang dilakukan pada tanggal 12 Juni 2014. Pengambilan data kecepatan angin dilakukan selama 24 jam untuk mengetahui karakteristik angin di pantai malang selatan. Dan untuk pengujian keluaran dari turbin angin sendiri juga dilakukan di pantai malang selatan. Berikut adalah hasil dari pengukuran kecepatan angin di pantai Malang Selatan dapat dilihat di tabel 4.1.

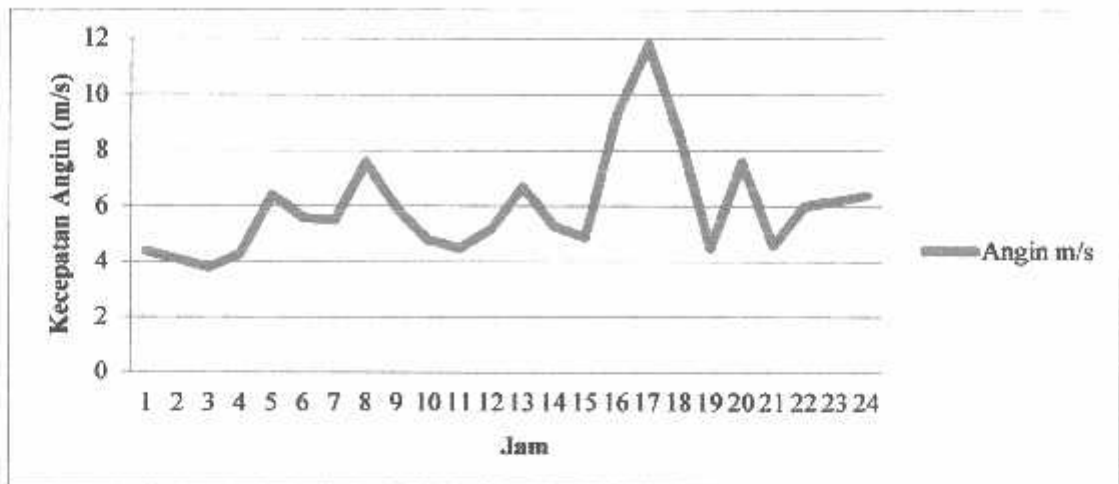
Tabel 4.1 Data Kecepatan Angin Pantai Malang Selatan

No.	Waktu	Kecepatan Angin (m/s)
1.	01.00	4,4
2.	02.00	4,1
3.	03.00	3,8
4.	04.00	4,3
5.	05.00	6,4
6.	06.00	5,6
7.	07.00	5,5
8.	08.00	7,6
9.	09.00	5,9

10.	10.00	4,8
11.	11.00	4,5
12.	12.00	5,2
13.	13.00	6,7
14.	14.00	5,3
15.	15.00	4,9
16.	16.00	9,3
17.	17.00	11,8
18.	18.00	8,6
19.	19.00	4,5
20.	20.00	7,6
21.	21.00	4,6
22.	22.00	6,0
23.	23.00	6,2
24.	24.00	6,4

Data yang diperoleh dari hasil pengukuran pada tanggal juni 2014, diketahui rata2 kecepatan angin adalah 6,1 m/s, dengan kecepatan angin tercepat terjadi pada sore hari pukul 17.00 yaitu 11,8 m/s. dan kecepatan angin terpelan terjadi pada pukul 03.00 dini hari dengan kecepatan 3,8 m/s.

Kecepatan angin pada malam hari disini relatif sangat pelan dikarenakan adanya perubahan arah angin oleh angin darat, yaitu angin yang berasal dari darat menuju laut karena adanya perbedaan suhu yang terjadi di darat dan dilaut. Berikut adalah grafik dari hasil data tabel 4.1.



Grafik 4.1 Kecepatan Angin Pantai Malang Selatan

4.5 HASIL PENGUJIAN TURBIN ANGIN

Pada pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kapan turbin angin dapat berputar. Turbin angin yang baik dapat memulai berputar dengan kecepatan angin yang relatif pelan. Berikut hasil dari data pengujian pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data Kecepatan Angin Ketika Turbin Angin Mulai Berputar

No	Kecepatan Angin (m/s)
1	0,9
2	1,2
3	1.3

4.6 HASIL PENGUJIAN TEGANGAN GENERATOR

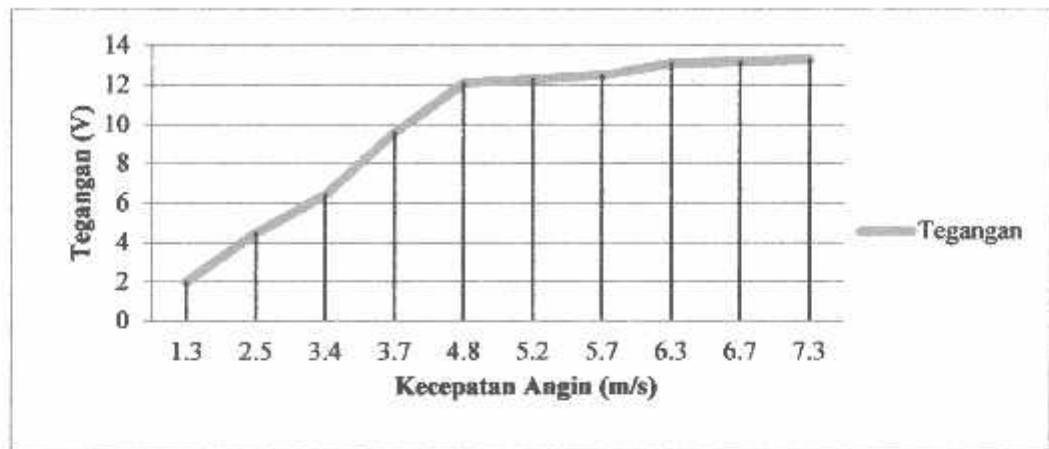
Pengujian generator juga dilakukan untuk mengetahui besar tegangan keluaran generator dan kecepatan putaran (rpm) terhadap kecepatan angin seperti pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Tegangan keluaran Generator

no	Kecepatan angin (m/s)	Kecepatan Turbin (RPM)	Tegangan (Vout)
1	1,3	77	2
2	2,5	96	4,5
3	3,4	124	9,4
4	3,7	142	10,7
5	4,8	154	12,24
6	5,2	172	12,28
7	5,7	240	12,86
8	6,3	252	13,11
9	7,0	260	13,30
10	7,4	267	13,33

Pada pengujian diatas, tegangan yang dihasilkan oleh generator pada kecepatan angin terendah yaitu 1,3 m/s adalah 2 Volt dengan kecepatan putaran 77 rpm. Dan pada saat kecepatan angin 7,4 m/s tegangan yang dihasilkan adalah 13,33 Volt dengan kecepatan putaran turbin 267 rpm.

Dari tabel 4.3 dibuat juga grafik hubungan kecepatan Angin dengan tegangan yang dihasilkan oleh Generator.



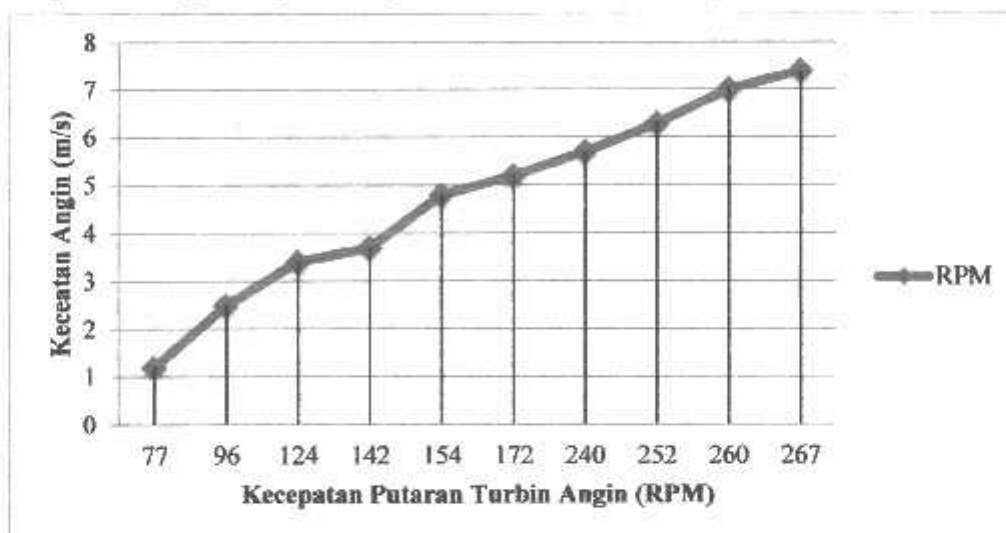
Gambar 4.2 Grafik Hubungan Tegangan Output Generator Terhadap Kecepatan Angin

Gambar 4.2 memperlihatkan bahwa kecepatan angin sangat berpengaruh terhadap tegangan listrik yang dihasilkan oleh generator. Jika kecepatan angin yang semakin kencang, maka tegangan listrik yang dihasilkan oleh generator juga akan semakin besar. Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan angin berbanding lurus dengan tegangan listrik yang dihasilkan oleh generator. Dari tabel 4.3 kecepatan angin yang berhembus dimulai dari 1,3 m/s hingga 7,4 m/s. Hal ini berpengaruh dengan hubungan kecepatan angin dengan kecepatan putaran turbin yang juga berbanding lurus. Artinya, ketika laju angin meningkat maka kecepatan putar dari turbin juga akan semakin meningkat. Dan ini akan meningkatkan kecepatan putar pada turbin angin agar dapat menghasilkan energi listrik yang besar pula.

Besarnya tegangan listrik yang dibutuhkan pada saat melakukan proses pengisian accumulator 12 volt adalah sama atau melebihi 12 volt. Dari tabel 4.3 bisa dilihat bahwa pada kecepatan angin 4,8 m/s – 7,3 m/s dan memutar turbin dengan kecepatan putaran 154 RPM – 240 RPM, generator telah mampu menghasilkan tegangan listrik melebihi 12 volt. Dari sini

diketahui bahwa batas kecepatan angin yang diperlukan agar generator mampu menghasilkan tegangan listrik yang cukup untuk dapat mengisi accumulator 12 volt adalah mulai dari kecepatan angin 4,8 m/s sampai lebih.

Dari tabel 4.3 dibuat pula hubungan kecepatan putaran (RPM) turbin angin terhadap kecepatan angin. Berikut ditunjukkan pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik hubungan kecepatan putaran turbin terhadap angin

4.7 ANALISIS HASIL PENGUJIAN DENGAN BEBAN ACCUMULATOR

Pengujian yang dilakukan pada turbin angin untuk melihat kemampuan generator saat melakukan pengisian ke accumulator. Dari pengujian kali ini, Turbin Angin dengan accumulator dihubungkan secara langsung. Berikut adalah tabel pengujian dengan beban accumulator.

Tabel. 4.4 Hasil Pengujian dengan pembebanan Accumulator

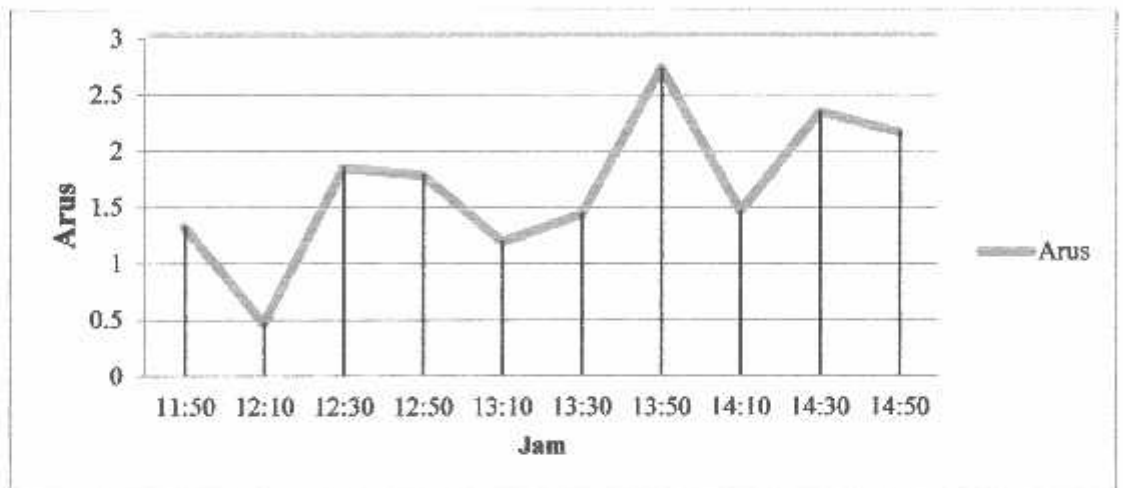
No	Jam	Volt	Arus
1	11.50	13,30	1,33
2	12.10	11,76	0,47
3	12.30	13,33	1,85
4	12.50	12,86	1,79
5	13.10	12,35	1,2
6	13.30	12	1,44
7	13.50	13.11	2,74
8	14.10	12,76	1,47
9	14.30	13,28	2,35
10	14.50	13,28	2,17

Pada pukul 11.00 angin bergerak dari laut menuju darat, kecepatan angin pada jam-jam ini memang mulai terbilang cepat. Kecepatan angin mulai dari 4 m/s sampai 8 m/s mulai dari pukul 11.00 sampai 15.00 WIB. Pada saat inilah pengisian accumulator paling efektif dilakukan.

Pada pengujian diawali pada pukul 11.50 tegangan yang dihasilkan adalah 13,30 Volt, disini turbin angin sudah mampu untuk melakukan pengisian dengan arus 1,33 Ampere. Pencatatan dilakukan Per 20 menit, mulai pukul 11.50 sampai dengan 14.50 WIB. Dari tabel diatas, tegangan keluaran dari generator turbin angin hampir

bisa dikatakan melebihi 12 Volt dan sudah dapat melakukan pengisian Accumulator dengan arus keluaran yang beragam mulai dari yang terendah 0,47 Ampere sampai yang tertinggi 2,74 Ampere.

Berikut adalah grafik arus pengisian accumulator terhadap kecepatan angin :



Gambar 4.4 Arus Pengisian Accumulator Terhadap Kecepatan Angin

4.8 HASIL PENGUJIAN PENCATUAN KE BEBAN LISTRIK

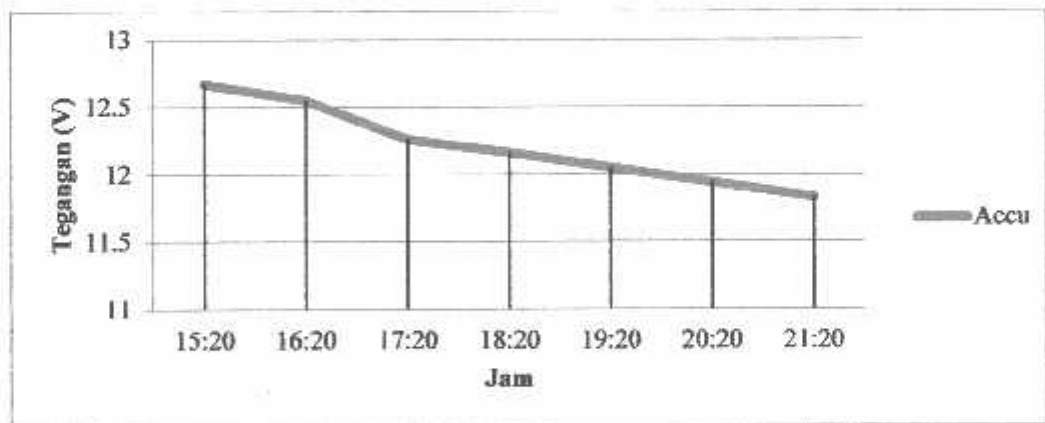
Pada pengujian ini, accumulator disambungkan dengan inverter lalu kemudian ke beban listrik, yaitu lampu dengan kapasitas daya 100 watt. Hasil yang didapat pada pengujian ini adalah tegangan listrik pada accumulator dan tegangan listrik yang dicatukan ke beban (lampu). dari hasil pengujian, nantinya akan dibuat grafik yang menunjukkan nilai tegangan accumulator dan tegangan yang dicatukan ke lampu.

Pada pengujian kali ini Accumulator 12V 100Ah dihubungkan dengan Inverter untuk mengubah tegangan DC Accumulator menjadi tegangan AC pada beban lampu yang berkapasitas 100 W.

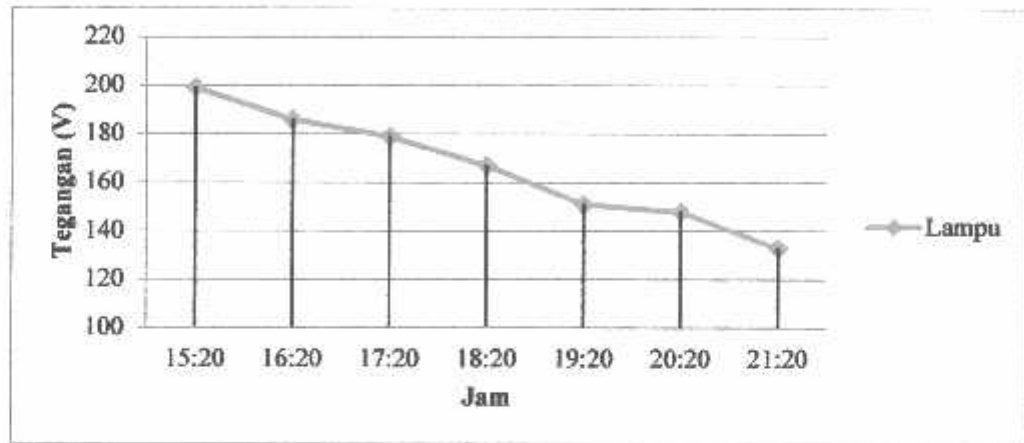
Tabel 4.5 Data Pengujian Pencatuan Beban Listrik

No	Waktu (Jam)	Tegangan Accumulator (V)	Tegangan Lampu (V)
1	15.20	12,67	199
2	16.20	12,55	186
3	17.20	12,26	179
4	18.20	12,16	167
5	19.20	12,05	151
6	20.20	11,94	148
7	21.20	11,83	133

Dari pengujian diatas bisa dilihat bahwa tegangan pada accumulator terus menurun setiap jamnya, yang awal mulanya 12,67 V setelah 6 jam pengukuran tegangan accumulator menjadi 11,83 V. Berikut adalah grafik dari tabel pengujian pada tabel 4.5.

**Gambar 4.5** Grafik Tegangan pada Accumulator

Di bawah ini adalah grafik tegangan pada lampu yang telah dipasang dan terhubung dengan inverter berupa tegangan AC. Pada pengujian selama 6 jam Tegangan pada lampu juga terus turun setiap jamnya berikut adalah grafik dari tabel pengujian 4.5.



Gambar 4.6 Grafik Tegangan pada Lampu

BAB V

KESIMPULAN

5.1 KESIMPULAN

1. Turbin angin yang dipakai dengan tipe horizontal ini mampu mengeluarkan tegangan 12,24 Volt pada kecepatan angin 4,3 m/s sampai 13,33 V pada kecepatan angin 7,4 m/s. Disini tubin angin sudah dapat melakukan pengisian Accumulator.
2. Accumulator yang dipakai mempunyai kapasitas 12 V 100 Ah agar dapat memikul beban 100 Watt tanpa harus menghabiskan isi Accumulator, pada percobaan pencatuan Accumulator ke Beban, disini Accumulator mampu bertahan 6 jam dari tegangan awal 12,3 V sampai 11,83 V

Daftar Pustaka

Hau, E. 2005. Wind Turbines Fundamentals, Technologies, Application, and Economics; 2nd Edition. Berlin: Springer.

Jain, P. 2010: Wind Energy Engineering. New York: McGraw Hill.

Marsudi, Ir. Djiteng. 2005. Pembangkitan Energi Listrik. Jakarta: Erlangga.

Nurtjahjomulyo, Agus. 2010. Rancang Bangun Generator Turbin Angin Tipe Aksial Kapasitas 200 Watt. Penelitian Bidang Konversi Energi Dirgantara, LAPAN

Sucipto. Perancangan dan Pembuatan Turbin Angin Aksial Sumbu Horizontal Dua Sudu dengan Diameter 3.5 Meter. Skripsi Program Studi Teknik Mesin ITB, 2008

www.google.com/wikipedia/angin

[www.google.com/wikipedia/turbin angin](http://www.google.com/wikipedia/turbin%20angin)

[www.google.com/wikipedia/rangkaian inverter](http://www.google.com/wikipedia/rangkaian%20inverter)

LAMPIRAN

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Yayang Yoga Ret Pradita

NIM : 1012013

Program Studi : Teknik Elektro S-1

Fakultas : Fakultas Teknologi Industri

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul :

“RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN RUMAH
TANGGA UNTUK PANTAI MALANG SELATAN”.

Benar-benar merupakan hasil karya pribadi dan seluruh sumber yang dikutip maupun
dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Malang, 22 September 2014



Yayang Yoga Ret Pradita
1012013



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

NI (PESERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting) Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

1. Nama : YAYANG YOGA RET PRADITA
2. NIM : 1012013
3. Program Studi : TEKNIK ELEKTRO S-1
4. Konsentrasi : TEKNIK ENERGI LISTRIK
5. Judul : RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA ANGIN UNTUK PANTAI MALANG
SELATAN

Dipertahankan dihadapan Majelis Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1) pada :
Hari : Jum'at
Tanggal : 15 Agustus 2014
Dengan Nilai : 81,25 (A)

Panitia Ujian Skripsi

Ketua Majelis Penguji

Sekretaris Majelis Penguji

M. Ibrahim Ashari, ST, MT
NIP. P. 1030100358

Dr. Eng. Aryuanto Soetedjo, ST, MT
NIP. Y. 1030800417

Anggota Penguji

Penguji I

Penguji II

Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT
NIP. 196105031992021001

Ir. Teguh Herbasuki, MT
NIP. Y. 1038900209



PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

Dari hasil ujian skripsi Program studi Teknik Elektro jenjang strata satu (S-1) yang diselenggarakan pada :

Hari : Jumat
Tanggal : 15 Agustus 2014

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

Nama : Yayang Yoga Ret Pradita
NIM : 1012013
Perogram Studi : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
Judul Skripsi : **Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Angin Untuk Pantai Malang Selatan**

No	Penguji	Uraian	Paraf
1.	Penguji I	1. Flowchart sesuaikan dengan rumus-rumus yang dibuat sehingga daya yang dihasilkan bisa maksimal.	
2.	Penguji II	1. Tujuan diganti menjadi Merancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Angin.	

Dosen Penguji I

Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT
NIP. 196105031992021001

Dosen Penguji II

Ir. Teguh Herbasuki, MT
NIP. Y. 1038900209

Dosen Pembimbing I

Ir. Taufik Hidayat, MT
NIP. Y. 1018700015

Dosen Pembimbing II

Ir. Ni Putu Agustini, MT
NIP. Y. 1030100371

LAMPIRAN

FOTO PENGUKURAN KECEPATAN ANGIN



FOTO PENGUJIAN TURBIN ANGIN

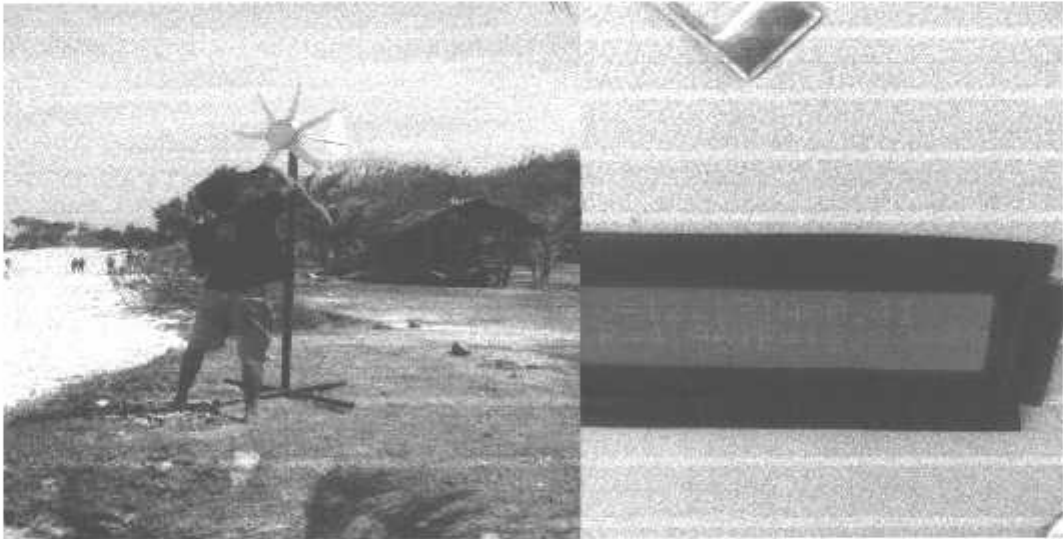


FOTO PENGUJIAN PENGUJIAN TEGANGAN PADA TURBIN ANGIN

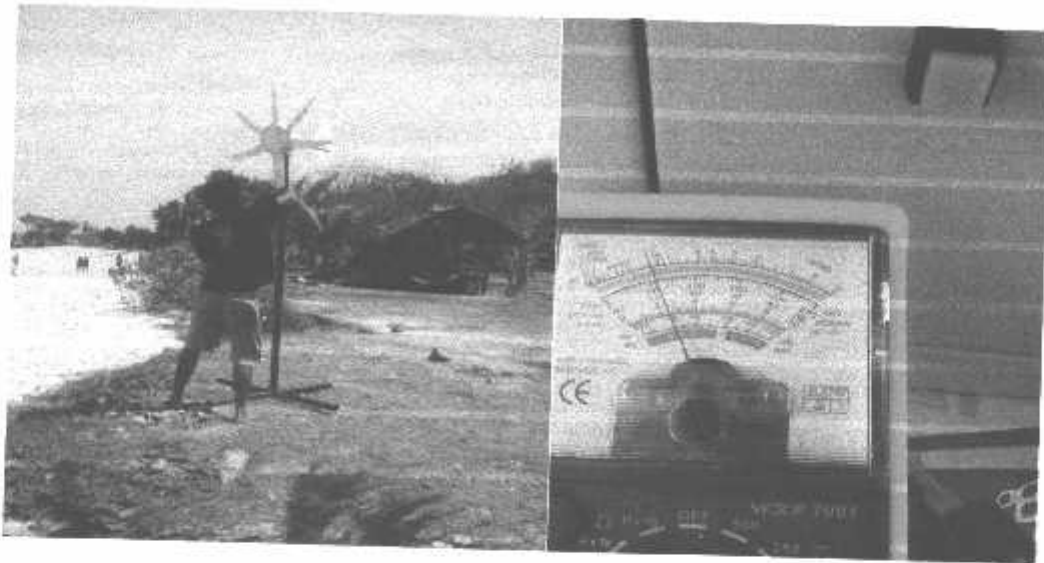


FOTO PENGUJIAN TURBIN ANGIN UNTUK PENGISIAN ACCUMULATOR



FOTO PENGUJIAN PENCATUAN BEBAN TERHADAP ACCUMULATOR

