

LAPORAN PENELITIAN HIBAH BERSAING



**PEMANFAATAN GENERATOR INDUKSI SEBAGAI PEMBANGKIT  
LISTRIK TENAGA ANGIN SKALA RUMAH TANGGA  
DI MBULAK BARU KABUPATEN JEPARA**

Ketua Peneliti :

Hasyim Asy'ari, S.T., M.T

Aris Budiman, S.T., M.T

Nurmuntaha Agung Nugraha, S.T

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA  
OKTOBER, 2010**

1. Judul Penelitian : Pemanfaatan generator induksi sebagai pembangkit listrik tenaga angin skala rumah tangga di Mbulak Baru Kabupaten Jepara

2. Ketua Peneliti

a. Nama Lengkap : Hasyim Asy'ari, S.T.,M.T

b. Jenis Kelamin : Laki-laki

c. NIK : 981

d. Jabatan Fungsional : Lektor

e. Jabatan Struktural : Ketua Pemjaminan Mutu Pembelajaran (KaPMP)

f. Bidang Keahlian : Sistem Tenaga Listrik (Ketenagaan)

g. Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Elektro

h. Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Surakarta

i. Tim Peneliti

No	Nama	Bidang Keahlian	Fakultas/Jurusan	Perguruan Tinggi
1	Hasyim Asy'ari, S.T,MT	Sistem Pembangkit Listrik (ketenagaan)	Teknik/Teknik Elektro	Universitas Muhammadiyah Surakarta
2	Aris Budiman, S.T,MT	Sistem Pembangkit Listrik (ketenagaan)	Teknik/Teknik Elektro	Universitas Muhammadiyah Surakarta
3	Nurmuntaha A. N, S.T	Konversi Energi Listrik (kincir angin)	Teknik/Teknik Mesin	Universitas Muhammadiyah Surakarta

3. Pendanaan dan jangka waktu penelitian

a. Jangka waktu penelitian yang diusulkan : 2 (dua) tahun

b. Biaya total yang diusulkan : Rp. 98.150.000,00

c. Biaya yang disetujui tahun I (Pertama) : Rp 47.250.000,00

d. Biaya yang disetujui tahun II (Kedua) : Rp 29.050.000,00



Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik

Ir. Agus Riyanto SR, M.T

483

Surakarta, 25 Oktober 2010

Ketua Peneliti

Hasyim Asy'ari, S.T.,M.T

981



Menyetujui

Ketua Lembaga Penelitian

Dr. Haryanto Joko Prayitno

132 049 998

## RINGKASAN

Pembangkit listrik tenaga angin (PLTB) sangat cocok untuk daerah pantai karena kaya potensi alam berupa angin, generator induksi merupakan jenis pembangkit listrik alternatif yang cocok untuk skala kecil atau beban rumah tangga (450 Va). Hal ini disebabkan karena harga generator induksi relatif lebih murah dibanding dengan generator sinkron. Kelemahan generator induksi adalah kinerjanya sangat dipengaruhi oleh beban.

Penelitian ini bertujuan memanfaatkan kecepatan angin untuk pembangkit listrik tenaga angin. Generator induksi di kopel dengan turbin angin sebagai penggerak utama melalui gear box, gear box yang digunakan adalah 1:8. Accumulator sebagai storage dan penyearah.

Hasil penelitian menunjukkan adanya energi listrik yang bisa dihasilkan meskipun hasilnya kurang optimal, hal ini dikarenakan kondisi cuaca yang selalu berubah dan rendahnya kecepatan angin.

## SUMMARY

Wind power station very suited for coast region because it has potential rich nature of shaped wind, induction generator is alternative power station kind that suited for small scale or household load (450 Va). Because it is price cheaper than synchronous generator. Weakness of induction generator is the performance very influenced by load.

The aim of research is use wind velocity to electricity generate. Induction Generator was connected with wind turbine, it is prime mover through gear box. It was used 1 : 8.

The Result of experiment give information, wind energy can product electricity, although the electricity product is less optimal. Because weather is always change and is wind velocity slowly.

## **PRAKATA**

Bismillaahirrahmaanirrahiim,

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, atas limpahan rahmat, hidayah, dan inayahNYA kepada penulis sejak awal melangkah mengerjakan penelitian di tahun pertama dan tahun kedua dengan judul “Pemanfaatan generator induksi sebagai pembangkit listrik tenaga angin skala rumah tangga di mbulak baru kabupaten jepara”.

Pelaksanaan dan penyusunan laporan penelitian ditahun kedua, akan memiliki manfaat yang besar jika kecepatan anginnya tinggi. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada mereka yaitu:

1. Prof. Bambang Setiaji, selaku Rektor UMS
2. Dr. Harun Joko Prayitno., selaku Ketua Lembaga Penelitian UMS
3. Ir. Agus Riyanto SR, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik UMS, atas dorongannya yang besar dalam penelitian ini
4. Ir. Jatmiko, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro UMS, atas saran dan masukannya
5. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah membantu penulis selama pelaksanaan dan penulisan laporan penelitian ini.

Akhir kata, tiada sesuatu yang sempurna dari hasil karya manusia. Saran dan kritik yang konstruktif dari para pembaca yang budiman akan penulis terima dengan senang hati. Semoga laporan penelitian ini dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Surakarta, 25 Oktober 2010

Penulis

## DAFTAR ISI

Halaman	
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	i
<b>RINGKASAN DAN SUMMARY</b> .....	ii
<b>PRAKATA</b> .....	Iv
<b>DAFTAR ISI</b> .....	v
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	viii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	4
2.1 Telaah Penelitian .....	4
2.2 Landasan Teori .....	5
2.2.1 Prinsip kerja motor induksi .....	6
2.2.2 Kondisi Angin .....	6
2.2.3 Mekanisme Turbin Angin .....	7
2.2.4 Desain Turbin.....	8
2.2.5 Bahan Blade .....	10
2.2.6 Energi Angin .....	13
2.2.7 Konverter (pengubah tegangan AC menjadi tegangan DC)....	14
2.2.8 Mikrokontroler ATMega 8535 .....	15

<b>BAB III TUJAUN DAN MANFAAT PENELITIAN .....</b>	<b>19</b>
3.1 Tujuan Khusus .....	19
3.2 Manfaat Penelitian .....	19
<b>BAB IV METODE PENELITIAN .....</b>	<b>20</b>
4.1 Waktu dan tempat .....	20
4.2 Bahan dan alat penelitian .....	20
4.3 Perlakuan dan Rancangan percobaan .....	21
4.4 Diagram alir penelitian .....	25
<b>BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>23</b>
5.1 Hasil pengujian pembangkit listrik tenaga angin .....	23
5.2 Analisa data hasil pengujian pembangkit listrik tenaga angin .....	26
<b>BAB VI KESIMPULAN .....</b>	<b>30</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>31</b>
<b>LAMPIRAN</b>	<b>32</b>

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Tingkat kecepatan angin 10 m diatas permukaan tanah .....	7
Tabel 5.1 Data pengujian tanggal 21 September 2010 .....	23
Tabel 5.2 Data pengujian tanggal 23 September 2010 .....	23
Tabel 5.3 Data pengujian tanggal 24 September 2010 .....	24
Tabel 5.4 Data pengujian tanggal 25 September 2010 .....	25
Tabel 5.5 Data pengujian tanggal 27 September 2010....	26
Tabel 5.6 Efisiensi pengujian pembangkit listrik tenaga angin .....	28

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Contoh kincir angin .....	10
Gambar 2.2 Komponen pembangkit listrik tenaga angin .....	12
Gambar 2.3 Rangkaian pengisi accu otomatis .....	15
Gambar 2.4 Rangkaian RPM switch .....	16
Gambar 2.5 Rangkaian mikrokontroler ATmega8535.....	16
Gambar 2.6 Rangkaian LCD.....	17
Gambar 2.7 Rangkaian relay.....	17
Gambar 2.8 Rangkaian rem otomatis .....	18
Gambar 2.9 Rangkaian tombol .....	18
Gambar 4.1 Diagram alir penelitian.....	21
Gambar 4.2 Rancangan pembangkit listrik tenaga angin.....	22
Gambar 4.3 Rangkaian gear box .....	22
Gambar 5.1 Hubungan kecepatan angin dengan daya output generator induksi.....	27

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Sumber energi primer pada pembangkit listrik milik PLN (PLTU, PLTD, PLTG, PLTGU) merupakan jenis energi tidak terbarukan (batubara, minyak dan gas bumi) yang jumlahnya kian menipis, hal ini mendorong untuk berpaling dan melakukan penelitian secara lebih intensif, terarah pada energi alternatif yang cukup tersedia di bumi ini yang dapat diharapkan keberlanjutannya. Energi terbarukan merupakan suatu pilihan tepat yang sesuai dengan potensi alam persada nusantara yang diuntungkan oleh letak dan kondisi geografisnya. Yang termasuk golongan energi terbarukan adalah energi matahari, angin, air, biomasa, dan panas bumi (PSE UGM, 2002).

Cadangan minyak dunia yang semakin menipis dan kebutuhannya yang semakin tinggi membuat harga minyak dunia semakin tinggi juga. Saat ini harga minyak dunia mencapai US \$ 105 per barel. Ketergantungan PT. PLN terhadap minyak dan gas bumi sebagai sumber utama pembangkitan listrik menuntut PT. PLN untuk selalu berusaha menyesuaikan Tarif Dasar Listrik (TDL) (Kedaulatan Rakyat, 2008). Kondisi demikian menuntut mencari dan mengkaji pemanfaatan sumber-sumber energi lain yang lebih murah dan berkelanjutan.

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMh) merupakan suatu pembangkit tenaga listrik berskala kecil dengan memanfaatkan sumber tenaga air sebagai sumber energi utamanya. Pengembangan PLTMh sangat cocok untuk daerah terpencil atau pedesaan yang pada umumnya masih banyak terdapat sumber daya air istimewa daerah yang masih banyak ditumbuhi pepohonan. Namun upaya pengembangan PLTMh ini juga memiliki hambatan karena biaya yang diperlukan untuk membangun sebuah PLTMh masih lebih besar dibanding Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) (Perdana Putra, 2004). Walaupun demikian, untuk jangka panjang operasional PLTMh akan lebih murah, karena sumber energinya tidak perlu membeli, hanya perlueliharaan secara kontinuitas.

Kinerja motor induksi dapat dilihat dari berbagai aspek seperti hubungan antara daya output dengan putaran rotor, efisiensi, faktor daya, dan arus masukan motor (Zuriman, A, 2001).

Penggunaan motor induksi sebagai generator memiliki beberapa keunggulan, antara lain harga dan biaya perawatannya jauh lebih murah dibanding jenis mesin sinkron, konstruksinya kuat dan bentuk yang sederhana, banyak tersedia dalam berbagai ukuran daya, memerlukan sedikit pemeliharaan dan mudah dalam pengoperasian (Capallaz, 1992).

Chapallaz (1992) juga mengungkapkan bahwa bila menggunakan motor induksi sebagai generator maka unjuk kerjanya akan mengalami penurunan frekuensi, tegangan, faktor daya bila beban yang dipasang bertambah dan sebaliknya akan mengalami peningkatan bila beban yang dipasang berkurang. Beberapa beban listrik modern seperti lampu penerangan dan peralatan elektronika seperti radio, televisi, komputer, mesin pendingin, sekarang dapat dioperasikan dalam variasi tegangan listrik tidak kurang dari 15 % dan tidak lebih dari 10 % dari tegangan normal, dan frekuensi 50 dan 60 Hz tanpa ada efek samping. Beban yang berupa motor dan transformator lebih sensitif karena dapat menyebabkan kerusakan pada lilitan.

Penggunaan generator induksi sebagai pembangkit tenaga listrik *stand-alone* sudah cukup luas di luar negeri, antara lain sebagai pembangkit listrik tenaga angin. Di daerah pertanian Altamont Pass, US, semua turbin angin menggunakan generator induksi jenis sangkar tupai. Demikian juga di Kanada dan Belanda ([www.eng-tips.com](http://www.eng-tips.com), [www.wind-power.org](http://www.wind-power.org)).

Di samping keunggulan yang dimiliki, mesin induksi ternyata memiliki beberapa kekurangan. Kebutuhan daya reaktif, masalah tegangan dan frekuensi yang timbul dalam operasi generator induksi yang beroperasi secara sendiri. Juga diungkapkan bahwa kapasitor dapat digunakan sebagai pembantu dalam eksitasi dan kompensator faktor daya sistem (Capallaz, 1992).

Sugiarmadji dan Djojohardjo (1990) dalam penelitiannya mengenai perancangan kincir angin sudu majemuk untuk pemompaan air/pertanian jenis EN-SM-03 menyatakan bahwa dengan kincir angin sudu majemuk dapat

memberikan kapasitas 50 l/menit untuk tinggi pemompaan 6 m pada kecepatan angin 3 m/s – 4 m/s.

Sedangkan Ginting (1990) yang melakukan pengkajian energi listrik yang dihasilkan turbin angin 200 W untuk penggunaan pada rumah tangga di pedesaan menyatakan bahwa penyediaan energi listrik oleh turbin angin 200 W sesuai dengan karakteristik prestasinya dan bervariasi menurut distribusi kecepatan angin yang tersedia di lokasi pemasangan. Disamping itu karena penyediaan energi listrik oleh energi angin terbatas menurut distribusi dan jumlah energi yang dihasilkan, maka energi yang berlebih pada saat energi turbin angin melebihi kebutuhan dapat digunakan untuk beban berguna lainnya.

Soeripno (1991) yang melakukan penelitian mengenai uji coba pemanfaatan sistem konversi energi angin untuk pengairan sawah di Desa Tenjoayu Serang menyatakan bahwa kecepatan angin 1 m/s dapat menghasilkan air sejumlah 42 liter/menit, sedangkan kecepatan angin 3,5 m/s dapat menghasilkan air sejumlah 166,68 liter/menit pada tinggi pemompaan 3 meter.

Himran (2000) dalam penelitiannya mengenai penggunaan energi angin di Kota Makassar menyatakan bahwa dengan kecepatan angin rata-rata 2,27 m/s penggunaan energi angin kurang efisien, sehingga perlu penyempurnaan pada desain kincir angin.

Pakpahan (2000) yang meneliti mengenai identifikasi permasalahan dan pemecahan pemakaian energi angin di Indonesia menyatakan bahwa potensi energi angin di Indonesia besar namun dalam pengolahannya masih memerlukan banyak perbaikan baik dalam hal sumber daya manusia yang menanganinya maupun dalam hal desain peralatan yang digunakan.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Berdasarkan uraian tersebut dirumuskan permasalahan yang diteliti yaitu:

- a) Berapa besar energi listrik yang dihasilkan oleh seperangkat pembangkit listrik tenaga angin dengan memanfaatkan generator induksi
- b) Bagaimana hubungan kecepatan angin terhadap daya output dari pembangkit listrik tenaga angin tersebut.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Telaah Penelitian**

Sugiarmadji dan Djojohardjo (1990) dalam penelitiannya mengenai perancangan kincir angin sudu majemuk untuk pemompaan air/pertanian jenis EN-SM-03 menyatakan bahwa dengan kincir angin sudu majemuk dapat memberikan kapasitas 50 l/menit untuk tinggi pemompaan 6 m pada kecepatan angin 3 m/s – 4 m/s.

Ginting (1990) yang melakukan pengkajian energi listrik yang dihasilkan turbin angin 200 W untuk penggunaan pada rumah tangga di pedesaan menyatakan bahwa penyediaan energi listrik oleh turbin angin 200 W sesuai dengan karakteristik prestasinya dan bervariasi menurut distribusi kecepatan angin yang tersedia di lokasi pemasangan. Disamping itu karena penyediaan energi listrik oleh energi angin terbatas menurut distribusi dan jumlah energi yang dihasilkan, maka energi yang berlebih pada saat energi turbin angin melebihi kebutuhan dapat digunakan untuk beban berguna lainnya.

Himran (2000) dalam penelitiannya mengenai penggunaan energi angin di Kota Makassar menyatakan bahwa dengan kecepatan angin rata-rata 2,27 m/s penggunaan energi angin kurang efisien, sehingga perlu penyempurnaan pada desain kincir angin.

Pakpahan (2000) yang meneliti mengenai identifikasi permasalahan dan pemecahan pemakaian energi angin di Indonesia menyatakan bahwa potensi energi angin di Indonesia besar namun dalam pengolahannya masih memerlukan banyak perbaikan baik dalam hal sumber daya manusia yang menanganinya maupun dalam hal desain peralatan yang digunakan.

Analisis Teknis Sudu Kincir Angin Tipe Sumbu Horizontal Dari Bahan Fibreglass. Tenaga yang dihasilkan oleh kincir angin berkisar antara 0,037 Hp sampai 0,053 Hp, (Desriansyah, 2006)

Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan kebanyakan difokuskan pada pemanfaatan angin untuk pemompa air dan mendapatkan nilai kapasitas kapasitor yang optiman. Penelitian yang dilakukan ini terfokus pada hubungan kecepatan angin terhadap energi yang dibangkitkan serta perancangan pembangkit listrik tenaga angin skala rumah tangga.

## 2.2 Landasan Teori

Mesin listrik pada dasarnya adalah suatu peralatan yang digunakan untuk konversi energi, yaitu dari energi mekanik menjadi energi listrik, energi listrik menjadi energi mekanik, atau dari energi listrik ke energi listrik dalam level tegangan yang lain. Fungsi ini sangat erat kaitannya dengan medan magnet sebagai medium dalam proses pengubahan energi.

Motor induksi banyak digunakan untuk peralatan seperti mesin bubut, frais, gergaji, dan lainnya. Ditinjau dari jumlah fasenya motor induksi terbagi menjadi motor induksi 3 fase dan 1 fase.

Keuntungan penggunaan motor induksi sebagai penggerak dalam berbagai bidang pekerjaan antara lain :

- a. Memiliki bentuk sederhana dan konstruksinya kuat;
- b. Memiliki efisiensi yang tinggi dalam keadaan normal;
- c. Mudah dalam pemeliharaan /perawatan; dan.

Kelemahan dari motor induksi sebagai penggerak adalah :

- a. Pengaturan kecepatan berpengaruh terhadap nilai frekuensi, dan
- b. Kecepatan rotor dapat turun dengan bertambahnya beban.

### 2. 2. 1 Prinsip Kerja Motor Induksi

Prinsip kerja motor induksi tiga fase berdasarkan induksi elektromagnetis, bila belitan/kumparan stator diberi sumber tegangan bolak-balik 3 fase maka arus akan mengalir pada kumparan tersebut, menimbulkan medan putar (garis-garis gaya fluks) yang berputar dengan kecepatan sinkron dan akan mengikuti persamaan :

$$N_s = \frac{120f}{p} \quad (2.1)$$

dengan :

- $N_s$  = kecepatan putar medan putar stator [rpm]  
 $f$  = frekuensi arus dan tegangan stator [Hz]  
 $p$  = banyaknya kutub

Garis-garis gaya fluks dari stator tersebut yang berputar akan memotong penghantar-penghantar rotor, sehingga pada penghantar-penghantar tersebut timbul EMF (*Electro Motoris Force*) atau GGL (Gaya Gerak Listrik) atau tegangan induksi.

Berhubung kumparan rotor merupakan rangkaian yang tertutup maka pada kumparan tersebut mengalir arus. Arus yang mengalir pada penghantar rotor yang berada dalam medan magnet berputar dari stator, maka pada penghantar rotor tersebut timbul gaya-gaya yang berpasangan dan berlawanan arah, gaya tersebut menimbulkan torsi yang cenderung memutar rotornya, rotor akan berputar dengan kecepatan putar ( $N_r$ ) mengikuti putaran medan putar stator ( $N_s$ ).

Agar tegangan terinduksi pada rotor maka diperlukan adanya perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator  $N_s$  dan putaran rotor  $N_r$ . Perbedaan kecepatan ini disebut dengan slip ( $s$ ), yang dinyatakan :

$$S = (n_s - n_r) / n_s \times 100 \% \quad (2.2)$$

### 2.2.2 Kondisi Angin

Kombinasi penggunaan listrik tenaga angin (PLTB), tenaga surya, dan tenaga microhidro mampu mengatasi krisis energi dan mengurangi pencemaran lingkungan. Tenaga angin selama kincir berputar maka suplai listrik terus terpenuhi walau hari sudah gelap. Kelemahan listrik tenaga angin pada bunyi bisung kincir dan resiko tersambar petir serta tidak cocok untuk daerah jalur penerbangan.

Pesisir pantai Indonesia kaya akan hembusan angin. Sayangnya potensi energi terbarukan ini tidak dioptimalkan dan justru dianggap musibah. Saat musim angin kencang bertiup mengakibatkan himbauan dan larangan untuk tidak melaut. Hal ini berdampak pada kehidupan nelayan, karena tidak bisa bekerja mencari ikan efeknya jelas perekonomian para nelayan kecil makin sulit. Tingkat kecepatan angina 10 m diatas permukaan laut ditunjukkan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Tingkat Kecepatan angin 10 m diatas permukaan tanah

Kelas Angin	Kecepatan Angin m/s	Kondisi Alam di darat
1	0,00 – 0,02	-
2	0,2 – 1,5	Angin tenang asap lurus keatas
3	1,6 – 3,3	Asap bergerak mengikuti arah angin
4	3,4 – 5,4	Wajah terasa ada angin, daun bergoyang pelan, petunjuk arah angin bergerak
5	5,6 – 7,9	Debu jalan, kertas berterbangan, ranting pohon bergoyang
6	8,0 – 10,7	Ranting pohon bergoyang, berdera berkibar
7	10,8 – 12,1	Ranting pohon besar bergoyang, air kolam berombak kecil
8	13,9 – 17,1	Ujung pohon melengkung, hembusan angin terasa ditelinga
9	17,2 – 20,7	Dapat merubuhkan pohon, jalan berat melawan arah angin
10	20,8 – 24,4	Dapat merubuhkan pohon, rumah rubuh
11	24,8 – 28,4	Dapat merubuhkan pohon, menimbulkan kerusakan
12	28,6 – 32,6	Menimbulkan kerusakan parah
13	32,7 – 36,0	Tornado

### 2.2.3 Mekanisme Turbin Angin

PLTB dapat dibuat dengan menggabungkan beberapa turbin yang berputar dan digabung dengan gerakan angin sehingga menghasilkan listrik ke unit penyalur listrik. Listrik dialirkan melalui kabel transmisi dan didistribusikan ke rumah-rumah, kantor, sekolah, dan sebagainya. Turbin angin dapat memiliki tiga buah bilah turbin. Jenis lain yang umum adalah jenis turbin dua bilah.

Angin akan memutar sudut turbin, kemudian memutar sebuah poros yang dihubungkan dengan generator, lalu menghasilkan listrik. Turbin untuk pemakaian umum berukuran 50-750 kilowatt. Sebuah turbin kecil, kapasitas 50 kilowatt, digunakan untuk perumahan, piringan parabola, atau pemompaan air.

Kebanyakan turbin memakai *blade* (sirip baling-baling) berbentuk penampang sayap pesawat (*aerofoil*), karena efisiensinya tinggi dan menghasilkan beda tekanan yang besar diantara kedua sisi *blade* untuk berputar dengan momen

gaya yang cukup besar. *Airfoil* adalah suatu cakram berpenampang lengkung parabolik dengan bagian depan cukup halus dan bagian ujung runcing. Angin melewati *airfoil* lebih cepat di bagian atas dari bagian bawahnya. Hal ini menimbulkan tekanan yang lebih besar pada bagian bawah sehingga terjadi gaya angkat.

Bila sudut *airfoil* terhadap horisontal (*pitch*) melebihi sudut kritis ( $10^\circ$  sampai  $16^\circ$ ) maka lapisan batas akan terbentuk di ujung *airfoil*. Hal ini akan menimbulkan olakan (turbulen) yang dapat menurunkan *lift* dan menaikkan *drag*, kejadian ini dinamakan *stall*. *Stall* ini dapat juga terjadi bila kecepatan angin terlalu besar. Untuk itu kebanyakan desain turbin dilengkapi dengan pengontrol sudut (*pitch*) pada *blade*. Pada saat kecepatan angin turun, *Blade* bergerak memutar menghadap arah angin, tetapi pada saat kecepatan angin sangat besar maka bergerak memutar menjauhi arah angin. Hal ini dibuat agar desain turbin dapat menghasilkan daya yang optimal dan konstan.

#### 2.2.4 Desain Turbin

Banyak jenis mesin turbin yang telah dikembangkan, tetapi secara garis besar dapat dibedakan menjadi dua tipe, yaitu:

1. HAWT (*Horizontal Axis Wind Turbine*)

*Horizontal Axis Wind Turbine* mempunyai ciri sumbu putar turbin sejajar terhadap tanah. Turbin jenis ini paling banyak dikembangkan di berbagai negara. Cocok dipakai untuk menghasilkan listrik. Terdiri dari dua tipe, yaitu mesin *upwind* dan mesin *downwind*.

- a) Mesin *upwind*: rotor berhadapan dengan angin. Rotor didesain tidak fleksibel, dan diperlukan mekanisme *yaw* untuk menjaga rotor agar tetap berhadapan dengan angin.
- b) Mesin *downwind*: rotor ditempatkan di belakang tower. Rotor dapat dibuat lebih fleksibel, tanpa menggunakan mekanisme *yaw*, sehingga mengurangi berat, lebih ringan daripada mesin *upwind*. Kelemahannya adalah bahwa angin harus melewati tower terlebih dulu sebelum sampai pada rotor, sehingga menambah beban (*fatigue load*) pada turbin.

2. VAWT (*Vertical Axis Wind Turbine*)

*Vertical Axis Wind Turbine* memiliki ciri sumbu putar vertikal terhadap tanah. Turbin jenis ini jarang dipakai untuk turbin komersial. Rotornya berputar relatif pelan (di bawah 100 rpm), tetapi memiliki momen gaya yang kuat, sehingga dapat dipakai untuk menggiling biji bijian, pompa air, tetapi tidak cocok untuk menghasilkan listrik (di atas 1000 rpm cocok untuk menghasilkan listrik). Sebenarnya dapat dipakai *gearbox* untuk menaikkan kecepatan putarnya, tetapi efisiensinya turun dan mesin sulit untuk dimulai. VAWT terdiri dari dua tipe, yaitu:

a) Tipe dorong

Terjadi bila  $TSR < 1$  artinya lebih banyak bagian *blade* yang mengalami gaya dorong, Seperti pada mangkuk anemometer. Memiliki bentuk yang bervariasi, seperti ember, dayung, layar, tangki. Rotornya berbentuk S (bila dilihat dari atas). Kecepatan maksimum *blade* yang dihasilkan hampir sama dengan kecepatan angin. Ujung *blade* tidak pernah bergerak lebih cepat daripada kecepatan angin. Turbin jenis ini memiliki efisiensi daya yang rendah.

b) Tipe angkat

Terjadi bila  $TSR > 1$  artinya lebih banyak bagian *blade* yang mengalami gaya angkat, Seperti pada turbin Darrius. Masing-masing *blade* memperlihatkan momen gaya angkat maksimum hanya dua kali setiap putaran dan daya keluarannya berbentuk sinusoida. Ukuran *blade* relatif besar dan tinggi, sehingga menimbulkan getaran. Biasanya memakai dua atau tiga blade. Turbin jenis ini menghasilkan lebih banyak daya output dan memiliki efisien tinggi.



Gambar 2.1 Contoh Kincir Angin

### 2.2.5 Bahan Blade

Bahan *blade* yang dipilih harus memenuhi aspek fisis yang meliputi kekuatan, elastisitas, dan ketahanan. Desain *blade* harus memperhatikan pula kejadian mendadak seperti kemungkinan adanya angin topan. Bahan *blade* yang biasa dipilih umumnya relatif ringan seperti kayu (murah, tapi tidak tahan lama), tetapi lebih diutamakan yang terbuat dari bahan komposit GRP (*glass-reinforced plastics*) seperti vinilester dan epoksi, karena memiliki aspek fisis yang handal walaupun lebih mahal. Bahan logam tidak pernah dipakai karena terlalu berat dan mudah mengalami deformasi. *Blade* dengan diameter sekitar 25 m, bila memakai bahan dari komposit kayu-epoksi memiliki berat sekitar 500 kg, untuk bahan GRP sekitar 700 kg, untuk bahan logam sekitar 1700 kg. *Blade* yang sangat berat akan menjadi kendala yang besar pada desain turbin, sehingga perlu dicari alternatif lain misalnya fiber karbon. Bahan komposit Kevlar dan titanium telah diusulkan dan terbukti lebih handal dan ringan, tetapi jauh lebih mahal.

#### 2.5.1 Konsep Jumlah *Blade*

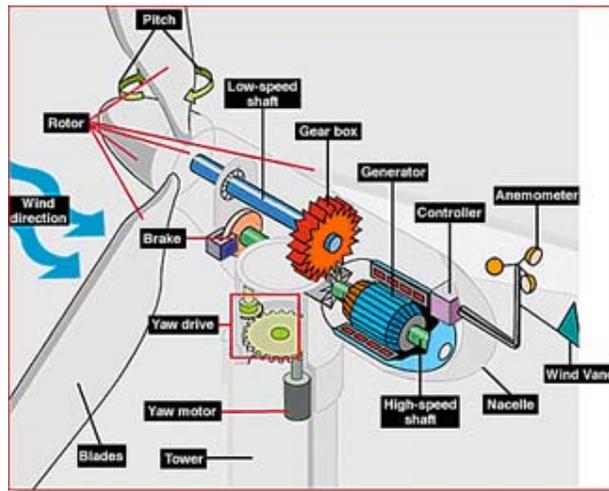
Jumlah *blade* pada rotor turbin angin bervariasi, dan tidak ada tinjauan teoritis yang benar sebagai konsep terbaik, tetapi lebih ditentukan oleh jenis penggunaannya, misalnya untuk pembangkit listrik atau pompa air, serta kecepatan angin saat rotor mulai berputar.

- a. Konsep satu *blade*, sulit setimbang, membutuhkan angin yang sangat kencang untuk menghasilkan gaya angkat memutar, dan menghasilkan *noise* di ujungnya. Konsep ini telah dikembangkan sukses di Jerman.
- b. Konsep dua *blade*, mudah untuk setimbang, tetapi kesetimbangannya masih mudah bergeser. Desain *blade* harus memiliki kelengkungan yang tajam untuk dapat menangkap energi angin secara efektif, tetapi pada kecepatan angin rendah (sekitar 3 m/s) putarannya sulit dimulai.
- c. Konsep tiga *blade*, lebih setimbang dan kelengkungan *blade* lebih halus untuk dapat menangkap energi angin secara efektif. Konsep ini paling sering dipakai pada turbin komersial.
- d. Konsep multi *blade* (misalnya 12 *blade*), justru memiliki efisiensi rendah, tetapi dapat menghasilkan momen gaya awal yang cukup besar untuk mulai berputar, cocok untuk kecepatan angin rendah. Memiliki profil *blade* yang tipis, kecil, kelengkungan halus, dan konstruksi yang solid. Konsep ini banyak dijumpai pada turbin angin untuk keperluan memompa air, menggiling biji-bijian, karena murah dan mampu bekerja pada kecepatan angin rendah sehingga tower tidak perlu terlalu tinggi dan air dapat dipompa secara kontinu.

Konsep dua dan tiga *blade* membutuhkan momen gaya awal yang cukup tinggi untuk mulai proses putaran dan dapat menjadi kendala bila mesin memiliki rasio transmisi gear lebih dari 1:5 pada kecepatan angin rendah. Pada turbin angin skala besar, diperlukan mesin (diesel) untuk memulai berputar (sebagai motor) sampai rotor memiliki daya yang cukup untuk mengimbangi beban mekanik dan beban induksi generator.

#### 2.5.2 Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Angin

- a. **Blades (Bilah Kipas):** Kebanyakan turbin angin mempunyai 2 atau 3 bilah kipas. Angin yang menghembus menyebabkan turbin tersebut berputar.



Gambar 2.2 Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Angin

- b. *Brake* (Rem): Suatu rem cakram yang dapat digerakkan secara mekanis, dengan tenaga listrik atau hidrolik untuk menghentikan rotor atau saat keadaan darurat.
- c. *Controller* (Alat Pengontrol): Alat Pengontrol ini menstart turbin pada kecepatan angin kira-kira 12-25 km/jam, dan mematikannya pada kecepatan 90 km/jam. Turbin tidak beroperasi di atas 90 km/jam, karena angin terlalu kencang dapat merusakkannya.
- d. *Gear box* (Roda Gigi): Roda gigi menaikkan putaran dari 30-60 rpm menjadi kira-kira 1000-1800 rpm yaitu putaran yang biasanya disyaratkan untuk memutar generator listrik.
- e. *Generator*: Generator pembangkit listrik, biasanya sekarang menggunakan alternator arus bolak-balik.
- f. *High-speed shaft* (Poros Putaran Tinggi): Menggerakkan generator.
- g. *Low-speed shaft* (Poros Puutaran Rendah): Poros turbin yang berputar kira-kira 30-60 rpm.
- h. *Nacelle* (Rumah Mesin): Rumah mesin ini terletak di atas menara . Di dalamnya berisi *gear box*, poros putaran tinggi / rendah, generator, alat pengontrol, dan alat pengereman.

- i. *Pitch* (Sudut Bilah Kipas): Bilah kipas bisa diatur sudutnya untuk mengatur kecepatan rotor yang dikehendaki, tergantung angin terlalu rendah atau terlalu kencang.
- j. Rotor: Bilah kipas bersama porosnya dinamakan rotor.
- k. *Tower* (Menara): Menara bisa dibuat dari pipa baja, beton, rangka besi. Karena kencangnya angin bertambah dengan ketinggian, maka makin tinggi menara makin besar tenaga yang didapat.
- l. *Wind direction* (Arah Angin): Gambar 2.2 adalah turbin yang menghadap angin, desain turbin lain ada yang mendapat hembusan angin dari belakang.
- m. *Wind vane* (Tebeng Angin): Mengukur arah angin, berhubungan dengan penggerak arah yang memutar arah turbin disesuaikan dengan arah angin.
- n. *Yaw drive* (Penggerak Arah): Penggerak arah memutar turbin ke arah angin untuk desain turbin yang menghadap angin. Untuk desain turbin yang mendapat hembusan angin dari belakang tak memerlukan alat ini.
- o. *Yaw motor* (Motor Penggerak Arah): Motor listrik yang menggerakkan penggerak arah.

### 2.2.6 Energi Angin

Sebuah turbin angin mendapatkan tenaga masukan dengan cara mengubah gaya angin menjadi torsi (gaya putar) yang beraksi pada sudu rotor. Jumlah energi yang ditransferkan angin ke rotor tergantung pada berat jenis angin, luasan rotor dan kecepatan angin.

Berdasarkan hukum newton II tentang gerak, sebuah benda yang bergerak dengan kecepatan tertentu akan mempunyai energi kinetik sebesar:

$$E_k = 0,5 m V^2 \quad (2.3)$$

Jumlah massa dengan berat jenis  $\rho$  yang melewati suatu alasan A dalam satuan waktu dirumuskan:

$$m = \rho A v \quad (2.4)$$

Persaman 2.3 disubstitusikan persamaan satu didapatkan persamaan 2.4

$$E_k = 0,5 \rho A v^3 \quad (2.5)$$

dengan

$$E_k = \text{daya kinetik angin (watt)}$$

$m$  = massa udara (kg)

$\rho$  = berat jenis udara ( $\text{kg/m}^3$ )

$A$  = luasan udara ( $\text{m}^2$ )

$v$  = kecepatan angin (m/s)

Energi kinetik angin sebanding dengan berat jenis udara (massa per volume). Semakin besar berat jenis udara, makin besar energi yang dikandungnya. Berat jenis udara pada tekanan normal, suhu  $15^\circ\text{C}$  adalah sebesar  $1,225 \text{ kg/m}^3$ . berat jenis dipengaruhi oleh tekanan udara, suhu, kelembaban dan ketinggian. Berat jenis akan turun jika, kelembapan naik, suhu naik, tekanan turun dan semakin tinggi lokasi.

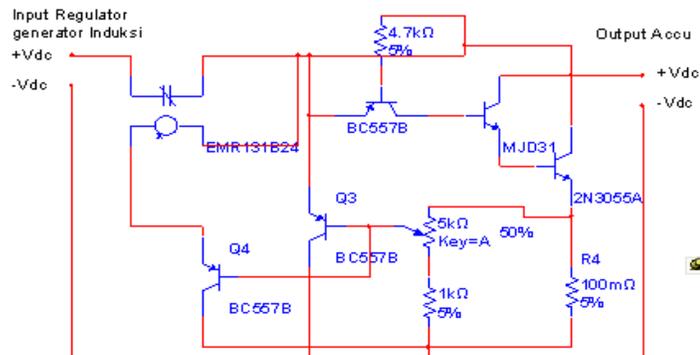
Kecepatan angin merupakan komponen yang sangat menentukan jumlah energi yang dikandung angin. Berdasar persamaan (2.5) dapat dikatakan bahwa besar energi angin yang melewati suatu luasan  $A$  akan sebanding dengan pangkat tiga kecepatan angin ( $\text{m/s}$ )<sup>3</sup>. jika kecepatan angin dikalikan dua, maka energi yang dikandungnya akan menjadi delapan kali energi semula ( $2^3 = 8$ ).

### **2.2.7 Konverter (Pengubah tegangan AC menjadi tegangan DC)**

Konverter merupakan suatu instrumen yang digunakan untuk mengubah sesuatu energi ke bentuk energi lain. konverter pada sistem kelistrikan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya untuk mengubah tegangan dan arus AC menjadi tegangan dan arus DC (biasanya disebut penyearah gelombang). Selain itu digunakan pula sebuah inverter (pembalik) yaitu suatu instrumen untuk mengubah tegangan dan arus DC menjadi tegangan dan arus AC dengan nilai tegangan tertentu dengan frekuensi tertentu. Biasanya tegangan yang dihasilkan sebesar  $220 \text{ Vac}$  dengan frekuensi  $50\text{Hz}$ .

Sumber daya yang dihasilkan generator akan disimpan pada accu dengan tegangan  $12 \text{ V}$  dengan kemampuan  $120 \text{ Ah}$ . Pengisian dilakukan ketika arus pada accu kurang dari nilai tertentu yaitu ketika nilai arus yang dimiliki accu sebesar  $20\text{A}$  dengan asumsi daya yang dimiliki tinggal  $240 \text{ watt}$ . Kemudian secara otomatis relay yang digunakan sebagai saklar akan terpicu dan menghubungkan catu daya Dc dengan accu untuk mengisi accu. Begitu pula sebaliknya jika daya yang

dihasilkan telah lebih dari 240 watt maka accu tidak akan mengisi lagi. Rangkaian pengisi otomatis ditunjukkan pada gambar 2.3



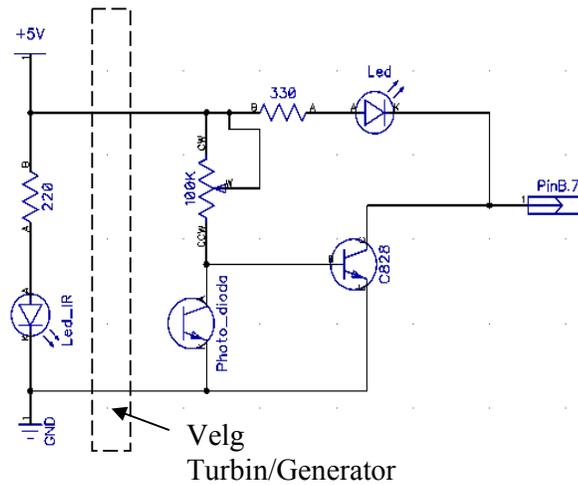
Gambar 2.3 Rangkaian pengisi accu otomatis

### 2.2.8 Mikrokontroler Atmega8535

Konfigurasi pin *ATmega8535* secara fungsional konfigurasi pin *ATmega8535* sebagai berikut:

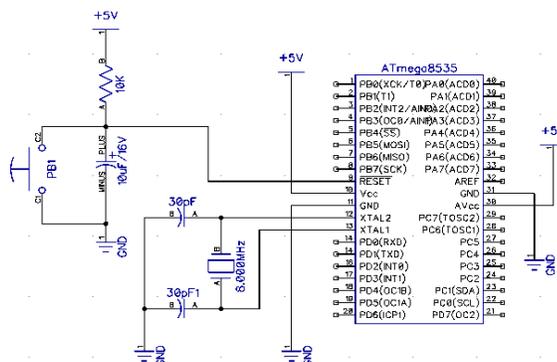
1. VCC merupakan sebagai pin untuk masukan catu daya.
2. GND pin untuk masukan ground.
3. Port A (PA0-PA7) adalah pin I/O dua arah masukan untuk ADC.
4. Port B (PB0-PB7) merupakan pin I/O dua arah dan pin fungsi khusus, yaitu *Timer/Counter*, *comparator analog*, dan SPI.
5. Port C (PC0-PC7) merupakan pin I/O dua arah dan pin fungsi khusus, yaitu TWI, komparator analog, dan *timer oscillator*.
6. Port D (PD0-PD7) merupakan pin I/O dua arah dan pin fungsi khusus, yaitu *komparator analog*, interupsi eksternal, dan komunikasi serial.
7. *RESET* merupakan pin yang digunakan untuk me-reset.
8. XTAL1 dan XTAL2 merupakan pin masukan clock eksternal.
9. AVCC merupakan pin masukan tegangan untuk ADC.
10. AREF merupakan pin masukan tegangan referensi ADC.

Rangkaian yang dipakai pada RPM Switch di tunjukkan pada gambar 2.4



Gambar 2.4 Rangkaian RPM Switch

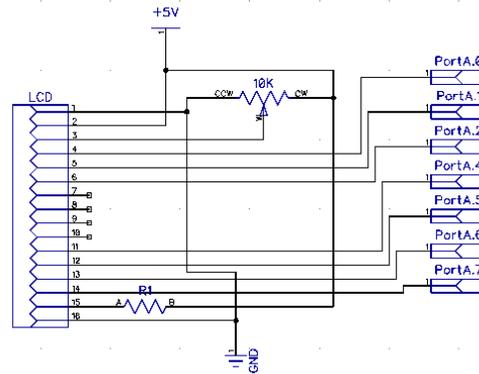
Cara kerja Rangkaian sensor ini adalah dengan memanfaatkan sinar Infra-Red yang di keluarkan dan karena putaran Velg Generator akan menyebabkan Photo Dioda menerima pulsa sinar Infra-Red secara continyu, hasil pulsa tersebut akan mengaktifkan transistor untuk dapat mengalirkan Tegangan berbentuk Pulsa Listrik 5 Volt ke Mikrokontroler. Banyaknya putaran Velg mempengaruhi banyaknya pulsa listrik yang masuk kedalam Mikrokontroler. Mikrokontroler pulsa listrik melalui perhitungan sederhana akan diubah kedalam satuan RPM.



Gambar 2.5 Rangkaian Mikrokontroller ATmega8535

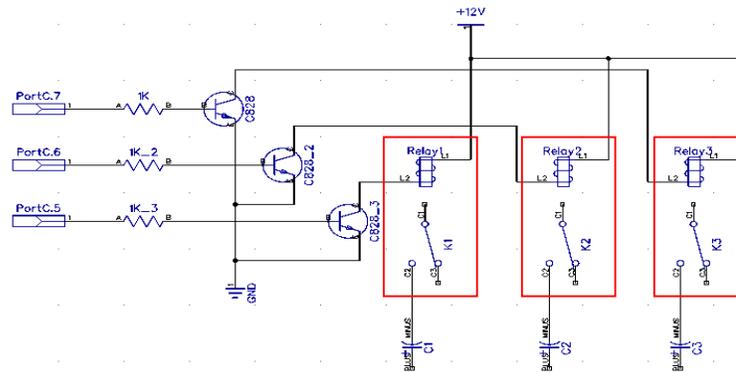
Rangkaian mikrokontroller di tunjukan pada gambar 2.5. IC ATmega8535 di pakai sebagai Otak rangkaian karena mempunyai Clock eksekusi yang sama dengan Frekuensi Cristal(Xtall) yang dipakai berbeda dengan IC AT89x51/2/3

karena mempunyai Clock eksekusi setengah kali Frekuensi Cristal. Semakin cepat eksekusi Program maka Rangkaian dapat bereaksi lebih cepat terhadap perubahan-perubahan singkat yang ditimbulkan oleh sensor.



Ggambar 2.6 Rangkaian LCD

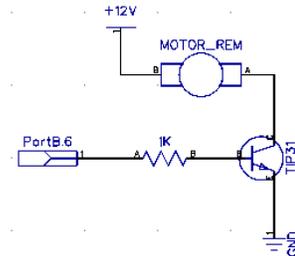
LCD 2x16 dipakai sebagai penampil Hasil eksekusi Program. LCD ini berfungsi untuk mengetahui dan memberikan gambaran setting yang dipakai untuk Mikrokontroler, selain itu LCD ini menampilkan hasil eksekusi Program yang terjadi dikarenakan perubahan-perubahan inputan saat Aplikasi RPM Switch dijalankan.



Gambar 2.7 Rangkaian Relay

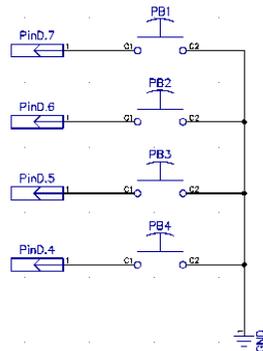
Sistem rangkaian kontrol secara keseluruhan adalah untuk mengganti/memindahkan jumlah nilai kapasitor pada rangkaian generator berdasarkan putaran rotor generator agar generator dapat berfungsi sebagaimana mestinya. Rangkaian ini berguna untuk mengganti (*switching*) nilai kapasitor yang digunakan pada sistem generator. Semakin cepat putaran Velg maka mikro akan

memberikan output yang berbeda untuk masing-masing relay berdasarkan setingan yang kita masukan pada Program mikrokontroler.



Gambar 2.8 Rangkaian Rem Otomatis

Bagian yang berfungsi untuk memberikan pembebanan mekanis pada Velg generator agar dapat mengurangi putaran generator, hal ini dilakukan untuk mengamankan rangkaian agar tidak kelebihan Muatan karena akibat putaran berlebih generator. Bagian ini dikontrol langsung oleh output Mikrokontroler.



Gambar 2.9 Rangkaian Tombol

Tombol berfungsi untuk memasukan inputan kedalam mikrokontoler. Secara umum tombol ini digunakan untuk mengubah nilai variabel-variabel dalam mikro, dan karena variabel disimpan dalam memory EEPROM maka setingan variabel tidak akan hilang meskipun Rangkaian tidak diberi tegangan dari power Supply (dalam posisi OFF).

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN**

Berdasarkan pengamatan dalam penelitian yang sudah dilakukan efisiensi tertinggi sebesar 1,7% yaitu pengujian tanggal 25 September 2010 dan efisiensi terendah sebesar 1,07% yaitu pengujian tanggal 24 September 2010. hal ini disebabkan rata-rata kecepatan angin yang ada rendah sehingga tidak mampu menggerakkan rotor generator induksi secara optimal (masih dibawah nameplat yaitu 1500 rpm), hal ini mengakibatkan tegangan yang dihasilkan rendah dan hasil akhir berupa daya output juga rendah.

**BAB V**  
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**5.1 Hasil Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Angin**

Data penelitian berdasarkan pada hasil pengujian Turbin angin dengan menggunakan generator induksi pada tanggal 21, 23, 24, 25, 27 September 2010 dapat dilihat pada tabel 5.1; 5,2; 5,3; 5,4 dan table 5.5

Tabel 5.1 Data pengujian tanggal 21 September 2010 (jam 09.00 – 17.00)

No	Range Waktu	Tegangan DC (Volt)	Arus (A)	Daya Output (W)	Kecepatan Angin (m/s)	Rpm GI
1	09.00-09.30	10.2	1.8	18.36	3.2	1136
2	09.30-10.00	9.8	1.6	15.68	3	1112
3	10.30-10.30	9.9	1.6	15.84	3	1120
4	10.30-11.00	10.3	1.9	19.57	3.3	1144
5	11.00-11.30	10.8	2.2	23.76	3.6	1192
6	11.30-14.00	11.2	2.9	32.48	3.9	1224
7	14.00-14.30	11.1	2.8	31.08	3.7	1208
8	14.30-15.00	10.9	2.3	25.07	3.4	1144
9	15.30-16.00	0	0	0	1.9	0
10	16.00-16.30	0	0	0	1.7	0
11	16.30-17.00	10.3	2	20.6	3.4	1152

Tabel 5.2 Data pengujian tanggal 23 September 2010 (jam 09.00 – 17.00)

No	Range Waktu	Tegangan DC (Volt)	Arus (A)	Daya Output (W)	Kecepatan Angin (m/s)	Rpm GI
1	09.00-09.30	9.9	1.7	16.83	3.1	1120
2	09.30-10.00	10	1.7	17	3.1	1120
3	10.30-10.30	10.4	2	20.8	3.3	1144

No	Range Waktu	Tegangan DC (Volt)	Arus (A)	Daya Output (W)	Kecepatan Angin (m/s)	Rpm GI
4	10.30-11.00	10.6	2.1	22.26	3.5	1176
5	11.00-11.30	11.2	2.8	31.36	3.9	1224
6	11.30-14.00	11.4	2.9	33.06	4	1240
7	14.00-14.30	10.9	2.6	28.34	3.6	1200
8	14.30-15.00	10.2	1.8	18.36	3.1	1128
9	15.30-16.00	9.7	1.5	14.55	2.9	1104
10	16.00-16.30	0	0	0	2	0
11	16.30-17.00	0	0	0	1.8	0

Tabel 5.3 Data pengujian tanggal 24 September 2010 (jam 09.00 – 17.00)

No	Range Waktu	Tegangan DC (Volt)	Arus (A)	Daya Output (W)	Kecepatan Angin (m/s)	Rpm GI
1	09.00-09.30	9.9	1.7	16.83	3.1	1120
2	09.30-10.00	0	0	0	1.7	0
3	10.30-10.30	0	0	0	1.7	0
4	10.30-11.00	10.1	1.8	18.18	3.1	1128
5	11.00-11.30	10.5	2	21	3.4	1168
6	11.30-14.00	10.5	2	21	3.4	1168
7	14.00-14.30	10.8	2.5	27	3.5	1184
8	14.30-15.00	0	0	0	1.6	0
9	15.30-16.00	9.5	0.9	8.55	2.8	920
10	16.00-16.30	0	0	0	2	0
11	16.30-17.00	0	0	0	1.8	0

Tabel 5.4 Data pengujian tanggal 25 September 2010 (jam 09.00 – 17.00)

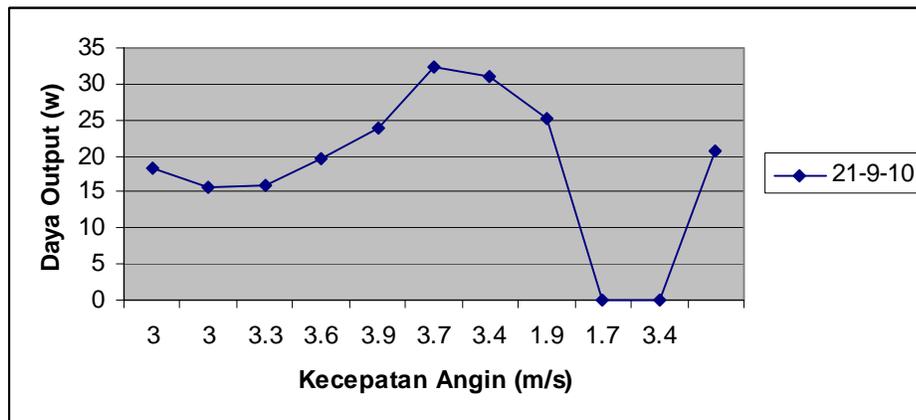
No	Range Waktu	Tegangan DC (Volt)	Arus (A)	Daya Output (W)	Kecepatan Angin (m/s)	Rpm GI
1	09.00-09.30	12	3.1	37.2	4.1	1296
2	09.30-10.00	12.1	3.3	39.93	4.3	1328
3	10.30-10.30	10.5	2	21	3.3	1168
4	10.30-11.00	10.4	2	20.8	3.2	1160
5	11.00-11.30	11.3	2.9	32.77	3.9	1232
6	11.30-14.00	11.4	2.9	33.06	4	1240
7	14.00-14.30	10.8	2.6	28.08	3.5	1192
8	14.30-15.00	10.1	1.8	18.18	3.1	1128
9	15.30-16.00	9.8	1.5	14.7	2.9	1104
10	16.00-16.30	10	1.7	17	3	1120
11	16.30-17.00	10.2	1.9	19.38	3.2	1136

Tabel 5.5 Data pengujian tanggal 27 September 2010 (jam 09.00 – 17.00)

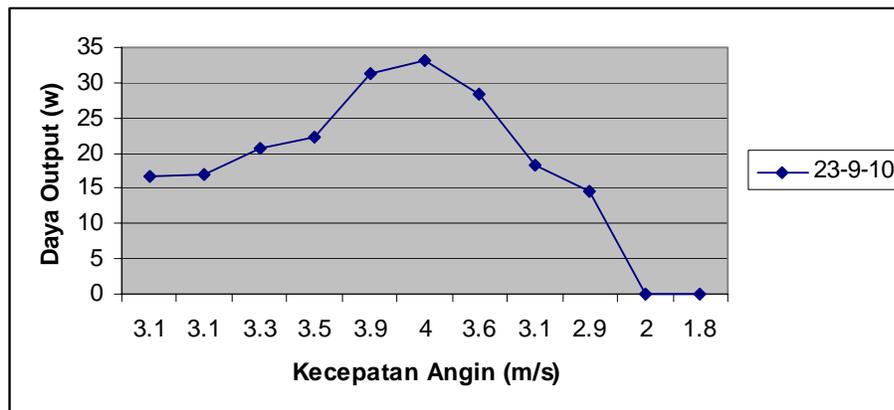
No	Range Waktu	Tegangan DC (Volt)	Arus (A)	Daya Output (W)	Kecepatan Angin (m/s)	Rpm GI
1	09.00-09.30	10.3	1.9	19.57	3	1144
2	09.30-10.00	10	1.7	17	3.1	1120
3	10.30-10.30	10.4	2	20.8	3.3	1144
4	10.30-11.00	10.5	2	21	3.2	1160
5	11.00-11.30	11.2	2.8	31.36	3.9	1224
6	11.30-14.00	11.4	2.9	33.06	4	1240
7	14.00-14.30	10.9	2.6	28.34	3.6	1200
8	14.30-15.00	10.2	1.8	18.36	3.1	1128
9	15.30-16.00	9.7	1.5	14.55	2.9	1104
10	16.00-16.30	11.2	2.8	31.36	3.8	1224
11	16.30-17.00	11.3	2.9	32.77	3.9	1240

## 5.2 Analisa Data Hasil Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Angin

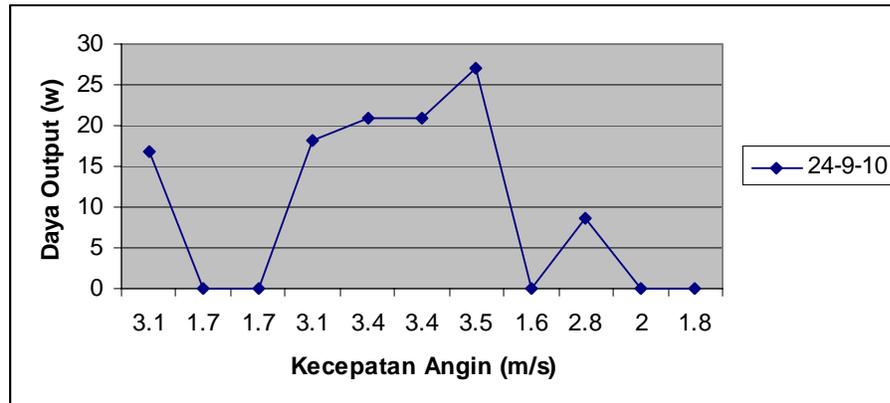
Pada tanggal 22 dan 26 terjadi hujan pada pagi sampai siang hari sehingga tidak dilakukan pengujian. Pada tabel tegangan, arus dan rpm bernilai nol (0) karena tidak terjadi perputaran pada Generator Induksi (kecepatan angin tidak mengakibatkan berputarnya kincir angin sebagai prime mover). Hasil penelitian (hubungan antara kecepatan angin terhadap daya output generator induksi) secara detail ditunjukkan oleh grafik pada gambar 5.1



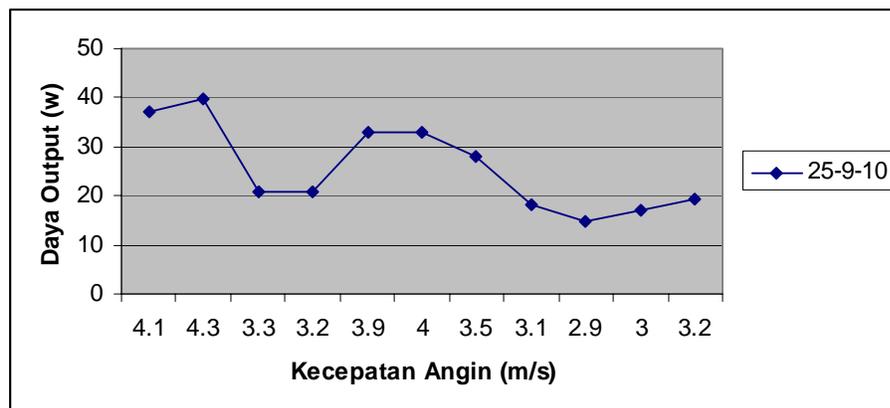
(a)



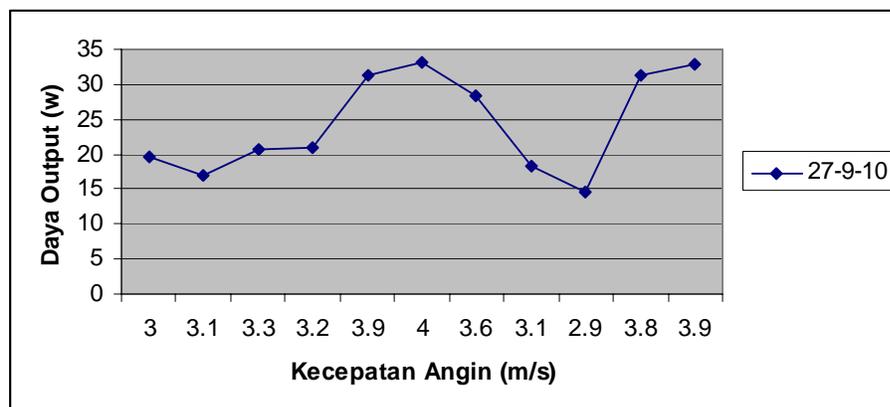
(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar 5.1 (a, b, c, d, dan e) Hubungan antara Kecepatan Angin dengan Daya Output Generator Induksi

Pada gambar 5.1 (a, b, c, d, dan e) menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan angin maka daya output generator induksi akan semakin tinggi, hal ini terjadi karena tingginya kecepatan angin mengakibatkan semakin besar gaya yang menerpa permukaan kincir angin, akibat gaya tersebut maka kincir angin akan semakin meningkat, meningkatnya putaran kincir angin diikuti kenaikan rpm generator induksi sebesar 8 kali (sesuai dengan perbandingan gear box) sehingga mengakibatkan daya output semakin besar. Daya output terbesar adalah 39,93 watt pada kecepatan angin 4,3 (m/s) terjadi pada tanggal 25 September 2010, efisiensi pembangkit tertinggi pada tanggal 25 september yaitu 1,7% dan terendah pada tanggal 24 September yaitu 1,07% . Efisiensi pengujian secara detail ditunjukkan pada tabel 5.6.

Tabel 5.6 Efisiensi pengujian sistem pembangkit listrik tenaga angin

No	Pelaksanaan Pengujian	Jumlah data (n)	Daya total (w)	Daya Rata-rata (w)	Efisiensi (%)
1	21-9-10	9	202.44	22.49	1.49
2	23-9-10	9	202.56	22.5	1.5
3	24-9-10	7	112.56	16.08	1.07
4	25-9-10	11	282.1	25.64	1.7
5	27-9-10	11	268.17	24.37	1.6

Contoh perhitungan efisiensi dari data pengujian tanggal 27 September 2010 sesuai dengan persamaan 5.1 dan persamaan 5.2

$$\text{Daya output rata} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{n} \dots\dots\dots (5.1)$$

dengan n = jumlah banyaknya data P

$$\begin{aligned} \text{Daya Output rata - rata} &= \frac{268.17}{11} \\ &= 24,38 \text{ watt} \end{aligned}$$

$$\text{Efisiensi} = \frac{P_{\text{output}}}{P_{\text{input}}} \times 100\% \dots\dots\dots (5.2)$$

dengan  $P_{\text{input}}$  = Daya input (watt),

$P_{output}$  = Daya output (watt)

Sehingga tingkat efisiensi dapat dianalisa

$$\text{Efisiensi} = \frac{P_{output}}{P_{input}} \times 100\%$$

$$= \frac{24,38}{1500} \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi} = 1,6\%$$

Generator induksi yang digunakan berkapasitas 1500 watt.

## **BAB IV**

### **METODE PENELITIAN**

Pengujian dilakukan secara langsung (pada lokasi) di daerah pantai kabupaten Jepara, dari penelitian yang dilakukan ada beberapa kendala yaitu masih seringnya terjadi hujan dan tingkat kecepatan angin pada saat pengujian (bulan agustus 2010) sangat berbeda pada saat pengambilan sampel tahun pertama dan pada saat sebelum dipasang. Pada saat pengujian kecepatan angin hanya berkisar 2-3 m/detik.

#### **4.1 Waktu dan Tempat**

Penelitian ini telah dilaksanakan di daerah pantai kabupaten Jepara (Desa Mbulak Baru), dengan waktu pelaksanaan sekitar 8 bulan termasuk persiapan perancangan dan pembuatan mekanisnya.

#### **4.2 Bahan dan Alat Penelitian**

Bahan-bahan yang digunakan untuk mendukung penelitian ini adalah :

1. Motor induksi 3 fase sangkar tupai.  
Tegangan : 220/380 V  
Daya : 2 HP  
Frekuensi : 50 Hz
2. Kapasitor untuk eksitasi dan kompensasi  
Jumlah : 6 buah  
Kapasitas : 3 buah 12  $\mu$ F dan 3 buah 30  $\mu$ F, 450 V
3. Besi dengan diameter 40 cm dengan panjang 3 m dan besi dengan diameter 30 cm dengan panjang 4 m (agar tinggi tiang bisa bervariasi).
4. 3 buah lempeng besi yang digunakan sebagai kincir (*blade*) dengan panjang 2 m (diameter lingkaran kincir angin keseluruhan adalah 4 m)

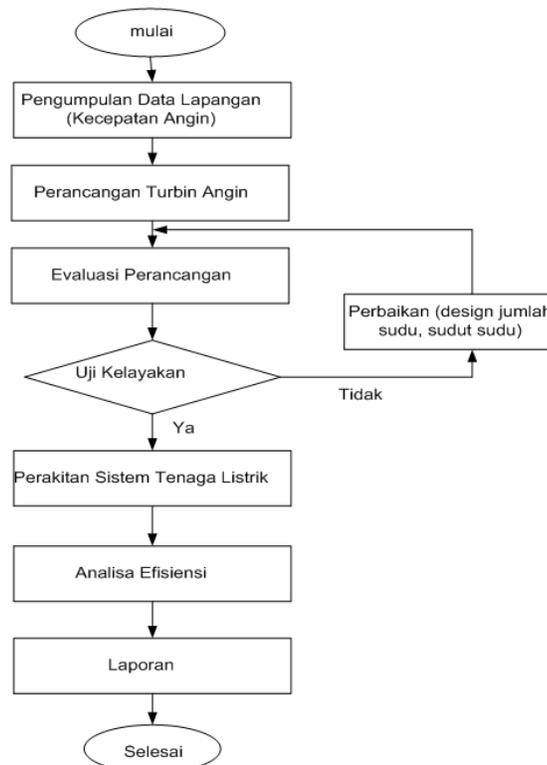
Peralatan penunjang yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Multimeter digital untuk mengukur tegangan, 0 – 1500 V, 50 Hz
2. Amperemeter digital untuk mengukur arus, 0 – 30 A, AC/ DC
3. Accu Yuasa dengan kapasitas 120 Ah sebagai *storage*

4. Mikrokontroler ATMEGA8535 (pengendali rem otomatis dan pengaturan kapasitas kapasitor secara otomatis berdasarkan Rpm GI)
5. Konverter (mengubah tegangan AC dari GI ke tegangan DC untuk proses pengisian Accu)
6. Inverter (mengubah tegangan DC dari Accu ke tegangan AC guna penyediaan sumber untuk beban AC)
7. Anemometer untuk mengukur kecepatan angin

### 4.3 Perlakuan dan Rancangan Percobaan

Perancangan sistem pembangkit listrik tenaga angin diawali dengan pengukuran potensi angin, penentuan jumlah dan panjang kincir, tinggi tiang, dan panjang ekor serta pengaturan pada posisi bagian pembangkit bisa berputar  $360^0$  secara mudah (tidak mengganggu konduktor atau kabel). Diagram alir penelitian ditunjukkan pada gambar 4.1, hasil rancangan ditunjukkan pada gambar 4.2, dan rangkaian gear box ditunjukkan pada gambar 4.3.



Gambar 4.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 4.2 Rancangan pembangkit listrik tenaga angin



Gambar 4.3 Rangkaian Gear Box

## **BAB III**

### **TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN**

#### **3.1 Tujuan Khusus**

Tujuan utama dari penelitian ini adalah:

- a. Mengetahui besarnya energi listrik yang dihasilkan oleh seperangkat pembangkit listrik tenaga angin dengan memanfaatkan generator induksi
- b. Adanya keterkaitan atau hubungan antara kecepatan angin dengan daya output pada pembangkit listrik tenaga angin yang telah dirancang

Untuk mencapai tujuan utama tersebut, maka detail tujuan penelitian secara khusus di tahun kedua adalah :

- a. Mengimplementasikan hasil rancangan pada lokasi (mencari data yang terkait)
- b. Menganalisis hubungan kecepatan angin dengan daya output pembangkit listrik tenaga angin hasil rancangan

Sedangkan tujuan khusus di tahun kedua adalah :

- a. Pemasangan pembangkit listrik tenaga angin di desa Mbulak baru kabupaten Jepara
- b. Mengkaji efisiensi pembangkit listrik tenaga angin secara nyata.

#### **3.2 Manfaat Penelitian**

Penelitian menjadi penting disaat naiknya harga minyak dunia dan semakin defisit energi listrik yang memaksa pihak PLN melakukan pemadaman bergilir.

Penelitian ini memiliki makna penting karena dengan keberhasilan penelitian ini, maka dapat mengurangi jumlah permintaan energi oleh masyarakat serta sebagai energi alternatif yang ramah lingkungan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdulkadir, 1986, *Mesin Tak Serempak*, Penerbit Djambatan, Jakarta
- Amirullah, M, 2000, *Pengaruh Pemasangan Kapasitor pada Untai Belitan tator terhadap Unjuk Kerja Motor Induksi 3 Fase Sangkar Tupai*, skripsi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Anthony, Z, 2001, *Kinerja Pengoperasian Motor Induksi 3 Fase pada Sistem 1 Fase dengan Menggunakan Kapasitor*, Tesis, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Berahim, H, 1994, *Pengantar Teknik Tenaga Listrik*, Andi Offset, Yogyakarta
- Berahim, H, 1997, *Pengaruh Aspek Ratio pda Perancangan Motor Induksi*, Tesis, Gadjah Mada, Yogyakarta
- Chapallaz, J.M. 1992, *Manual on induction Motors Used as Generators*, Deutches Zentrum fur Entwicklungstechnologien- GATEm Braunschweig, Germany
- Fitzgerald, 1997, *Mesin-mesin Listrik*, alih bahasa oleh Djoko Achyanto, penerbit Erlangga, Surabaya
- Ginting, Dines., 1990, *Pengkajian Energi Listrik Yang Dihasilkan Turbin Angin 200 W Untuk Penggunaan Pada Rumah Tangga di Pedesaan*, Warta LAPAN No. 32/33
- Hanselman, D, 2002, *MATLAB BahasaKomputasi Teknis*, Pearson educaation Asia Ltd, andi Offset, Yogyakarta
- Himran, Syukri., 2001, *Utilization of Wind Energy*, CIRERD 2001, Denpasar Bali
- Ojo, O.; Bhat, I., 1995, *An analysis of single-fase self-excited induction generators: model development and steady-state calculations*, IEEE Transactions on Energy Conversion
- Ojo, O.; Omozusi, O., 2001, *Parameter estimation of single-fase induction machines*, IEEE Industry Applications Conference
- Perdana, IK, 2004, *Penggunaan Kapasitor untuk Perbaikan Unjuk Kerja Motor Induksi Sebagai Generator*, Tesis, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Soeripan, 1990, *Uji Coba Pemanfaatan Sistem Konversi Angin Untuk Pengairan Sawah di Desa Tenjoayu Wilayah Koperasi Unit Desa Tirtayasa Timur Kabupaten Serang Jawa Barat*, Majalah LAPAN NO. 60/61

Sugiarmadji, Djojodihardjo, Harijono., 1990, *Perancangan Kincir Angin Sudu Majemuk Untuk Pemompaan Air/Pertanian Jenis EN-SM-03*, Pustegan LAPAN, Jakarta

Tumiran, 2002, *Kualitas Energi Listrik Menyongsong Pembahasan RUU Ketenagalistrikan*, Majalah Energi, Edisi 16 (Juni-Agustus 2002), Pusat Studi Energi UGM, Yogyakarta

[www.eng-tips.com](http://www.eng-tips.com)

[www.wind-power.org](http://www.wind-power.org)

Zuhal,1988, *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*, Gramedia, Jakarta