

LAPORAN PENELITIAN
PEMANFAATAN ENERGI ANGIN UNTUK PENERANGAN



FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
TAHUN AKADEMIK 2012-2013

LAPORAN PENELITIAN

PEMANFAATAN ENERGI ANGIN UNTUK PENERANGAN



OLEH:

Ir. RAHMAD SAMOSIR, MT
Ir. KIMAR TURNIP, MS
Ir. ROBINSON PURBA, MT
Ir. BAMBANG WIDODO, MT

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
TAHUN AKADEMIK 2012-2013



Universitas Kristen Indonesia

Fakultas Teknik

LEMBAR PENGESAHAN LAPORAN PENELITIAN SEMESTER GENAP 2012/2013

1. Judul Penelitian : Pemanfaatan Energi Angin Untuk Penerangan
2. Tim Peneliti :
Ketua : Ir. Rahmad Samosir, MT (Program Studi Teknik Mesin)
Anggota : Ir. Kimar Turnip, MS (Program Studi Teknik Mesin)
Ir. Robinson Purba, MT (Program Studi Teknik Elektro)
Ir. Bambang Widodo, MT (Program Studi Teknik Elektro)
3. Lokasi Penelitian : Laboratorium Mesin Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia
4. Kerjasama dengan instansi lain: Tidak ada
5. Jangka waktu penelitian : 12 bulan
6. Biaya penelitian : Rp 10.008.000,-

Demikian laporan ini dibuat sebagaimana dilaksanakan berdasarkan bukti-bukti pelaksanaan yang ada.

Jakarta, 30 Agustus 2013

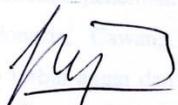
Program Studi Teknik Mesin

Fakultas Teknik UKI

Ketua,


Ir. Aryanono M., Ph.D.

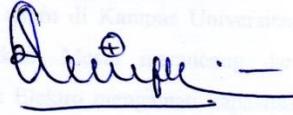
Anggota,

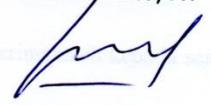

Ir. Kimar Turnip, MS

Tim Peneliti

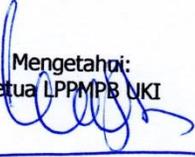
Ketua,


Ir. Rahmad Samosir, MT


Ir. Robinson Purba, MT


Ir. Bambang Widodo, MT

Mengetahui:
Ketua LPPMPB UKI


(Ir. S.M Dolksaribu, M.Ing)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Kuasa atas segala berkat dan pertolonganNya sehingga Penelitian yang berjudul: *Pemanfaatan Energi Angin Untuk Penerangan di Atas Gedung Laboratorium Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia* dapat diselesaikan.

Seperti diketahui bahwa, kebutuhan energi di Indonesia terus meningkat karena pertambahan penduduk, urbanisasi, pertumbuhan ekonomi dan pola konsumsi energi itu sendiri yang senantiasa meningkat. Disisi lain, energi fosil yang selama ini merupakan sumber energi utama ketersediaannya sangat terbatas dan terus mengalami deplesi (*depletion*: kehabisan, menipis). Selain energi fosil yang menipis, sektor pembangkitan tenaga listrik di Indonesia juga merupakan penyebab emisi gas rumah kaca yaitu, gas karbon dioksida (CO₂) yang terbesar.

Peranan energi terbarukan seperti Pembangkit Listrik Tenaga Angin akan sangat penting untuk mengurangi emisi gas CO₂ dan mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil.

Program Studi (Prodi) Teknik Mesin bekerjasama dengan Program Studi Teknik Elektro melakukan penelitian mengenai potensi energi angin di Kampus Universitas Kristen Indonesia, Cawang. Tim Peneliti Prodi Teknik Mesin merancang dan membangun turbin angin dan Tim Peneliti Prodi Teknik Elektro mengamati kapasitas daya listriknya.

Pada kesempatan ini Tim Peneliti menyampaikan ucapan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu terlaksananya penelitian ini.

Jakarta, September 2013

Tim Peneliti

DAFTAR ISI

Lembar Pengesahan Laporan Penelitian	i
Kata Pengantar	ii
Daftar Isi	iii
Abstrak	iv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Angin	4
2.2. Turbin Angin	4
2.3. Pembangkit Listrik Tenaga Angin	6
2.4. Daya yang dihasilkan oleh kincir angin	8
2.5. Putaran yang dihasilkan oleh kincir angin	8
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Pendahuluan	10
3.2. Konstruksi Pembangkit Listrik Tenaga Angin	10
3.3. Diagram Blok Pembangkit Listrik Tenaga Angin	11
3.4. Pembuatan Komponen Turbin Angin	12
3.5. Peningkatan Putaran Kincir	13
3.6. Langkah-langkah Perakitan	15
3.7. Rangkaian dan Prosedur Pengukuran	16
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
4.1. Data hasil Pengukuran	18
4.2. Hasil Pengujian Inverter	20
4.3. Analisa Hasil Pengukuran	21
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan	23
5.2. Saran	23
DAFTAR PUSTAKA	24
LAMPIRANI: DATA KECEPATAN ANGIN	27
LAMPIRAN II: FOTO-FOTO	28

ABSTRAK

Krisis energi merupakan salah satu masalah yang sedang dihadapi saat ini, terutama berkenaan dengan menipisnya cadangan minyak bumi (energi fosil) dan semakin tingginya jumlah penduduk. Proses alam memerlukan kurun waktu yang sangat lama untuk dapat kembali menyediakan energi fosil. Ketersediaan energi fosil yang sangat terbatas tidak diimbangi dengan jumlah pertumbuhan penduduk dan penggunaan energi fosil yang semakin meningkat, akan menyebabkan peningkatan emisi gas rumah kaca diantaranya gas CO₂. Peranan energi terbarukan seperti Pembangkit Listrik Tenaga Angin akan sangat penting untuk mengurangi emisi gas CO₂ dan mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil.

Penelitian ini menggunakan meliputi rancang bangun Pembangkit Listrik tenaga Angin pengujian turbin angin, mengamati kecepatan angin dan mengukur kapasitas daya listrik yang dihasilkan. Hasil penelitian memperlihatkan, pada kecepatan angin 5,0 m/s menghasilkan putaran generator sebesar 532 rpm dan daya sebesar 12,342 watt. Kecepatan angin paling maksimum adalah 7,12 m/s dengan putaran generator 698 rpm dan daya sebesar 43,225 watt.

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Krisis energi merupakan salah satu masalah yang sedang dihadapi oleh Negara Indonesia saat ini, terutama berkenaan dengan menipisnya cadangan minyak bumi (energi fosil) dan semakin tingginya jumlah penduduk. Kebergantungan terhadap bahan bakar fosil sebagai penggerak mesin-mesin pembangkit listrik, setidaknya memiliki tiga ancaman serius, yakni menipisnya cadangan minyak bumi yang diketahui (bila tanpa temuan sumur minyak baru), kenaikan/ketidakstabilan harga akibat laju permintaan yang lebih besar dari produksi minyak, dan polusi gas rumah kaca seperti gas CO₂ akibat pembakaran bahan bakar fosil seperti minyak, gas dan batubara. Cadangan minyak masih tersedia sebesar 7,76 milyar bbl dan dengan kapasitas produksi sebesar 346 juta bbl, maka cadangan minyak akan habis dalam waktu 22 tahun. Cadangan gas tersedia sebesar 157,14 TSCF (Tera Standard Cubic Feet) dengan kapasitas produksi sebesar 2,95 TSCF, maka cadangan gas akan habis dalam waktu 53 tahun. Demikian juga batubara masih tersedia sebesar 21,13 miliar ton dan dengan tingkat produksi sebesar 254 juta ton pertahun, maka cadangan batubara akan habis dalam waktu 83 tahun.

Meningkatnya penggunaan energi disemua sektor selain mengurangi cadangan energi yang ada, juga menyebabkan meningkatnya produksi emisi gas CO₂. Sektor pembangkit listrik merupakan penyebab terbesar emisi karbon dioksida, disusul oleh industri dan transportasi.

Untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil dan mengurangi emisi gas rumah kaca, diperlukan pembangkit tenaga listrik dengan memanfaatkan sumber energi terbarukan. Salah satu energi terbarukan yang berkembang pesat di dunia saat ini adalah energi angin.

Walaupun pemanfaatan energi angin dapat dilakukan di mana saja, daerah-daerah yang memiliki potensi energi angin yang tinggi tetap perlu diidentifikasi agar pemanfaatan energi angin ini lebih kompetitif dibandingkan dengan energi alternatif lainnya. Oleh karena itu studi pemanfaatan energi angin ini sangat perlu dilakukan guna

mengidentifikasi daerah-daerah berpotensi. Angin selama ini dipandang sebagai proses alam biasa yang kurang memiliki nilai ekonomis untuk memenuhi energi yang diperlukan oleh masyarakat. Secara umum, pemanfaatan tenaga angin di Indonesia memang kurang mendapat perhatian.

I.2. Rumusan Masalah

Masalah utama yang diajukan pada penelitian ini adalah mengamati besar daya yang dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Turbin Angin Sumbu Horizontal dan mengamati kecepatan angin di atas gedung Laboratorium Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia.

I.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengukuran kecepatan angin, putaran generator, tegangan dan arus yang mengalir ke baterai.
2. Konversi energi listrik dari arus searah (*DC = Direct Current*) menjadi arus bolak-balik (*AC = Alternating Current*).

I.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat :

1. Memberikan informasi kepada masyarakat tentang pemanfaatan energi terbarukan secara optimal khususnya angin.
2. Mendorong masyarakat untuk beralih kepada sumber energi terbarukan.

I.5. Sistematika Penulisan

BAB I : Pendahuluan

Bab ini meliputi latar belakang, tujuan penelitian, rumusan masalah, metode penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II : Tinjauan Pustaka

Bab ini menjelaskan pengertian angin, turbin angin, dan jenis-jenis turbin angin.

BAB III : Metodologi Penelitian

Bab ini menyajikan penjelasan tentang metode penelitian dan prosedur penelitian

BAB IV : Hasil Penelitian dan Pembahasan

Dalam bab ini berisi tentang data hasil pengukuran, hasil pengujian inverter, hasil pengolahan data dan analisa hasil pengukuran.

BAB V : Kesimpulan dan Saran

Dalam bab ini berisi tentang kesimpulan dari hasil penelitian pada pembangkit listrik tenaga angin.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Angin

Angin adalah gerakan udara dari tempat yang bertekanan tinggi ketempat bertekanan rendah. Perbedaan tekanan tersebut adalah akibat oleh tidak meratanya pancaran panas matahari. Untuk dapat memanfaatkan energi angin secara efektif maka yang perlu diperhatikan adalah pemilihan lokasi yang tepat mengingat sifat angin itu sendiri yang tidak tentu dan tidak teratur baik arah maupun kecepatannya. Oleh karena itu pemanfaatan energi angin ini memerlukan penelitian yang teliti serta konversi angin yang cermat.

Energi angin dapat dimanfaatkan sebagai sumber tenaga listrik dalam skala kecil. Dalam pemanfaatan energi angin sebagai pembangkit tenaga listrik berskala kecil, diperlukan alat-alat seperti : turbin angin, baterai sebagai media penyimpan, inverter, dan lain-lain. Indonesia mempunyai potensi energi angin yang besar dan perlu dimanfaatkan karena indonesia terletak digaris katulistiwa serta berangin muson.

2.2. Turbin Angin

Turbin angin adalah kincir angin yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Turbin angin ini pada awalnya dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi, dan lain-lain. Turbin angin lebih banyak digunakan untuk mengakomodasi kebutuhan listrik masyarakat, dengan menggunakan prinsip konversi energi dan menggunakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui yaitu angin.

Turbin angin dibagi menjadi dua kelompok utama berdasarkan arah sumbu:

1. Turbin Angin Sumbu Horizontal.

Turbin angin dengan sumbu horizontal mempunyai sudu yang berputar dalam bidang vertikal seperti halnya propeler pesawat terbang. Gambar 2.1 memperlihatkan jenis turbin angin sumbu horizontal. Turbin angin biasanya mempunyai sudu dengan bentuk irisan melintang khusus di mana aliran udara pada salah satu sisinya dapat bergerak lebih cepat dari aliran udara di sisi yang lain ketika angin melewatinya. Fenomena ini menimbulkan daerah tekanan rendah pada belakang sudu dan daerah tekanan tinggi di

depan sudu. Perbedaan tekanan ini membentuk gaya yang menyebabkan sudu berputar.



Gambar 2.1: Turbin Angin Horizontal

Sumber: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Lamma_wind_turbine.jpg

Dilihat dari jumlah sudu, turbin angin sumbu horizontal terbagi menjadi:

- a) Turbin angin satu sudu (*single blade*)
- b) Turbin angin dua sudu (*double blade*)
- c) Turbin angin tiga sudu (*three blade*)
- d) Turbin angin banyak sudu (*multi blade*)

2. Turbin Angin Sumbu Vertikal

Turbin angin sumbu vertikal/tegak (TASV) memiliki poros/sumbu rotor utama yang disusun tegak lurus seperti diperlihatkan pada gambar 2.2. Kelebihan utama susunan ini adalah turbin tidak harus diarahkan ke angin agar menjadi efektif. Kelebihan ini sangat berguna di tempat – tempat yang arah anginnya sangat bervariasi.

Dengan sumbu yang vertikal, generator serta *gearbox* bisa ditempatkan di dekat tanah, jadi menara tidak perlu menyokongnya dan lebih mudah diakses untuk keperluan perawatan. Tapi ini menyebabkan sejumlah desain menghasilkan tenaga putaran yang

berdenyut. Drag (gaya yang menahan pergerakan sebuah benda padat melalui fluida (zat cair atau gas) bisa saja tercipta saat kincir berputar.

Karena sulit dipasang di atas menara, turbin sumbu tegak sering dipasang lebih dekat ke dasar tempat ia diletakkan, seperti tanah atau puncak atap sebuah bangunan. Kecepatan angin lebih pelan pada ketinggian yang rendah, sehingga yang tersedia adalah energi angin yang sedikit. Aliran udara di dekat tanah dan obyek yang lain mampu menciptakan aliran yang bergolak, yang bisa menyebabkan berbagai permasalahan yang berkaitan dengan getaran, diantaranya kebisingan dan *bearing wear* yang akan meningkatkan biaya pemeliharaan atau mempersingkat umur turbin angin. Jika tinggi puncak atap yang dipasangi menara turbin kira-kira 50% dari tinggi bangunan, ini merupakan titik optimal bagi energi angin yang maksimal dan turbulensi angin yang minimal.

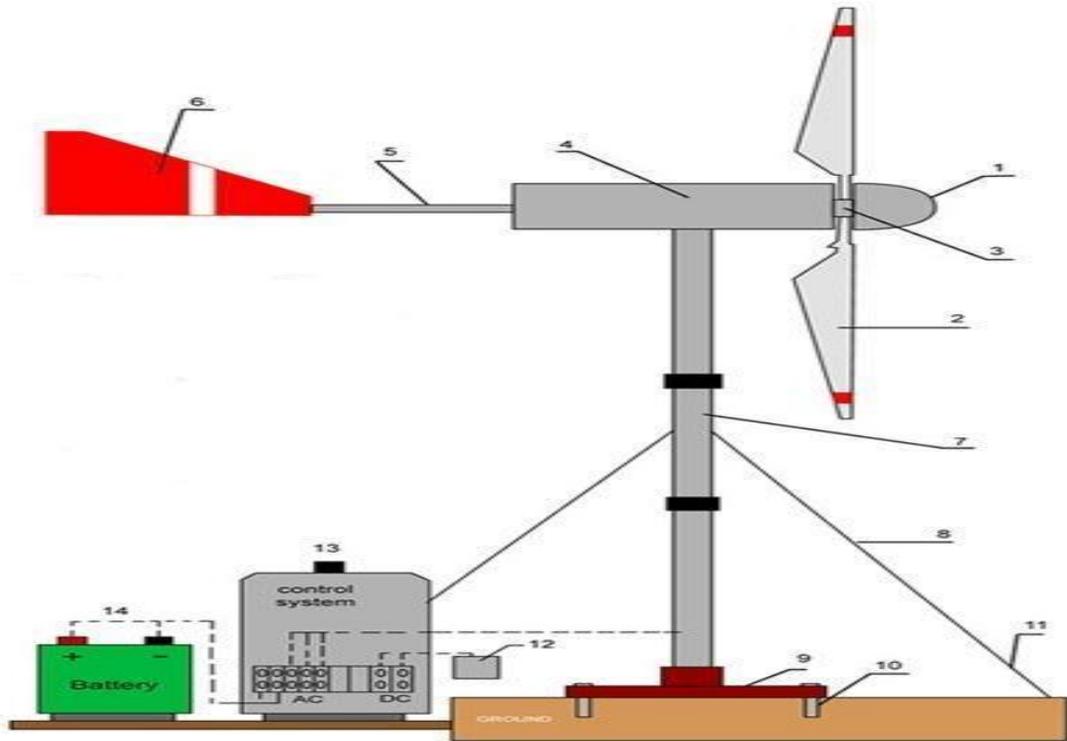


Gambar 2.2: Turbin Angin Sumbu Vertikal

2.3. Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Angin adalah salah satu bentuk energi yang tersedia di alam sedangkan Pembangkit Listrik Tenaga Angin mengkonversikan energi angin menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin. Cara kerjanya cukup sederhana, energi angin yang memutar turbin angin, diteruskan untuk memutar rotor pada generator dibagian belakang turbin

angin, sehingga akan menghasilkan energi listrik. Energi Listrik ini biasanya akan disimpan kedalam baterai sebelum dimanfaatkan. Secara sederhana sketsa kincir angin diperlihatkan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3: Sketsa Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Sumber : <http://kompetiblog2013.wordpress.com/tag/kincir-angin/>

Keterangan gambar:

1. Penutup bagian depan
2. Sirip kincir angin
3. Dudukan sirip kincir angin
4. Body dan generator
5. Tiang penyangga sirip ekor
6. Sirip ekor
7. Pipa penyangga
8. Kawat pengikat
9. Pondasi kincir angin
10. Pondasi

11. Bahut pengeras kawat pengikat
12. Inverter
13. Controler system
14. Baterai /aki

2.4. Daya yang dihasilkan Kincir Angin.

Besar daya yang dihasilkan oleh kincir angin dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan [2.1] di bawah ini.

$$W_{tot} = \dot{m} \times E_k = \dot{m} \times \frac{V^2}{2g_c} \quad [2.1]$$

dimana: W_{tot} = daya total yang dibangkitkan.

E_k = Energi kinetic dari udara

\dot{m} = laju aliran massa udara kg/det $\rightarrow \dot{m} = \rho AV$

V = kecepatan aliran m/det

g_c = factor konversi $1,0 \frac{kg}{Ndet^2}$

A = luas penampang melintang dari aliran

ρ = massa jenis udara (angin) kg/m³.

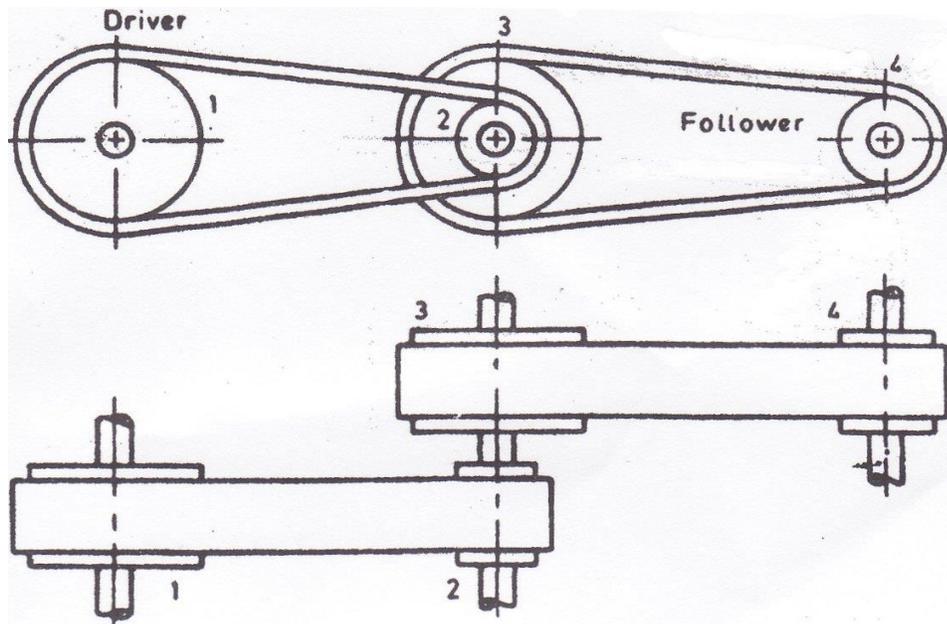
Dengan demikian, maka daya total yang dibangkitkan sesuai dengan persamaan [2.2].

$$W_{tot} = \frac{1}{2g_c} \rho AV^3 \quad [2.2]$$

2.5. Putaran yang dihasilkan oleh Kincir Angin.

Pada umumnya putaran yang dihasilkan kincir angin adalah rendah, sementara generator yang digunakan adalah generator sinkron (alternator) putaran tinggi. Untuk itu perlu dinaikkan putaran yang dihasilkan oleh kincir angina atau disesuaikan dengan putaran generator.

Peningkatan putaran dari kincir tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan peralatan rodagigi, rantai maupun sabuk(belt).



Gbr. 2.4: Sabuk untuk menaikkan putaran poros.

Gambar 2.4. diatas adalah rangkaian sabuk yang digunakan untuk menaikkan putaran dari kecepatan rendah menjadi kecepatan tinggi. Besar peningkatan putaran ditentukan oleh perbandingan diameter puli 1 dan puli 2 serta puli 3 dan puli 4.

Besar peningkatan putaran antara satu puli dengan puli pasangannya sesuai dengan persamaan [2.3].

$$D_1 n_1 = D_2 n_2 \rightarrow D_2 = \frac{D_1 n_1}{n_2} \text{ atau } n_2 = \frac{D_1 n_1}{D_2} \quad [2.3]$$

dimana: D_1 = diameter puli pada poros 1

D_2 = diameter puli pada poros 2

n_1 = putaran poros 1

n_2 = putaran poros 2.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

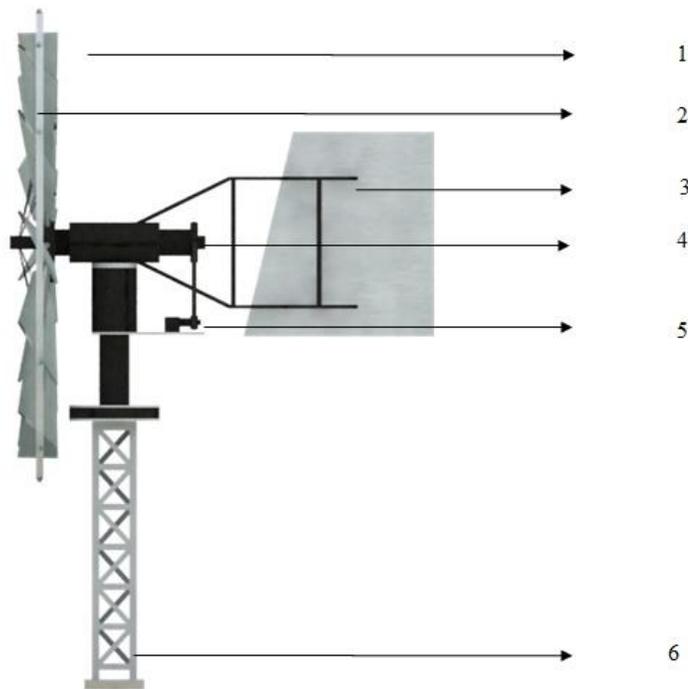
3.1. Pendahuluan

Penelitian dilakukan di atas gedung Laboratorium Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia dan waktu penelitian dilakukan pada bulan Juni – Juli 2013. Rancang bangun turbin angin dilaksanakan oleh Tim Peneliti Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik UKI. Data-data yang diamati pada penelitian ini adalah besar daya yang dihasilkan oleh turbin angin, kecepatan angin dan kecepatan generator.

Generator yang digunakan pada penelitian ini adalah generator dari mobil tertentu dan menggunakan baterai sebagai media penyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh turbin angin itu sendiri. Generator berfungsi untuk mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik (energi angin dikonversikan menjadi energi listrik).

3.2. KONTRUKSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN

Konstruksi pembangkit listrik tenaga angin pada penelitian ini secara garis besar diperlihatkan pada gambar 3.1.



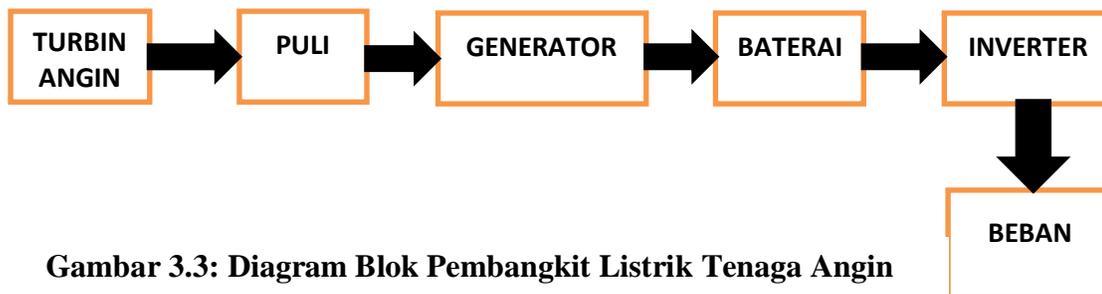
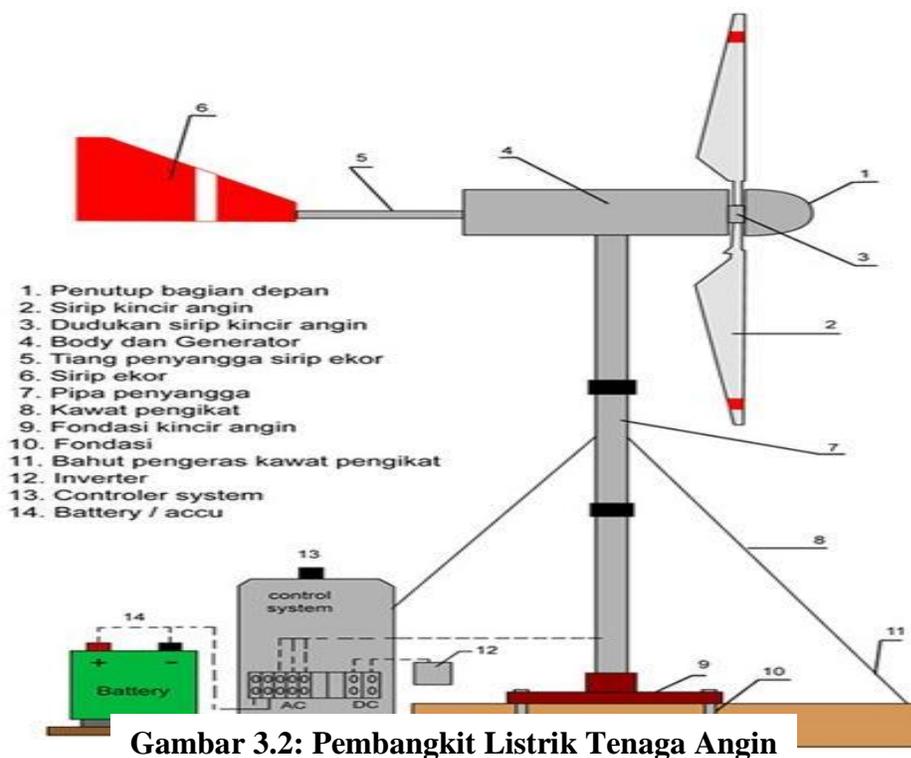
Gambar 3.1: Kontruksi pembangkit listrik tenaga angin

Keterangan gambar:

1. Blade
2. Ring
3. Tail
4. Poros
5. Generator
6. Struktur penyanggah

3.3. Diagram Blok Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Gambar 3.2 memperlihatkan secara skematis dari suatu Pembangkit Listrik tenaga Angin. Blok diagram seperti diperlihatkan pada gambar 3.3, memperlihatkan secara singkat proses konversi tenaga angin menjadi tenaga listrik sampai ke beban.



Turbin angin melalui puli berfungsi untuk menggerakkan generator dan generator berfungsi untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik, selanjutnya energi listrik yang dihasilkan generator disimpan di baterai melalui konverter/penyearah. Inverter berfungsi untuk mengembalikan energi dari bentuk searah/DC ke bentuk bolak-balik/AC, selanjutnya dapat dipakai pada alat-alat listrik yang menggunakan energi listrik dengan tegangan bolak-balik.

3.4. Pembuatan komponen turbin angin

Tahapan pembuatan komponen turbin angin adalah sebagai berikut:

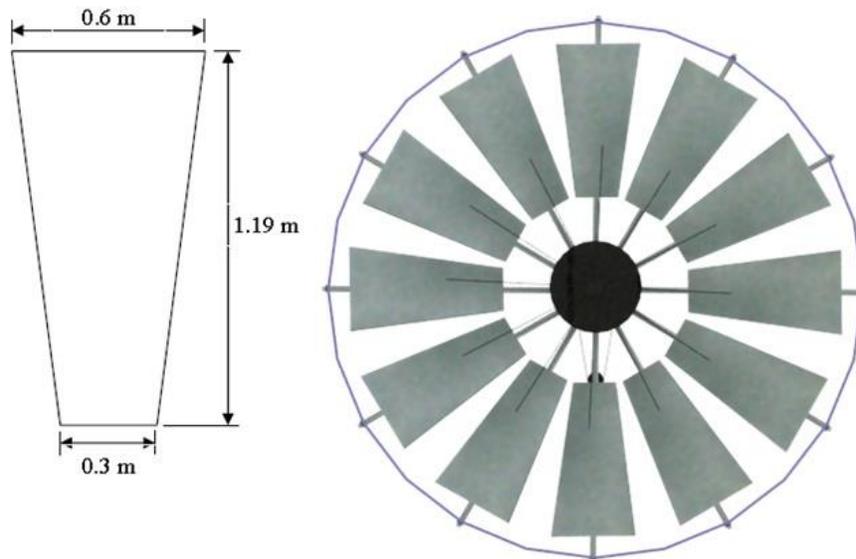
- 1 Bentuk *blade* atau sudu yang diinginkan berbentuk trapesium dengan trapesium seperti diperlihatkan pada gambar 3.4. Luas *blade* yang berbentuk trapesium adalah sebagai berikut seperti diperlihatkan pada persamaan [3.1]

$$A = \frac{\text{jumlah sisi sejajar} \times t}{2} \quad [3.1]$$

dimana:

A = luas (m²)

t = tinggi



Gambar 3.4: Desain *blade* pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin

- 2 Pembuatan poros turbin angin dilakukan dengan menggunakan mesin bubut.
- 3 Pembuatan lengan sudu untuk menopang sudu pada poros turbin angin. Setiap sudu ditopang oleh 3 lengan sudu.
- 4 Bantalan(*bearing*) pada poros turbin angin dan poros puli, seperti diperlihatkan pada gambar 3.5.



Gambar 3.5: Bearing/Bantalan

- 5 Pembuatan puli dilakukan untuk menaikkan putaran dari turbin angin ke putaran pada rotor generator
- 6 Tail pada pembangkit listrik tenaga angin berfungsi sebagai pengarah sudu – sudu agar blade mengarah kepada mata angin atau arah datangnya angin.
- 7 Putaran.

3.5.Peningkatan Putaran Kincir.

Puataran yang dihasilkan oleh kincir hanya sekitar 60 rpm, sementara putaran kerja dari generator (alternator) membutuhkan putaran sekitar 3000 rpm. Pada pengujian terdahulu telah dipasang rantai 2 tingkat masing-masing mempunyai perbandingan jumlah gigi 1 : 3,5 dan sebuah puli dengan perbandingan diameter 3 : 1, sehingga putaran akhir yang didapat adalah 36,75 kali putaran poros kincir. Jika putaran poros kincir 60 rpm, maka alternator dapat bekerja dengan baik, namun bila putaran kincir dibawah 45 rpm maka alternator tidak menghasilkan listrik. Agar perbandingan putaran bisa lebih besar, maka rantai diganti dengan sabuk (V Belt) dua tingkat.

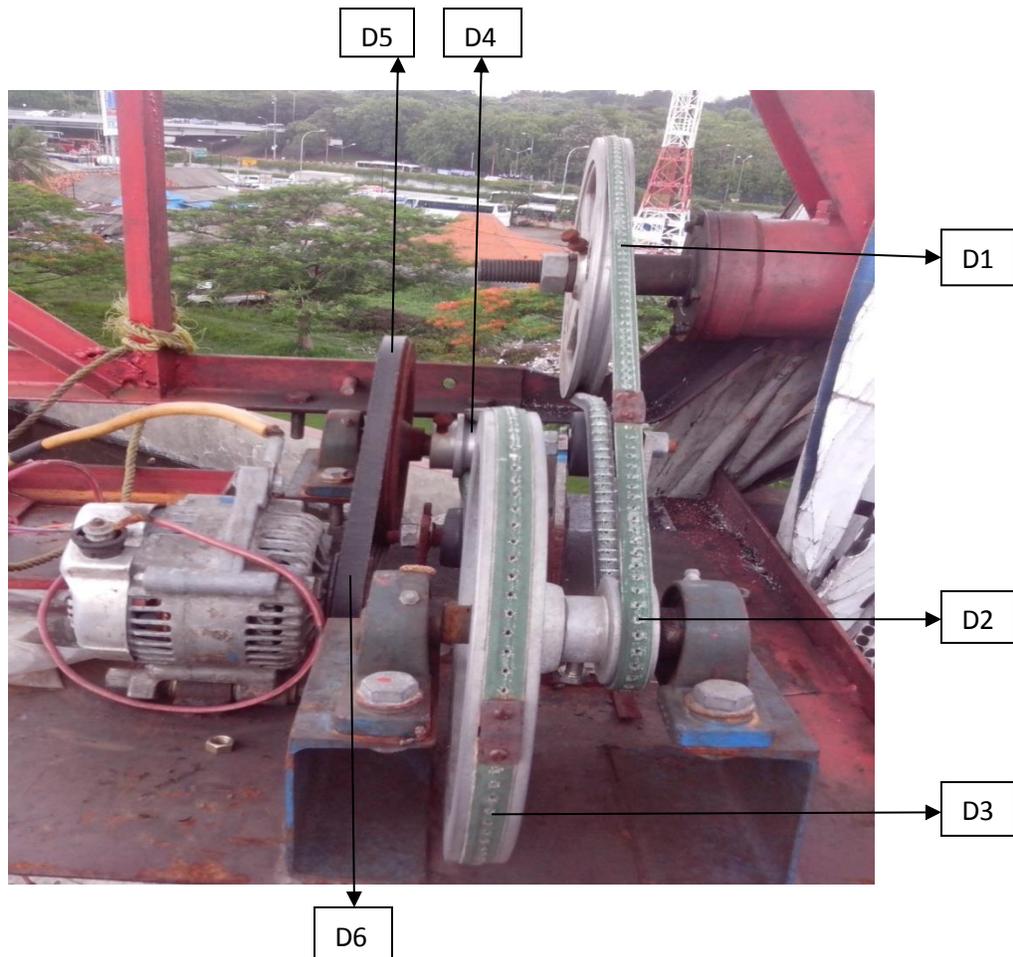
Gambar 3.6. memperlihatkan rangkaian sabuk bertingkat untuk meningkatkan putaran kincir dengan ukuran puli sebagai berikut:

$D_1 = 40$ cm dimana putaran puli tersebut sama dengan putaran yang dihasilkan kincir.

$D_2 = 8$ cm ; $D_3 = 40$ cm dimana putaran puli $D_2 =$ putaran puli D_3 .

$D_4 = 8$ cm ; puli D_4 digandeng kembali dengan sebuah puli D_5 berdiameter 30 cm.

Dari puli D_5 dihubungkan kembali ke puli alternator berdiameter 10 cm.



Gambar 3.6: Rangkain sabuk V untuk menaikkan putaran kincir.

Dari persamaan [2.3] dapat dihitung putaran akhir dari poros puli 4 sebagai berikut:

Jika putaran kincir adalah 40 rpm, maka untuk menghasilkan putaran sebesar 3000 rpm, dilakukan langkah-langkah sebagai berikut :

$$D_1 n_1 = D_2 n_2 \rightarrow D_2 = \frac{D_1 n_1}{n_2} \text{ atau putaran poros 2 menjadi : } n_2 = \frac{D_1 n_1}{D_2}$$

$$n_2 = \frac{40 \text{ cm} \times 40 \text{ rpm}}{8 \text{ cm}} = 200 \text{ rpm.}$$

$$n_4 = \frac{40 \text{ cm} \times 200 \text{ rpm}}{8 \text{ cm}} = 1000 \text{ rpm.}$$

$$n_6 = \frac{30 \text{ cm} \times 1000 \text{ rpm}}{10 \text{ cm}} = \mathbf{3000 \text{ rpm.}}$$

Dari perhitungan diatas, maka untuk kecepatan putar kincir yang hanya 40 rpm, dapat ditingkatkan menjadi putaran alternator yaitu, 3000 rpm. Putaran tersebut merupakan putaran kerja dari generator.

3.6.Langkah-Langkah Perakitan

Dalam penelitian ini, tim menggunakan kincir angin yang telah dibuat pada perancangan terdahulu, namun karena tempat terdahulu kurang strategis dan juga kurang tinggi maka dilakukan pemindahan lokasi dan sekaligus perubahan peralatan transmisi.

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan peralatan dan bahan yang akan dirakit.
2. Mengecat kerangka turbin.
3. Memasang poros turbin pada kerangka turbin, kemudian dibaut pada bagian bawah poros.
4. Memasang lengan dengan sudu turbin dengan mur.
5. Memasang lengan yang sudah terpasang dengan sudu pada poros turbin, dengan cara di *shock* terlebih dahulu dan di mur.
6. Memasang tempat dudukan baterai, generator dan puli.
7. Memasang puli.
8. Memasang generator sejajar dengan puli dengan cara mengunci dengan mur-baut.
9. Memasang *control panel* dengan menghubungkan kabel pada generator dan baterai.

Gambar Turbin Angin dengan sumbu horizontal dari Pembangkit Listrik Tenaga Angin yang digunakan pada penelitian ini diperlihatkan pada gambar 3.7.



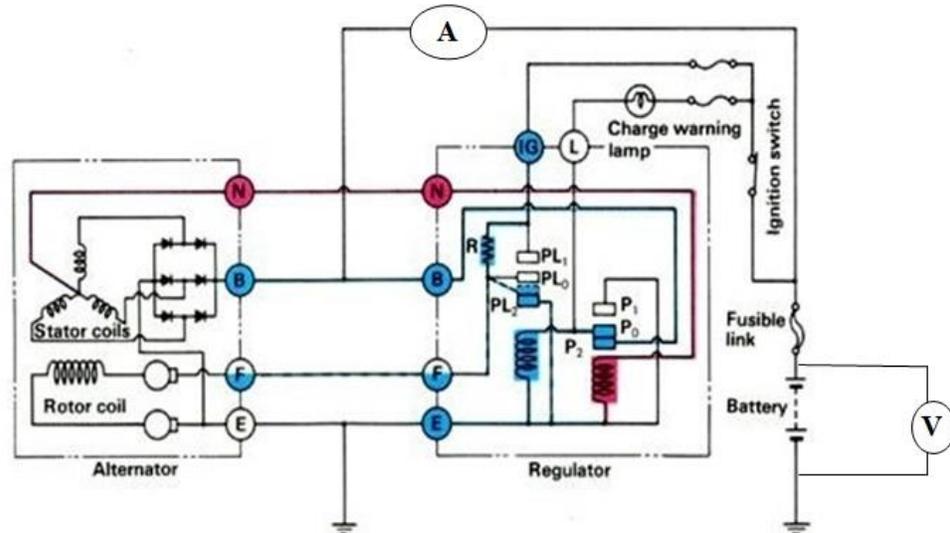
Gambar 3.7: Turbin Angin Sumbu Horizontal

3.7.Rangkaian dan Prosedur Pengukuran

Rangkaian pengukuran diperlihatkan pada gambar 3.8. Prosedur berikut merupakan prosedur pengukuran yang dilakukan:

1. Generator dikopel pada puli yang telah dipasangkan pada turbin angin.
2. Merangkai generator dan baterai seperti yang diperlihatkan pada gambar 3.8.
3. Mengatur posisi voltmeter(V) dan amperemeter (A) pada posisi DC.
4. Mengukur kecepatan angin dengan menggunakan anemometer.
5. Mengukur putaran turbin/putaran generator dengan menggunakan alat tachometer.
6. Mengamati pengisian generator ke baterai dengan melihat lampu indikator menyala saat baterai menyuplai arus ke rotor generator, dan pada saat generator melakukan pengisian ke baterai, lampu indikator akan padam.

7. Mencatat harga tegangan (V), arus(I), kecepatan angin (v), dan putaran generator (rpm).



Gambar 3.8: Rangkaian pengukuran pada generator

BAB IV
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1.Data Hasil Pengukuran

Tabel 4.1 memperlihatkan data hasil pengamatan seperti:kecepatan angin, kecepatan putaran generator, tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Angin yang di ukur pada sisi baterai.

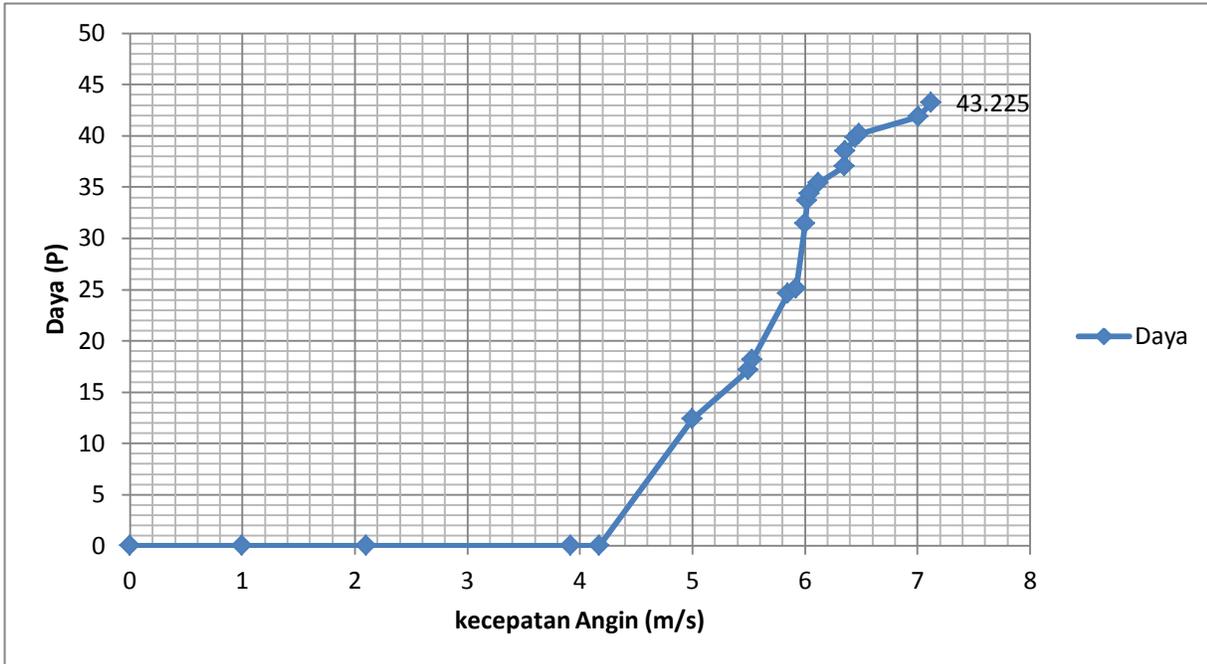
Tabel 4.1: Data hasil pengukuran

<i>No. Percobaan</i>	<i>Kecepatan Angin (m/s)</i>	<i>Putaran generator (rpm)</i>	<i>Arus (Ampere)</i>	<i>Tegangan (volt)</i>	<i>Daya (watt)</i>
1	0	0	0	12,00	0
2	1,0	0	0	12,00	0
3	2,1	117	0	12,00	0
4	3,92	398	0	12,00	0
5	4,17	424	0	12,00	0
6	5,0	532	1,02	12,10	12,342
7	5,5	541	1,40	12,24	17,136
8	5,53	542	1,48	12,28	18,174
9	5,85	550	1,98	12,42	24,592
10	5,92	570	2,01	12,50	25,125
11	6,0	599	2,50	12,56	31,40
12	6,02	600	2,65	12,70	33,655
13	6,04	601	2,68	12,82	34,357
14	6,12	620	2,75	12,87	35,392
15	6,35	635	2,87	12,90	37,023
16	6,36	642	2,98	12,93	38,5314
17	6,45	650	3,05	13,05	39,802
18	6,48	655	3,08	13,05	40,194
19	7,01	685	3,17	13,20	41,844
20	7,12	698	3,25	13,30	43,225

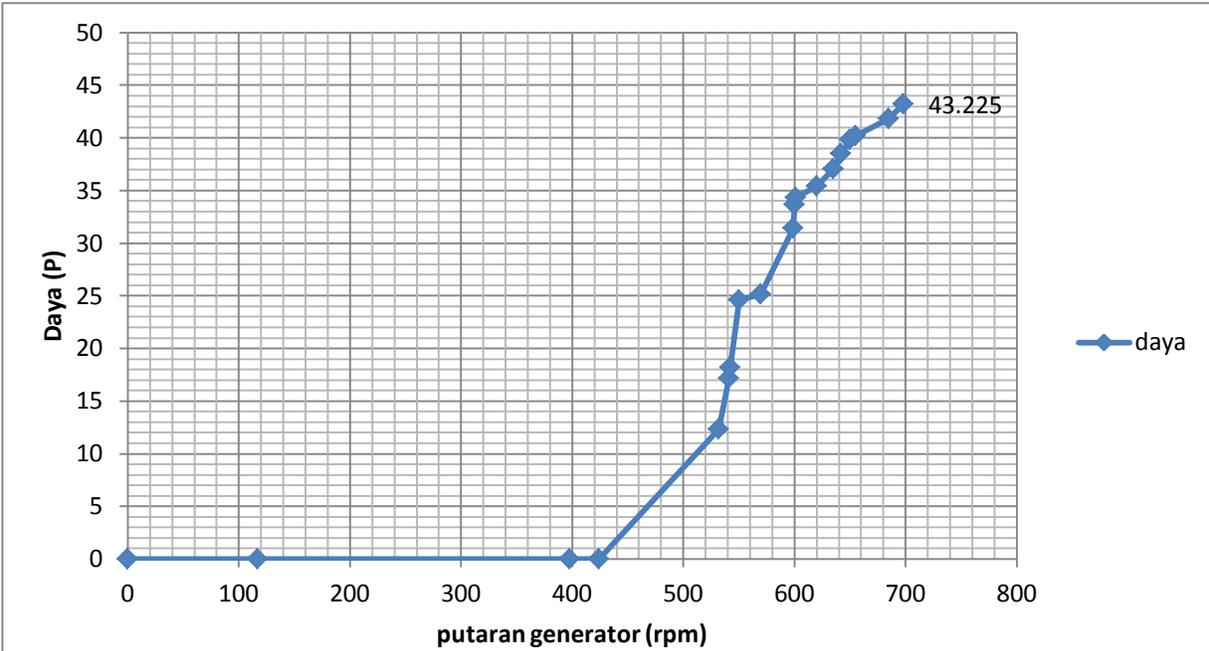
Dari tabel 4.1 dapat digambarkan dalam bentuk grafik kecepatan putaran generator terhadap daya seperti yang diperlihatkan pada gambar4.1 dan gambar 4.2.

Catatan :

Setelah penggantian rantai menjadi sabuk, dilakukan pengujian dan ternyata diperoleh hambatan baru, dimana terjadi slip antara sabuk dan puli sehingga penyesuaian kecepatan angin dan putaran poros alternator sangat lambat. Karena perubahan kecepatan angin sangat cepat maka sangat jarang tercapai putaran poros alternator yang memadai.



Gambar4.1:Grafik kecepatan angin terhadap daya yang dihasilkan Turbin Angin



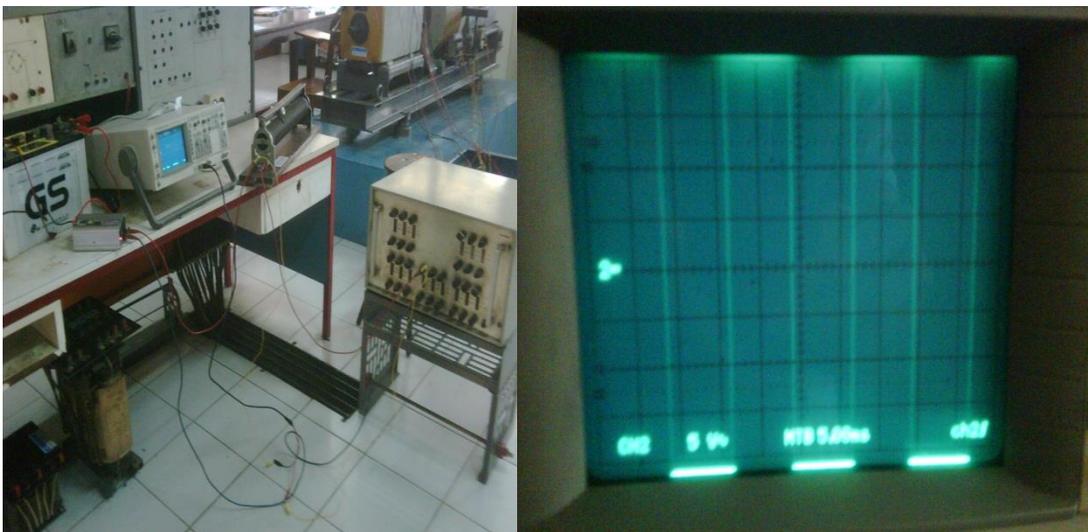
Gambar4.2:Grafik putaran generator terhadap daya yang dihasilkan turbin angin

4.2.HASIL PENGUJIAN INVERTER

Inverter yang digunakan pada penelitian ini adalah inverter 500 watt, yang berfungsi untuk mengubah tegangan 12 volt DC ke 220 volt AC. Penelitian pada inverter dilakukan untuk mengetahui hasil keluaran inverter dalam bentuk gelombang pada beban yang berbeda yaitu: beban lampu pijar 25 watt dan beban kombinasi resistansi R dengan induktansi L (RL). Hasil pengujian inverter pada beban lampu pijar 25 watt diperlihatkan pada gambar 4.3 dan beban RL diperlihatkan pada gambar 4.4.



Gambar4.3: Pengujian Inverter Dengan Beban Lampu Pijar 25 watt



Gambar4.4: Pengujian Inverter Dengan Beban RL

4.3. Analisa Hasil Pengukuran

Dari tabel 4.1 dapat dilihat bahwa perubahan kecepatan angin sangat mempengaruhi kecepatan generator, arus, tegangan, dan daya. Pada tabel 4.1 menunjukkan bahwa pada keadaan diam (kecepatan angin 0 m/s) turbin tidak dapat bekerja sama sekali, pada kecepatan angin 1,0 m/s turbin angin tidak dapat menghasilkan putaran generator karena faktor blade/ konstruksi pada turbin besar sehingga menyulitkan untuk memutar turbin. Sedangkan pada kecepatan angin 2,1; 3,92 dan 4,17 m/s

menghasilkan putaran generator sebesar 117; 398 dan 424 rpm tetapi tidak menghasilkan arus listrik (tidak ada pengisian arus), ini disebabkan tegangan yang dihasilkan generator lebih kecil atau sama besar dengan tegangan yang ada di aki/ baterai yaitu 12 volt.

Pada tabel 4.1 terjadi pengisian arus sebesar 1,02 ampere saat tegangan aki yaitu sebesar 12,10 volt, pada kecepatan angin 5,0 m/s dan kecepatan putaran generator sebesar 532 rpm. Nilai tegangan dan arus sangat tergantung pada nilai kecepatan putaran generator rpm, kenaikan kecepatan putaran generator akan diikuti oleh kenaikan nilai tegangan dan arus karena jika kecepatan turbin meningkat maka kecepatan pada generator juga akan meningkat.

Nilai tegangan, arus, dan daya terbaik dari pembangkit listrik tenaga angin sumbu horizontal ini diperoleh pada putaran 698 rpm, sedangkan putaran generator yang terbaik yang dihasilkan oleh turbin angin adalah pada kecepatan angin 7,12 m/s.

Berdasarkan grafik gambar 4.1 dan gambar 4.2 diketahui bahwa performansi terbaik berupa daya yang dihasilkan dimiliki oleh kecepatan angin dan putaran generator adalah 7,12 m/s dan 698 rpm, sebesar 43,225 watt. Dari grafik gambar 4.1 dan gambar 4.2 dapat disimpulkan bahwa kecepatan angin dan kecepatan putaran generator sangat mempengaruhi daya, semakin tinggi kecepatan angin dan kecepatan putaran generator maka daya yang dihasilkan turbin angin semakin besar.

Bentuk dasar gelombang keluaran inverter satu fasa jembatan penuh merupakan suatu bentuk gelombang kotak, hal ini disebabkan faktor beban keluaran adalah beban fundamental atau beban resistif.

Pengujian pada inverter satu fasa pada beban lampu pijar 25 watt menghasilkan tegangan keluaran dalam bentuk gelombang kotak. Tegangan puncak ke puncak pada keluaran gelombang dari beban lampu pijar sebesar 20 mV dan time/div sebesar 5,0 m/s. pada beban RL hasil keluaran yang dihasilkan adalah gelombang kotak dimana tegangan puncak ke puncaknya 20 volt, time/div 5,0 m/s.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1.KESIMPULAN

1. Pengisian arus sebesar 1,02 ampere terjadi saat tegangan aki yaitu sebesar 12,10 volt, pada kecepatan angin 5,0 m/s dan kecepatan putaran generator sebesar 532 rpm.
2. Nilai daya maksimum dari pembangkit ini diperoleh sebesar 43,225 watt, pada kecepatan angin 7,12 m/s dan putaran generator 698 rpm.
3. Dari hasil pengamatan, efektifitas kincir yang diuji ternyata untuk daerah Cawang dan sekitar tidak cocok digunakan, hal ini terjadi karena angin yang berhembus tidak kontinu, sehingga pada saat angin mulai kencang, kincir turut berputar namun perlahan (karena ada tahanan inertia) dan juga ditambah adanya slip pada sabuk penambah putaran dan setelah putaran mulai tinggi, kecepatan angin sudah menurun dan hal inilah yang menyebabkan tidak pernah diperoleh daya yang ideal.
4. Pengujian inverter satu fasa pada beban lampu pijar 25 watt dan beban RL menghasilkan tegangan keluaran dalam bentuk gelombang kotak.

5.2.SARAN

1. Peningkatan putaran kerja dari generator sebaiknya tidak terlalu tinggi, agar kerugian tenaga akibat gesekan tidak terlalu besar.
2. Spesifikasi generator yang digunakan, sebaiknya disesuaikan dengan putaran dari turbin angin yaitu dengan menggunakan generator berkutub banyak.
3. Penggunaan Kincir angin sebaiknya pada daerah yang intensitas anginnya tinggi, untuk itu kepada rekan-rekan yang ingin menerapkan penggunaan kincir angin agar terlebih dahulu memetakan daerah yang layak menggunakan kincir angin.

DAFTAR PUSTAKA

1. **Anonim**, “*Data Perkembangan Jumlah Cadangan Sumber Energi Fosil*”, KESDM (2000-2012)
2. **Anonim**, “*Data Cadangan Energi Fosil Indonesia*”, KESDM (2000-2012)
3. **Anonim**, “*Data Cadangan dan Kapasitas Terpasang Sumber Energi Terbarukan*”, KESDEM 2012
4. **Anonim**, “*Data Energi (primer) Mix Nasional Tahun 2011*”, KESDM 2012
5. **Anonim**, “*Data Jumlah Subsidi Energi 2007-2012*”, KESDM 2012.
6. **Anonim, Kompas**, “*Diversifikasi Energi*”, 25 April 2013, Halaman 17.
7. **Astu Pudjarso, Djati Nursuhud**, “*Mesin Konversi Energi*”, Penerbit ANDI. Yogyakarta. 2006.
8. **Brown, L. A.**, “*Europe Leading World Into Age of Wind Energy*”, Earth Institute Policy. 2004.
9. **Cyril W. Lander**, “*Power Electronics*”, Third Edition, McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITIONS, 1993.
10. **Ivan Fredy T.**, “*Pembangkit Listrik Tenaga Angin Poros Horizontal*”, Tugas Akhir-Universitas Kristen Indonesia. Jakarta. 2011.
11. **Kadir Abdul**, “*Energi, sumber daya, inovasi, tenaga listrik, potensi ekonomi*” Penerbit Universitas Indonesia. Hal 243-255.
12. **Marpaung, C.O.P**, “*Target Pengurangan Emisi CO₂ dan Implikasinya di Indonesia*”, Pidato Pada Upacara Pengukuhan Sebagai Guru Besar Dalam Bidang Ilmu Perencanaan Sistem Tenaga Listrik, 28 Juli 2010, Jakarta.
13. **Niemann G, Winter H.**, “*Elemen Mesin*”, Penerbit Erlangga. Jilid II. Jakarta. 1992.
14. **Purba Robinson, Widodo Bambang**, “*Hubungan Pemakaian Energi Untuk Manusia Dengan Pemanasan Global (Global Warming)*”, Seminar“*Sosialisasi Pemanasan Global, Gereja Rendah Karbon*”, Kerjasama Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia dengan Komisi Perempuan Persekutuan Gereja-gereja di Indonesia Wilayah Daerah Khusus Ibukota (KP PGIW DKI) Jakarta, Sektor Jakarta Selatan bersama Komisi Wanita Gereja Kristen Jawa (KW GKJ) Nehemia Lebak Bulus, Jakarta Selatan, 22 Mei 2012. Lampiran 11 hal 1-9.

15. **Ramadhan MK Rizky, Utomo Teguh, Wibawa Unggul**, *“Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin Kecil di PT Ajinomoto Mojokerto Factory”*, Jurnal Elektro Fakultas Teknik Unika Atma Jaya, Vol. 5, No. 1, Hal 101-114, Jakarta, April 2012.
16. **Rashid Muhammad H.**, *“Power Electronics”, Circuits, Devices, and Applications*, Secon Edition, Prentice-Hall, Inc, Simon & Schuster Company/A Viacom Company, 1993.
17. **Relianto Sigit**, Asisten Deputi Pengendalian Pencemaran Pertambangan Energi & Migas Kementerian Lingkungan Hidup, Seminar “Indonesia Menuju Kemandirian Energi Listrik Secara Berkelanjutan dan Ramah Lingkungan”, 28 Maret 2012.
18. **Soebagio, Atmonobudi**, *“Perubahan Iklim dan Adaptasinya, Membangun Ketahanan Nasional di Bidang Energi Listrik Secara Berkelanjutan”*, Penerbit Fakultas teknik Universitas Kristen Indonesia, 2011.
19. **Soebagio, Atmonobudi**, *“Pemanasan Global, Dampak, dan Adaptasinya”*, Seminar “Pemanasan Global dan Upaya penanggulangannya serta Mengenal Kemas Plastik terhadap Makanan”, Kerjasama Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia dengan Gereja Kristen Protestan Simalungun (GKPS) Cikoko, 24 Oktober 2010, Jakarta.
20. **Soebagio Atmonobudi**, *“Membangun Kemandirian Energi Listrik serta Menurunkan Emisi Karbon secara Simultan dan Berkelanjutan”*, Seminar “Nasional dan Workshop, Indonesia Menuju Kemandirian Energi Listrik Secara Berkelanjutan dan Ramah Lingkungan”, Universitas Kristen Indonesia, 28-30 Maret 2012.
21. **Widodo Bambang, Soebagio Atmonobudi, Purba Robinson**, *“Tinjauan Terhadap Lampu Fluorescent (Lampu TL) Ballast Konvensional Tanpa dan Dengan Kapasitor Serta Ballast Elektronik Dari Berbagai Merek”*, Laporan Penelitian Program Studi Teknik Elektro 2010/2011.
22. **Widodo Bambang, Purba Robinson, Soebagio Atmonobudi**, *“Dampak Global Warming dan Potensi Energi Terbarukan”*, Seminar “Gereja Rendah Karbon”, Kerjasama Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia dengan Gereja Huria Kristen Indonesia (HKI), Cawang-Cililitan, 3 Nopember 2012.
23. **Yahya, S M.**, *“Turbines, Compressors and Fans”*, Penerbit McGraw-Hill. New Delhi. 1983.

24. <http://id.wikipedia.org/wiki/Angin>
25. <http://kompetiblog2013.wordpress.com/tag/kincir-angin/>
26. [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Lamma wind turbine.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Lamma_wind_turbine.jpg)

LAMPIRAN I:

Tabel L.1: Data kecepatan angin

NO	KECEPATAN ANGIN (m/s)	
	Waktu Penelitian	
	14 Juni 2013 Waktu: Pukul 10.00 – 17.00	1 Juli 2013 Waktu: Pukul 10.00 – 17.00
1	1,73	5,31
2	1,47	4,17
3	2,31	3,91
4	3,7	3,7
5	2,81	2,81
6	2,41	3,31
7	1,58	2,35
8	3,91	1,41
9	4,06	3,97
10	3,27	2,99
11	2,87	2,57
12	4,01	4,51
13	3,27	2,23
14	2,87	4,52
15	2,99	5,6

LAMPIRAN II:FOTO-FOTO



Gambar L.2: Persiapan pengambilan data

