



**DESAIN *BLADE ANGLE PITCH CONTROL* PADA TURBIN
ANGIN TIPE *PROPELLER* MENGGUNAKAN *FUZZY
LOGIC CONTROLLER* DI PANTAI
PANCER PUGER JEMBER**

SKRIPSI

Oleh:

Harun Ismail

NIM 111910201023

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2016**



**DESAIN *BLADE ANGLE PITCH CONTROL* PADA TURBIN
ANGIN TIPE *PROPELLER* MENGGUNAKAN *FUZZY
LOGIC CONTROLLER* DI PANTAI
PANCER PUGER JEMBER**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi S1 Teknik Elektro
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh:

Harun Ismail

NIM 111910201023

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2016**

PERSEMBAHAN

Saya persembahkan skripsi ini kepada:

1. Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang.
2. Kedua orang tua, Bapak Sawi dan Ibu Saudah tercinta yang telah memberikan doa, kasih sayang, semangat, dan pengorbanan selama ini.
3. Keluarga tercinta nenek Tasmi, kakak Kusnadi, kakak ipar Susiati, keponakan Novita Lailatul Musyarofah dan Via Melinda.
4. Keluarga pondok pesantren Al-mustaqimiyah Lumajang, terutama Gus Fatah, Ibu Bibi, KH. Ali Mahrus, Ibu Khayyin, Gus Wi, Neng Kiki, Gus Farich, Neng Titin, Kakak Valin, Kakak Sabiq, Kakak Najih, Kakak Maiz, Kakak Vina, dan Kakak Muhammad yang telah membantu saya ketika masa-masa sulit.
5. Dosen pembimbing utama Bapak Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T. dan dosen pembimbing akademik Bapak Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T. yang telah sabar mendidik dan membimbing selama proses skripsi berlangsung.
6. Seluruh dosen Teknik Elektro Universitas Jember yang telah memberikan banyak ilmu dan pengalaman dengan baik.
7. Guru-guru TK Ma'arif NU Banjarwaru, MI Islam Fitriyah Banjarwaru, SMPN 5 Lumajang, dan SMAN 1 Lumajang. Terima kasih atas ilmu dan pengalaman yang telah diajarkan.
8. Keluarga besar Paguyuban Mahasiswa Bidikmisi (Pamadiksi) Universitas Jember yang telah memberikan semangat dan pengalaman.
9. Almamater tercinta Teknik Elektro Universitas Jember.
10. Bangsa dan negara Indonesia tercinta.

MOTTO

Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman diantara kamu dan orang-orang yang berilmu beberapa derajat. Dan Allah maha mengetahui apa yang kamu kerjakan.

(terjemahan Q.S. *Al-mujadalah* ayat 11)ⁱ⁾

Ilmu pengetahuan itu pahit pada awalnya, tetapi manis melebihi madu pada akhirnya.ⁱⁱ⁾

Semakin banyak saya membaca, semakin banyak saya mendapatkan ilmu, semakin yakin bahwa saya tidak mengetahui apa-apa.ⁱⁱⁱ⁾

ⁱ⁾ Departemen Agama Republik Indonesia. 1998. *Al-Quran dan Terjemahannya*. Semarang: PT. Kumadasmoro Grafindo.

ⁱⁱ⁾ Rais, H. S. Dan Almahendra, R. 2013. *99 Cahaya di Langit Eropa: Perjalanan Menapak Jejak Islam di Eropa*. Jakarta: P.T. Gramedia Pustaka Utama.

ⁱⁱⁱ⁾ Juliot, A. 1982. *Candide, Un Roman Philosophique” in Analyses et Reflexions Sur “Candied” de Voltaire*. Paris: Edition Marketing.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Harun Ismail

NIM : 111910201023

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul ”Desain *Blade Angle Pitch Control* Pada Turbin Angin Tipe Propeller Menggunakan *Fuzzy Logic Controller* di Pantai Pancer Puger Jember” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab penuh atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 23 Mei 2016

Yang menyatakan,

Harun Ismail

NIM 111910201023

SKRIPSI

**DESAIN *BLADE ANGLE PITCH CONTROL* PADA TURBIN ANGIN TIPE
PROPELLER MENGGUNAKAN *FUZZY LOGIC CONTROLLER*
DI PANTAI PANCER PUGER JEMBER**

Oleh

Harun Ismail
NIM 111910201023

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Desain *Blade Angle Pitch Control* Pada Turbin Angin Tipe *Propeller* Menggunakan *Fuzzy Logic Controller* di Pantai Pancer Puger Jember” Telah diuji dan disahkan pada :

Hari : Senin

Tanggal : 23 Mei 2016

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Anggota,

Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.
NIP 19700826 199702 1 001

Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T.
NIP 19700404 199601 1 001

Penguji I,

Penguji II,

Ir. Widyono Hadi, M.T.
NIP 19610414 198902 1 001

Dr. Ir. Bambang Sujanarko, S.T., M.T.
NIP 19631201 199402 1 002

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah M.U.M
NIP 19661215 199503 2 001

Desain *Blade Angle Pitch Control* Pada Turbin Angin Tipe *Propeller*

Menggunakan *Fuzzy Logic Controller* di Pantai

Pancer Puger Jember

Harun Ismail

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRAK

Angin merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang bebas diperoleh dan dimanfaatkan, akan tetapi kecepatan angin yang fluktuatif menjadi kendala tersendiri bagi turbin angin konvensional yang mengakibatkan daya listrik yang dihasilkan melebihi batas optimum dari spesifikasi turbin angin yang ada sehingga turbin angin mudah rusak. Oleh sebab itu diperlukan sebuah kontrol untuk mengatasi masalah tersebut, yaitu *blade angle pitch control* dengan menggunakan *fuzzy logic controller* pada turbin angin *propeller*. Kontrol ini menggunakan masukan kecepatan angin (m/s), kecepatan rotor dari generator (pu), dan keluaran *pitch angle* yang selanjutnya dijadikan acuan menentukan kontrol daya listriknya. Data kecepatan angin berasal dari penelitian di daerah Pantai Pancer Puger Jember dimana diperoleh data kecepatan angin 0-10.05 m/s. *Membership function* kecepatan angin dibagi menjadi rendah tipe *trapmf* [0 0 2.5 4], sedang tipe *trimf* [2.5 4.5 7], dan tinggi tipe *trapmf* [5 7.5 11 11]. *Membership function* kecepatan rotor dibagi menjadi pelan tipe *trapmf* [0 0 0.4 0.5], normal tipe *trimf* [0.4 0.5 0.8], dan kencang tipe *trapmf* [0.7 0.9 1 1]. *Membership function pitch angle* dibagi menjadi buruk tipe *trimf* [0 0 1.9] dan baik tipe *trimf* [1.8 3 3]. Pengontrolan menggunakan *fuzzy logic* menunjukkan hasil lebih bagus dari pada tanpa kontrol. Daya listrik tanpa kontrol dan menggunakan kontrol setiap ketinggian berturut-turut 400 W dan 6418 W, 60.9 KW dan 106.7 KW, 236.6 KW dan 249.4 KW dalam satu bulan. Nilai daya listrik sudah konstan 2000 W ketika kecepatan angin sudah diatas V_{rate} misal 10.05 m/s dengan *pitch angle* 2 degree. Padahal apabila tanpa dilakukan kontrol dayanya bisa diatas ambang turbin angin yaitu 2450 W. Hal ini jelas membahayakan apabila turbin angin bekerja tanpa kontrol.

Kata kunci: *blade angle pitch control, daya listrik, fuzzy logic controller, kecepatan angin.*

Design of Blade Angle Pitch Control of Propeller Wind Turbine Using Fuzzy Logic Controller in Pancer Beach Puger Jember

Harun Ismail

*Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,
University of Jember*

ABSTRACT

Wind is one of renewable energy source that free to get and use it. But, wind speed is fluctuating, so this condition becomes problem for conventional wind turbine. It is can effect of electrical power over of optimum limitation from turbine spesification. So, this is making trubine broken. Because of it, to overcome this problem we need blade angle pitch control using fuzzy logic controller in propeller wind turbine. This control is using input wind speed data (m/s) and rotor speed data of generator (pu). The output is pitch angle wich furthermore become indicator to determine electrical power control. Wind speed data is from research in Pancer Beach Area Puger Jember wich get wind speed data is 0-10 m/s. Membership funtion of wind speed is low with trapmf type [0 0 2.5 4], medium with trimf type [2.5 4.5 7], and high with trapmf type [5 7.5 11 11]. Membership funtion of rotor speed is slow with trapmf type [0 0 0.4 0.5], normal with trimf type [0.4 0.5 0.8], and fast with trapmf type [0.7 0.9 1 1]. Membership funtion of pitch angle is bad with trimf type [0 0 1.9] and good with trimf type [1.8 3 3]. Control use fuzzy logic controller is indicationing result very good better than without control. Electrical power without control and using control each point of high continued 400 W and 6418 W, 60.9 KW and 106.7 KW, 236.6 KW and 249.4 KW in a month. Value of electrical power is already constant 2000W when wind speed over of Vrate like 10.05 m/s with pitch angle 2 degree. Whereas if without control, the value of electrical power can over of value limitation is 2450 W. So, this is very danger if the turbin is doing without control.

Key Words: *blade angle pitch control, electrical power, fuzzy logic controller, wind speed.*

RINGKASAN

Desain Blade Angle Pitch Control Pada Turbin Angin Tipe Propeller Menggunakan Fuzzy Logic Controller di Pantai Pancer Puger Jember; Harun Ismail, 111910201023; 2016; 106 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Berdasarkan BPPT *Outlook Energi Indonesia (2014:75) Projected Utilization of Electricity by Sector* terus mengalami peningkatan. Selama periode 2012-2035 pada skenario dasar, pemanfaatan tenaga listrik total di semua sektor diperkirakan akan terus meningkat secara signifikan hingga lebih dari 5 kali, yaitu akan mencapai 903 TWh pada tahun 2035 atau tumbuh sebesar 7,4% per tahun. Salah satu cara mengatasi masalah energi listrik adalah penggunaan energi terbarukan berupa angin. Namun, PLT Angin yang ada saat ini masih belum menggunakan sistem optimasi turbin untuk menghasilkan energi listrik, terbukti dengan penggunaan turbin angin yang bersifat konvensional artinya tanpa adanya mode kontrol. Padahal mode kontrol sangat penting untuk sistem optimalisasi energi listrik dengan tanpa merusak turbin angin.

Sistem kontrol yang digunakan adalah *angle pitch control*, dimana diharapkan akan menyesuaikan sudut yang tepat agar turbin angin bekerja dengan baik. *Angle pitch control* ini akan menghasilkan vektor gaya *lift* (F_L) dan *drag* (F_D) dengan resultan (F_T). Akibat dari perubahan gaya *lift* dan *drag*, maka kecepatan sudut dan torsi poros akan berubah pula. Perubahan sudut *blade* ini akan mempengaruhi kecepatan sudut (RPM) dari *shaft* karena adanya perubahan jumlah daya tiup angin yang diterima oleh *blade* yang dikonversi menjadi kecepatan putar *shaft*.

Kecepatan angin yang digunakan antara 0-10.05 m/s sesuai dengan data yang diperoleh dari penelitian lapang di pantai Pancer Puger dengan tiga ketinggian yang berbeda. Pada ketinggian yang pertama memiliki kecepatan angin 0 - 6.28 m/s, ketinggian kedua 0 - 7.54 m/s, dan ketinggian ketiga 0 - 10.05 m/s. Data ini akan digunakan dengan menggunakan *fuzzy logic controller* dan tanpa menggunakan *fuzzy logic controller*.

Ketinggian pertama dikelompokkan menjadi *membership function* yaitu rendah 0-4 m/s dan sedang 2.5-7 m/s. Plot kecepatan rendah menggunakan tipe *trapmf* [0 0 2.5 4] dan plot kecepatan sedang menggunakan tipe *trimf* [2.5 4.5 7]. Ketinggian kedua dikelompokkan menjadi *membership function* yaitu rendah 0-4 m/s, sedang 2.5-7m/s, dan tinggi 5-8 m/s. Plot kecepatan angin rendah menggunakan tipe *trapmf* [0 0 2.5 4], plot kecepatan angin sedang menggunakan tipe *trimf* [2.5 4.5 7], dan plot kecepatan angin tinggi menggunakan tipe *trapmf* [5 7.5 8 8]. Ketinggian ketiga dikelompokkan kedalam *membership function* yaitu rendah 0-4 m/s, sedang 2.5-7 m/s, dan tinggi 5-11 m/s. Plot kecepatan angin rendah menggunakan tipe *trapmf* [0 0 2.5 4], plot kecepatan angin sedang menggunakan tipe *trimf* [2.5 4.5 7], dan plot kecepatan angin tinggi menggunakan tipe *trapmf* [5 7.5 11 11].

Nilai *range* kecepatan rotor yang digunakan yaitu antara 0-1. Nilai dari kecepatan rotor yang digunakan pada setiap ketinggian sama. Adapun *membership function plots* yang digunakan pada setiap ketinggian ada tiga yaitu pelan, normal, dan kencang. Plot kecepatan rotor pelan menggunakan *trapmf* [0 0 0.4 0.5]. Plot kecepatan rotor normal menggunakan *trimf* [0.4 0.6 0.8]. Plot kecepatan rotor kencang menggunakan *trapmf* [0.7 0.9 1 1]. Nilai keluaran dari *pitch angle* ini dipengaruhi oleh nilai masukan pengontrolannya yaitu kecepatan angin dan kecepatan rotor. Nilai dari *pitch angle* ini menggunakan *range* antara 0 sampai 3 *degree* (derajat). Hal ini disesuaikan agar nilai dari daya listrik yang dihasilkan tidak melebihi batas ambang dari turbin angin agar aman untuk digunakan. Nilai keluaran *pitch angle* yang digunakan dari setiap ketinggian adalah sama yaitu buruk dengan *trimf* [0 0 1.9] dan baik dengan *trimf* [1.8 3 3].

Pengontrolon menggunakan *fuzzy logic* ini menunjukkan hasil lebih bagus dari pada tanpa kontrol. Daya listrik tanpa kontrol dan menggunakan kontrol setiap ketinggian berturut-turut 400 W dan 6418 W, 60.9 KW dan 106.7 KW, 236.6 KW dan 249.4 KW dalam satu bulan. Nilai daya listrik sudah konstan 2000 W ketika kecepatan angin sudah diatas V_{rate} misal 10.05 m/s dengan *pitch angle* 2 *degree*. Padahal apabila tanpa dilakukan kontrol dayanya bisa diatas ambang turbin angin yaitu 2450 W. Hal ini jelas membahayakan bila tanpa kontrol.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis *Blade Angle Pitch Control* Pada Turbin Angin Tipe Propeller Menggunakan *Fuzzy Logic Controller* di Daerah Pantai Pancer Puger Jember”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program studi strata satu (S1) Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Selama penyusunan skripsi ini penulis mendapat bantuan berbagai pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Entin Hidayah M.U.M selaku dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
2. Bapak Dr. Triwahju Hardianto, ST., M.T., selaku dosen pembimbing utama dan pemberi proyek penelitian.
3. Bapak Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing anggota yang telah rela meluangkan waktu, pikiran serta motivasi dalam penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Ir. Widyono Hadi, M.T. selaku dosen penguji utama dan Bapak Dr. Ir. Bambang Sujanarko, S.T., M.T, selaku dosen penguji anggota yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun sehingga sangat membantu terhadap penyempurnaan skripsi ini.
5. Bapak Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing akademik yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa Teknik Elektro Universitas Jember.
6. Bapak Bambang Supeno, S.T., M.T., selaku Komisi Bimbingan Strata 1 yang telah membantu proses administrasi dalam penyelesaian skripsi ini.
7. Kepada teknisi lab serta asisten lab yang telah memberikan ilmu dan pengalaman yang berharga.
8. Kepada orang tua tercinta Alm. Bapak Sawi dan Almh. Ibu Saudah yang telah memberikan dukungan, baik secara materi maupun moral dalam penyusunan skripsi ini.

9. Keluarga tercinta nenek Tasmi, kakak Kusnadi, kakak ipar Susiati, keponakan Novita Lailatul Musyarofah dan Via Melinda.
10. Keluarga pondok pesantren Al-mustaqimiyah Lumajang, terutama Gus Fatah, Ibu Bibi, KH. Ali Mahrus, Ibu Khayyin, Gus Wi, Neng Kiki, Gus Farich, Neng Titin, Kakak Valin, Kakak Sabiq, Kakak Najih, Kakak Maiz, Kakak Vina, dan Kakak Muhammad yang telah membantu saya ketika masa-masa sulit.
11. Seluruh dosen Teknik Elektro Universitas Jember yang telah memberikan banyak ilmu dan pengalaman dengan baik.
12. Guru-guru TK Ma'arif NU Banjarwaru, MI Islam Fitriyah Banjarwaru, SMPN 5 Lumajang, dan SMAN 1 Lumajang. Terima kasih atas ilmu dan pengalaman yang telah diajarkan.
13. Teman-teman masjid dan kontrakan Moch. Ainur Ridlo, Ahmad Dhaelami, Lilik Dwi Wahyudi, Romadhoni Ibnu Fadhil, Muhamad Naim, Ahmad Najib S., Rizza A., Junaidi, Rahmad Irwanto, Anwar, Taufik, Bagus, dan Mahbub yang telah memberikan semangat untuk menyelesaikan skripsi ini.
14. Teman-teman seperjuangan dan guru-guru asisten laboratorium dasar dan optik Gunawan, M. Abdul Khamid, dan Widya Ika P yang telah memberikan motivasi dan doa untuk terselesaikannya skripsi ini.
15. Guru-guru tercinta Haris Suhud, S.S., dr. Lingga Gihandono, Ahmad Haidar Rusdi, dan Herman Annas, S.P.,
16. Sahabat Mochamad Ubaidillah dan Aziz yang telah memberikan semangat untuk menyelesaikan skripsi ini.
17. Keluarga besar Paguyuban Mahasiswa Bidikmisi (PAMADIKSI) Universitas Jember Nanang, Nazil, Yenny, Herni, Alfian, Rendi, Naim, Gofur, Lutfi, Eko, Robi, Gita, Laras, dan lain-lain.
18. Keluarga besar *University Student English Forum* (USEF) Universitas Jember.
19. Irania Ayunani, S.Ked yang telah memberikan semangat, dukungan, dan doa atas terselesaikannya skripsi ini.

20. Rekan-rekan Fakultas Teknik Universitas Jember khususnya rekan-rekan Teknik Elektro Angkatan 2011 yang tidak dapat disebutkan satu per satu, selama ini telah memberikan pengalaman hidup selama penulis menjadi keluarga Fakultas Teknik Universitas Jember.
21. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah mendukung dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, Mei 2016

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PEMBIMBING	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
ABSTRAK	viii
RINGKASAN	x
PRAKATA	xii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR TABEL	xx
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan dan Manfaat	4
1.4.1 Tujuan.....	4
1.4.2 Manfaat	5
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Proyeksi Kebutuhan dan Penyediaan Energi Listrik	6
2.2 Energi Angin	8
2.3 Potensi Angin	11
2.4 Bagian-bagian PLT Angin	12
2.5 Klasifikasi Turbin Angin	15
2.5.1 <i>Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT)/Propeller</i>	15
2.5.2 <i>Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)</i>	18

2.6 Logika Fuzzy (Fuzzy Logic Controller)	22
2.6.1 Fuzzyfikasi.....	23
2.6.2 Rule Base	24
2.6.3 Logika Pengambilan Keputusan	24
2.7 Prinsip Konversi Energi Angin	25
2.7.1 Teori Momentum Betz	26
2.8 Parameter Dasar Persamaan Konversi Angin.....	28
2.8.1 Daya Total Energi Angin.....	28
2.8.2 Daya Maksimum Energi Angin	29
2.9 Perubahan Arah dan Kecepatan Angin Terhadap Jarak	31
2.10 Pitch Angle.....	33
BAB III. METODE PENELITIAN	35
3.1 Jenis Penelitian.....	35
3.2. Tempat dan Waktu	35
3.3 Pengumpulan Data.....	35
3.3.1 Penelitian Kepustakaan (<i>Library Research</i>).....	35
3.3.2 Penelitian Observasi Langsung (<i>Direction Observation</i>)..	36
3.3.3 Kajian Data Penelitian.....	36
3.4 Pengolahan Data	36
3.5 Metode Analisis dan Sintesis	36
3.5.1 Metode Analisa Deskriptif.....	36
3.5.2 Metode Analisa Komparatif.....	37
3.6 Jadwal Pelaksanaan Penelitian.....	37
3.7 Alat dan Bahan.....	37
3.8 Prosedur Penelitian.....	38
3.8.1 Tahap Persiapan	38
3.8.2 Studi Literatur	38
3.8.3 Pengambilan Data Observasi Langsung.....	38
3.8.4 Analsis Data.....	39
3.8.5 Pengambilan Kesimpulan dan Saran.....	39
3.9 Diagram Alir	40

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1 Data Kecepatan Angin	41
4.2 Simulasi Sistem Tanpa Kontrol	45
4.2.1 Rangkaian Simulasi Sistem	45
4.2.2 Hasil Simulasi Tanpa Kontrol.....	47
4.3 Simulasi Sistem dengan Kontrol <i>Fuzzy Logic</i>	50
4.3.1 <i>Fuzzy Logic Controller (FLC)</i>	50
4.3.2 Hasil Simulasi dengan <i>Fuzzy Logic Controller (FLC)</i>	58
4.4 Perbandingan Hasil Simulasi	61
BAB 5. PENUTUP	72
5.1 Kesimpulan	72
5.2 Saran	73
DAFTAR PUSTAKA	74
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Pemanfaatan Tenaga Listrik Berdasarkan Sektor.....	6
Gambar 2.2 Proyeksi Kapasitas Pembangkit Listrik Nasional.....	7
Gambar 2.3 Sirkulasi Udara di Pantai.....	9
Gambar 2.4 Peta Energi Angin Indonesia.....	12
Gambar 2.5 Bagian-bagian PLT Angin	13
Gambar 2.6 Macam-macam Turbin Angin	15
Gambar 2.7 Tampak Rotor Turbin Angin Ketika Dilalui Aliran Udara	16
Gambar 2.8 Komponen utama turbin angin sumbu horizontal.....	16
Gambar 2.9 Jenis Turbin Angin Berdasarkan Jumlah Sudu	17
Gambar 2.10 Turbin Angin Jenis <i>Upwind</i> dan <i>Downwind</i>	17
Gambar 2.11 Turbin Angin <i>Darrius</i>	19
Gambar 2.12 Turbin Angin <i>Darrius</i> Tipe-H.....	20
Gambar 2.13 Prinsip Rotor <i>Savonius</i>	21
Gambar 2.14 Contoh Fungsi Keanggotaan <i>Fuzzy</i>	23
Gambar 2.15 Pemodelan Betz Untuk Aliran Angin	26
Gambar 2.16 Koefisien Daya C_p Sebagai Fungsi Faktor a	28
Gambar 2.17 Daerah Hembusan Angin.....	29
Gambar 2.18 Diagram Tekanan dan Kecepatan Angin Pada Rotor Turbin	30
Gambar 2.19 Macam-macam <i>Wind Shear</i>	32
Gambar 2.20 <i>Wind Shear</i> Perubahan Kecepatan Angin Terhadap Ketinggian	33
Gambar 2.21 (a) dan (b) detail kontrol <i>pitch angle</i>	35
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian	40
Gambar 4.1 Grafik Kecepatan Angin Ketinggian 7.3 meter	42
Gambar 4.2 Grafik Kecepatan Angin Ketinggian 20.6 meter.....	43
Gambar 4.3 Grafik Kecepatan Angin Ketinggian 43.2 meter.....	44
Gambar 4.4 Gambar Rangkaian Simulasi Tanpa Kontrol.....	46
Gambar 4.5 Hasil Simulasi Tanpa Kontrol Ketinggian 7.3 meter	47
Gambar 4.6 Hasil Simulasi Tanpa Kontrol Ketinggian 20.6 meter	48
Gambar 4.7 Hasil Simulasi Tanpa Kontrol Ketinggian 43.2 meter	49

Gambar 4.8 <i>Fuzzy Logic Controller</i>	50
Gambar 4.9 Kecepatan Angin Fungsi Keanggotaan <i>Fuzzy</i> Ketinggian 7.3 m.....	51
Gambar 4.10 Kecepatan Angin Fungsi Keanggotaan <i>Fuzzy</i> Ketinggian 20.6 m...	51
Gambar 4.11 Kecepatan Angin Fungsi Keanggotaan <i>Fuzzy</i> Ketinggian 43.2 m...	52
Gambar 4.12 Kecepatan Rotor Fungsi Keanggotaan <i>Fuzzy</i> 7.3m, 20.6m, 43.2m.	53
Gambar 4.13 <i>Pitch Angle</i> Fungsi Keanggotaan Ketinggian 7.3m, 20.6m, 43.2m.	53
Gambar 4.14 <i>Rule Fuzzy Logic Controller</i> Ketinggian 7.3m.....	54
Gambar 4.15 <i>Rule Fuzzy Logic Controller</i> Ketinggian 20.6m.....	55
Gambar 4.16 <i>Rule Fuzzy Logic Controller</i> Ketinggian 43.2m.....	55
Gambar 4.17 Rangkaian Simulasi Sistem dengan Kontrol <i>Fuzzy Logic</i>	57
Gambar 4.18 Hasil Simulasi dengan Kontrol Ketinggian 7.3m.....	58
Gambar 4.19 Hasil Simulasi dengan Kontrol Ketinggian 20.6m.....	59
Gambar 4.20 Hasil Simulasi dengan Kontrol Ketinggian 43.2m.....	60
Gambar 4.21 Turbin Angin C-2KW	61
Gambar 4.22 Perbandingan Hasil Simulasi Tanpa Kontrol dan Kontrol <i>Fuzzy Logic</i> Ketinggian 7.3m.....	63
Gambar 4.23 Perbandingan Hasil Simulasi Tanpa Kontrol dan Kontrol <i>Fuzzy Logic</i> Ketinggian 20.6m.....	66
Gambar 4.24 Perbandingan Hasil Simulasi Tanpa Kontrol dan Kontrol <i>Fuzzy Logic</i> Ketinggian 42.3m.....	69

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Klasifikasi Angin.....	10
Tabel 3.1 Data Kecepatan Angin.....	39
Tabel 4.1 Spesifikasi Turbin Angin.....	62
Tabel 4.2 Perbandingan daya listrik, energi listrik, dan presentase ketinggian 7.3 meter	65
Tabel 4.3 Perbandingan daya listrik, energi listrik, dan presentase ketinggian 20.6 meter	68
Tabel 4.5 Perbandingan daya listrik, energi listrik, dan presentase ketinggian 43.2 meter	71

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki banyak penduduk. Jumlah penduduk Indonesia menurut sensus penduduk (BPS, 2010) mencapai 237.641.326 jiwa. Hal ini menjadikan Indonesia sebagai negara dengan penduduk terbesar keempat di dunia. Semua jumlah itu mencakup yang bertempat tinggal di daerah perkotaan sebanyak 118.320.256 jiwa (49,79 persen) dan di daerah perdesaan sebanyak 119.321.070 jiwa (50,21 persen). Penyebaran penduduk menurut pulau-pulau besar adalah pulau Sumatera yang luasnya 25,2 persen dari luas seluruh wilayah Indonesia dihuni oleh 21,3 persen penduduk, Jawa yang luasnya 6,8 persen dihuni oleh 57,5 persen penduduk, Kalimantan yang luasnya 28,5 persen dihuni oleh 5,8 persen penduduk, Sulawesi yang luasnya 9,9 persen dihuni oleh 7,3 persen penduduk, Maluku yang luasnya 4,1 persen dihuni oleh 1,1 persen penduduk, dan Papua yang luasnya 21,8 persen dihuni oleh 1,5 persen penduduk. Jumlah penduduk Indonesia yang begitu tinggi ini banyak yang mengatakan bonus demografi sehingga dapat memberikan keuntungan tersendiri bagi Indonesia kedepannya. Sisi positif diatas memang sangat memberikan keuntungan bagi Indonesia, namun disisi lain Indonesia juga mengalami beberapa masalah akibat adanya pertumbuhan penduduk yang begitu signifikan seperti masalah energi terutama energi listrik.

Menurut BPPT *Outlook Energi Indonesia (2014:75) Projected Utilization of Electricity by Sector* terus mengalami peningkatan. Selama periode 2012-2035 pada skenario dasar, pemanfaatan tenaga listrik total di semua sektor diperkirakan akan terus meningkat secara signifikan hingga lebih dari 5 kali, yaitu akan mencapai 903 TWh pada tahun 2035 atau tumbuh sebesar 7,4% per tahun. Pada skenario tinggi laju pertumbuhannya akan mendekati 9% per tahun atau meningkat 7 kali lipat menjadi 1.229 TWh. Selama periode 2013 – 2035

untuk sektor industri mengalami laju pertumbuhan yang cukup tinggi yaitu sebesar 8,7% per tahun (skenario dasar) dan 10,3% per tahun (skenario tinggi). Pada tahun 2035 diperkirakan sektor industri akan mendominasi pemanfaatan energi listrik, dimana untuk skenario dasar rasio pemanfaatan listrik mencapai 45% dan untuk skenario tinggi mencapai 47%, sedangkan konsumen listrik terkecil adalah sektor transportasi, sekitar 0,1% sampai 0,4% untuk kedua skenario karena hanya digunakan pada angkutan kereta api, khususnya di wilayah Jakarta, Bogor, Depok, Tangerang, dan Bekasi (Jabodetabek). Hal ini menunjukkan bahwa setiap tahun dibutuhkan tambahan pasokan listrik sekitar 5.700 Mega Watt (MW). Diperkirakan hingga tahun 2022 dibutuhkan tambahan pasokan listrik 60 Giga Watt (GW), jaringan transmisi 58 ribu kilo meter sirkit (kms), dan gardu induk 134 ribu Mega Volt Ampere (MVA).

Salah satu cara untuk mengatasi permasalahan kebutuhan listrik diatas adalah dengan pemanfaatan energi terbarukan yaitu angin. Hal ini dikarenakan potensi angin yang cukup besar untuk digunakan sebagai sumber energi listrik dengan menggerakkan *blade* pada kincir angin. Energi angin ini juga akan mudah diperoleh secara gratis, apalagi bentuk dataran Indonesia yang begitu cocok untuk mengembangkan energi listrik dari PLT Angin. Menurut *Blueprint* Pengelolaan Sumber Energi Nasional 2005-2025, potensi energi angin ini cukup besar, dimana mencapai 9,29 GW, sedangkan yang terpasang sampai saat ini hanyalah 0,5 W. Selain itu, PLT Angin yang ada saat ini masih belum menggunakan sistem optimasi untuk menghasilkan energi listrik dari gerakan *blade* yang lebih besar. Indikator keterbatasan pengembangan teknologi turbin angin di Indonesia dapat dilihat pada penggunaan turbin angin yang bersifat konvensional artinya tanpa adanya mode kontrol. Kecepatan putar turbin yang terlalu rendah akan berpengaruh pada putaran generator yang dihasilkan sehingga tidak bisa bekerja secara optimal, akan tetapi kecepatan angin yang terlalu kencang akan berdampak pada *range* kerja putaran turbin melebihi ambang kerja, mengakibatkan kerja generator melebihi kapasitas sehingga berpengaruh pada umur generator. Supaya energi yang dihasilkan oleh turbin

angin tidak merusak generator maka diperlukan suatu kontrol untuk sistem optimasi energinya.

Sistem kontrol yang digunakan disini adalah *angle pitch control*. Sudut atau *angle* yang dimaksud disini adalah bagaimana agar tata letak dari *blade* pada PLT Angin tetap bisa bekerja sesuai kapasitas daya yang dihasilkan rotor. *Blade* ini diharapkan akan menyesuaikan berapa sudut yang tepat agar turbin angin dapat bekerja dengan baik. *Angle pitch control* ini akan menghasilkan vektor gaya *lift* (F_L) dan *drag* (F_D) dengan resultan (F_T). Gaya *lift* dan gaya *drag* ini perubahannya dipengaruhi langsung oleh bentuk geometri *blade*, kecepatan, dan arah angin terhadap garis utama *blade*. Akibat dari perubahan gaya *lift* dan *drag*, maka kecepatan sudut dan torsi poros akan berubah pula. Sistem pengendalian kemiringan sudut adalah salah satu mekanisme kontrol pada turbin angin yang bekerja dengan mengendalikan aerodinamis dari *blade* melalui kontrol kemiringan sudut *blade* terhadap arah tiupan angin (*angle of attack*). Perubahan sudut *blade* ini akan mempengaruhi kecepatan sudut (RPM) dari *shaft* karena adanya perubahan jumlah daya tiup angin yang diterima oleh *blade* yang dikonversi menjadi kecepatan putar *shaft*.

Pada penelitian kali ini akan digunakan simulasi *blade angle pitch control* menggunakan MATLAB dimana nilai masukan dari kontrol yang digunakan adalah kecepatan angin dan kecepatan putar rotor. Nilai kecepatan angin yang didapatkan adalah hasil dari penelitian lapang di daerah Pantai Pancer Puger Jember. Adanya penelitian ini diharapkan daya yang dikeluarkan oleh *wind turbine* sesuai dengan spesifikasi batas maksimum sehingga tidak merusak turbin angin. Oleh sebab itu, dengan adanya *blade angle pitch control* energi listrik yang dihasilkan sesuai dengan yang kapasitas dari turbin angin.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas, pengembangan energi angin masih belum optimal. Oleh sebab itu perlu adanya proses pengembangan yaitu dengan *blade angle pitch control* agar energi yang dihasilkan oleh turbin angin sesuai dengan kapasitas turbin. Ada pun rumusan masalahnya adalah:

1. Bagaimana simulasi dari *blade angle pitch control* untuk mendapatkan nilai daya listrik yang sesuai?
2. Berapa nilai dari daya listrik yang dihasilkan setelah dilakukan proses *angle pitch control*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian kali ini diantaranya mengenai beberapa hal yaitu:

1. Proses simulasi hanya menggunakan MATLAB 2009a.
2. Proses perbandingan dengan kondisi kekinian dan solusi yang ditawarkan hanya pada *blade angle pitch control*.
3. Hanya membahas mengenai *blade angle pitch control* pada suatu kincir angin tanpa membahas suatu PLT Angin dan interkoneksi Jawa-bali.

1.4 Tujuan dan Manfaat

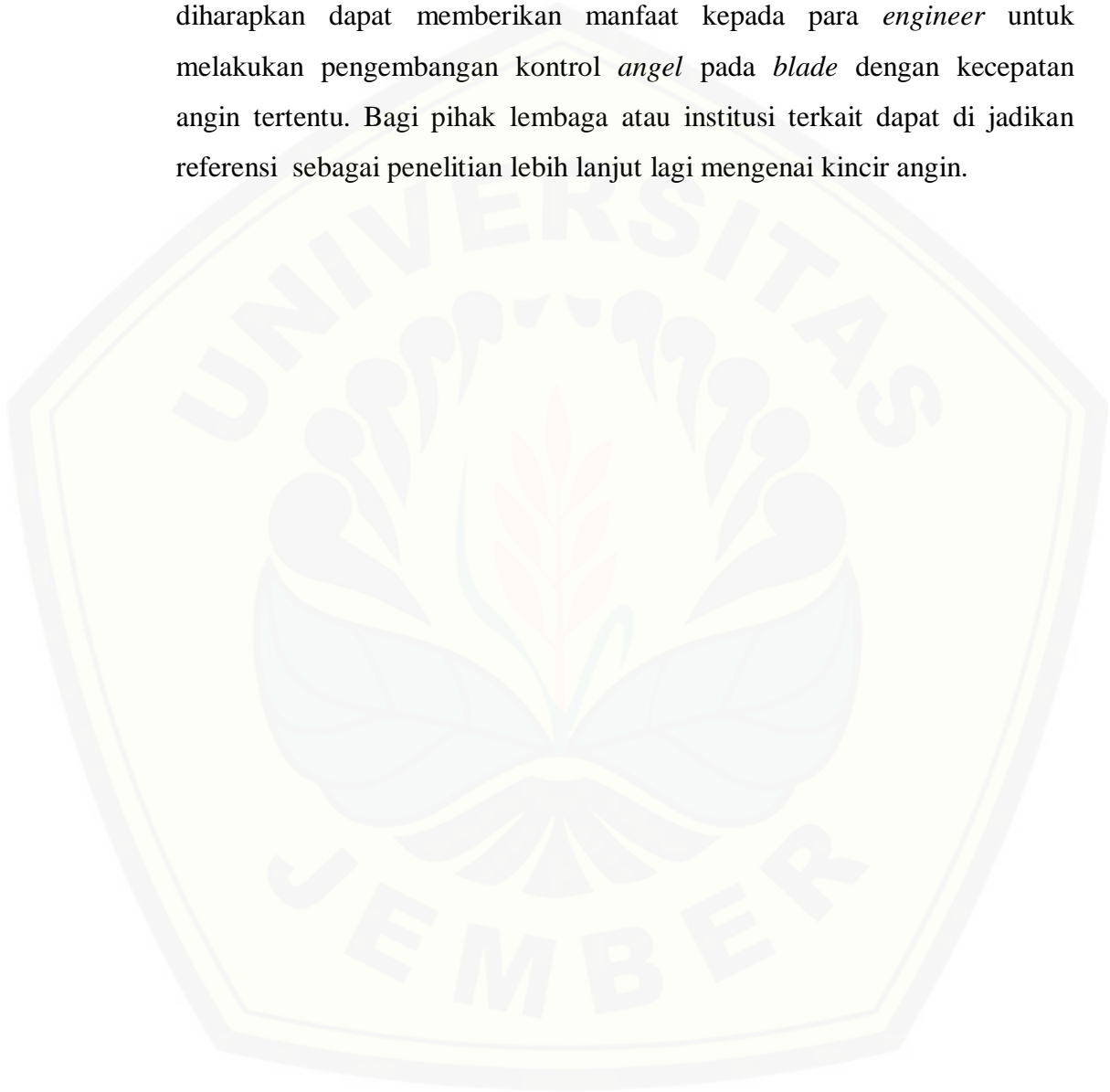
1.4.1 Tujuan

Ada pun tujuan dari penelitian kali ini yaitu:

1. Mengetahui simulasi *blade pitch angle control* dalam mendapatkan nilai daya listrik yang sesuai kapasitas turbin.
2. Mengetahui sudut yang tepat untuk menghasilkan daya listrik yang lebih sesuai.
3. Mengetahui nilai dari daya listrik yang dihasilkan setelah dilakukan proses *angle pitch control*.

1.4.2 Manfaat

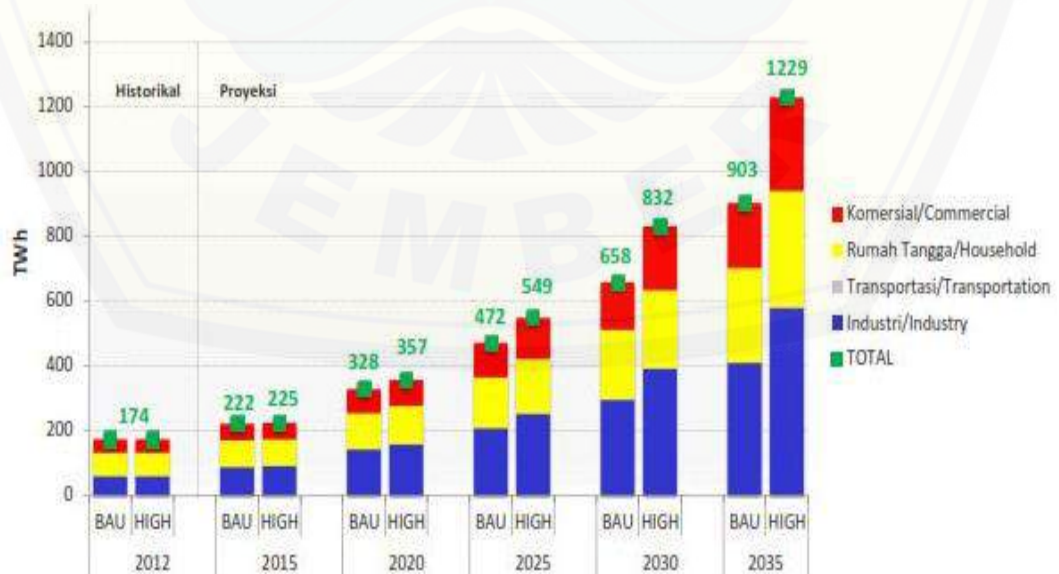
Ada pun manfaat dari penelitian ini adalah memberikan gambaran mengenai pengembangan turbin angin terutama pada *blade* untuk menghasilkan energi yang sesuai kapasitas turbin angin. Tujuan lainnya diharapkan dapat memberikan manfaat kepada para *engineer* untuk melakukan pengembangan kontrol *angel* pada *blade* dengan kecepatan angin tertentu. Bagi pihak lembaga atau institusi terkait dapat di jadikan referensi sebagai penelitian lebih lanjut lagi mengenai kincir angin.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proyeksi Kebutuhan dan Penyediaan Energi Listrik

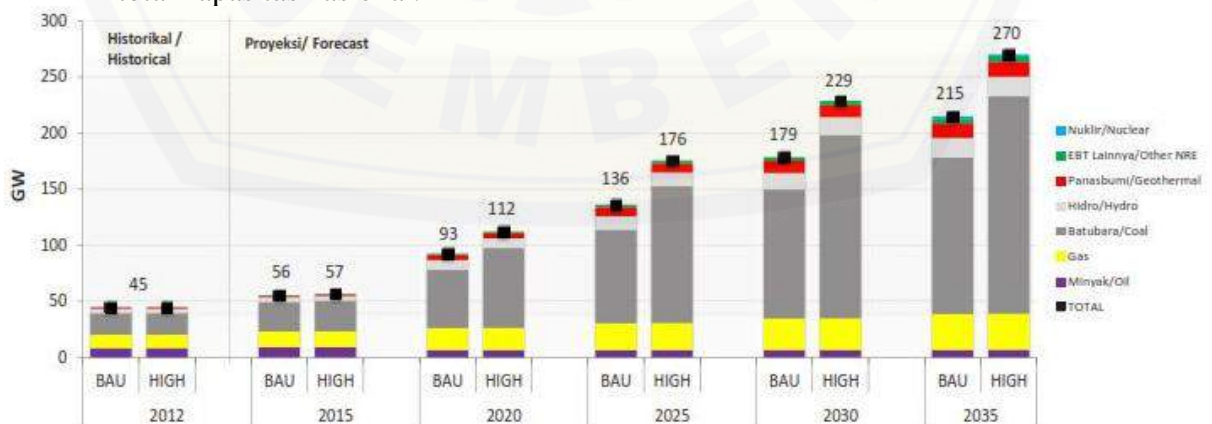
Kebutuhan energi listrik di Indonesia dari tahun ke tahun semakin meningkat tanpa melihat dari golongan mana konsumen tersebut. Apalagi hal ini di dukung dengan pertumbuhan jumlah penduduk di Indonesia yang semakin tinggi. Menurut *Agency for the assessment and application of technology* BPPT bagian pusat teknologi pengembangan sumber energi (2014:76) setiap sektor pengguna energi listrik mengalami peningkatan konsumsi mulai dari komersial, rumah tangga, transportasi, dan industri. Hal ini bisa kita lihat perbedaan konsumsi energi listrik pada tahun 2012 dan 2015. Pada tahun 2012 konsumsi energi listrik total mencapai 174 TWh sedangkan pada tahun 2015 ini diperkirakan mencapai 222-225 TWh. Bahkan pada tahun 2035 Indonesia diperkirakan mengkonsumsi energi listrik per tahunnya mencapai 903-1229 TWh. Hal ini jelas mengalami peningkatan sampai 5 kali lipat.



Gambar 2.1 Pemanfaatan tenaga listrik berdasarkan sektor (Sumber: BPPT, 2014)

Selama kurun waktu 2012-2035, kapasitas pembangkit listrik nasional (PLN dan non PLN) pada skenario dasar, akan meningkat dari 44,8 GW menjadi 215 GW, dengan laju pertumbuhan sebesar 7,1% per tahun. Pada skenario tinggi, pada tahun 2035 kapasitasnya akan meningkat 26% lebih tinggi dibanding skenario dasar hingga mencapai 270 GW, atau tumbuh dengan 8,1% per tahun. Berdasarkan kedua skenario tersebut, untuk kondisi tahun 2035, PLTU Batubara akan tetap mendominasi dengan pangsa dikisaran 65% (139 GW) pada skenario dasar, sampai dengan 72% (194 GW) pada skenario tinggi. Hal ini dapat dimengerti mengingat Indonesia masih mempunyai sumberdaya batubara yang besar, selain itu juga harga batubara saat ini cenderung turun akibat melemahnya *demand* batubara dunia. Faktor lain yang tak kalah penting adalah PLTU Batubara dirancang untuk memikul beban dasar, sejalan dengan harga batubara yang relatif rendah dibanding dengan harga bahan bakar fosil lainnya (BPPT, 2014).

Selanjutnya pembangkit EBT skala besar, seperti panas bumi dan tenaga hidro, untuk kedua skenario diprediksi pada akhir periode studi (2035) berturut-turut akan mencapai 12,8 GW dan 17,8 GW. Pada EBT skala kecil, seperti PLT Angin, PLTS, PLT sampah, PLT biomasa, PLT kelautan, serta PLT biofuel diproyeksikan akan terus berkembang, dimana pada tahun 2035 kapasitas total EBT skala kecil akan mencapai 4,3 GW (skenario dasar) dan 4,9 GW (skenario tinggi), atau mempunyai pangsa dikisaran 2% terhadap total kapasitas nasional.

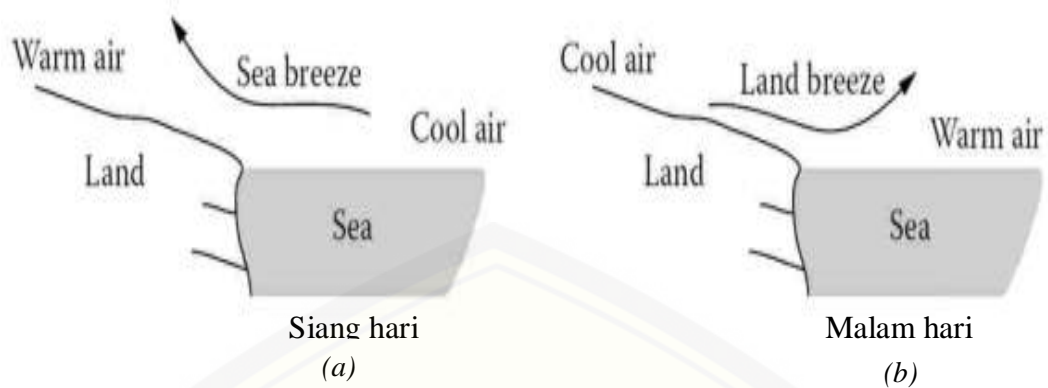


Gambar 2.2 Proyeksi Kapasitas Pembangkit Listrik Nasional
(Sumber: BPPT, 2014)

Pembangkit jenis EBT, seperti PLTP, PLTA, PLTM, pembangkit listrik biomasa, PLTN, PLT Angin, PLTS, PLTSa (pembangkit listrik berbasis sampah), PLT kelautan serta pembangkit listrik biofuel, untuk kedua skenario kapasitasnya meningkat hampir 7 kali, yaitu dari 5,6 GW pada tahun 2012 menjadi 36,9 GW pada (skenario dasar) serta 37,5 GW pada (skenario tinggi) pada tahun 2035. Kapasitas pembangkit EBT ini, baik untuk skenario dasar maupun tinggi tumbuh dikisaran 9% per tahun. Peningkatan pembangkit berbasis EBT ini cukup signifikan, dan hal ini sesuai dengan kebijakan pemerintah untuk mendorong diversifikasi energi pada pembangkitan tenaga. Proyeksi Kebutuhan dan Penyediaan Energi di Sektor Ketanagalistrikan apabila dilihat dari sisi pangsa, kapasitas total pembangkit EBT apabila dibandingkan dengan kapasitas pembangkit nasional mempunyai pangsa lebih dari 12% tahun 2012 untuk kedua skenario, dan meningkat menjadi 17% pada skenario dasar dan 14% pada skenario tinggi, pada tahun 2035.

2.2 Energi Angin

Angin adalah udara yang bergerak yang diakibatkan oleh rotasi bumi dan juga karena adanya perbedaan tekanan udara disekitarnya. Angin bergerak dari tempat bertekanan udara tinggi ke bertekanan udara rendah. Pemanasan oleh matahari mengakibatkan udara akan memuai. Tekanan udara yang telah memuai massa jenisnya menjadi lebih ringan sehingga naik (Marpaung, 2011). Apabila hal ini terjadi, tekanan udara turun. Udara disekitarnya mengalir ke tempat yang bertekanan rendah. Udara menyusut menjadi lebih berat dan turun ke tanah. Diatas tanah udara menjadi panas lagi dan naik kembali. Aliran naiknya udara panas dan turunnya udara dingin ini dikarenakan konveksi.



Gambar 2.3 Sirkulasi udara di Pantai
(Sumber: Marpaung, 2011)

Tenaga angin yang ada selama ini menunjukkan kepada pengumpulan energi yang berguna seperti PLT Angin. Pada tahun 2005, kapasitas energi generator tenaga angin adalah 58.982 MW, hasil tersebut kurang dari 1% pengguna listrik dunia. Meskipun masih berupa sumber energi listrik minor di kebanyakan Negara, Penghasil tenaga angin lebih dari empat kali lipat antara 1999 dan 2005. Kebanyakan tenaga angin modern dihasilkan dalam bentuk listrik dengan mengubah rotasi dari turbin menjadi arus listrik dengan menggunakan generator listrik. Tenaga angin banyak jumlahnya, tidak habis-habis, tersebar luas, dan bersih.

Energi angin juga memiliki beberapa klasifikasi berdasarkan kecepatan dari angin itu sendiri. Hal ini dikarenakan setiap proses pengkonversian energi dari angin ke listrik hal yang paling penting adalah kecepatan angin. Apabila kecepatan angin terlalu rendah maka energi yang dihasilkan juga akan rendah. Apabila kecepatan angin terlalu tinggi maka energi listrik yang dihasilkan juga tinggi. Hal terpenting dalam proses ini yang tidak boleh terlupakan adalah kapasitas/ambang kerja dari putaran generator agar tidak merusak generator itu sendiri.

Tabel 2.1 Klasifikasi Angin

Tingkat Kecepatan Angin 10 m diatas Permukaan Tanah		
Kelas Angin	Kecepatan Angin (m/s)	Kondisi Alam di Daratan
1.	0,00 - 0,02	_____
2.	0,3 - 1,5	Angin tenang, asap lurus ke atas.
3.	1,6 - 3,3	Asap bergerak mengikuti arah angin.
4.	3,4 - 5,4	Wajah terasa dingin, daun-daun bergoyang pelan, petunjuk arah angin bergerak.
5.	5,5 – 7,9	Debu jalan, kertas beterbangan, ranting pohon bergoyang.
6.	8,0 – 10,7	Ranting pohon bergoyang, bendera berkibar.
7.	10,8 – 13,8	Ranting pohon besar bergoyang, air plumpang berombak kecil.
8.	13,9 – 17,1	Ujung pohon melengkung, hembusan angin terasa ditelinga.
9.	17,2 -20,7	Dapat mematahkan ranting pohon, jalan berat melawan arah angin.
10.	20,8 – 24,4	Dapat mematahkan ranting pohon, rumah roboh.
11.	24,5 – 28,4	Dapat merobohkan pohon, menimbulkan kerusakan.
12.	28,5 – 32,	Menimbulkan kerusakan parah.
13.	32,7 – 36,9	Tornado.

Sumber: Setiawan (2011).

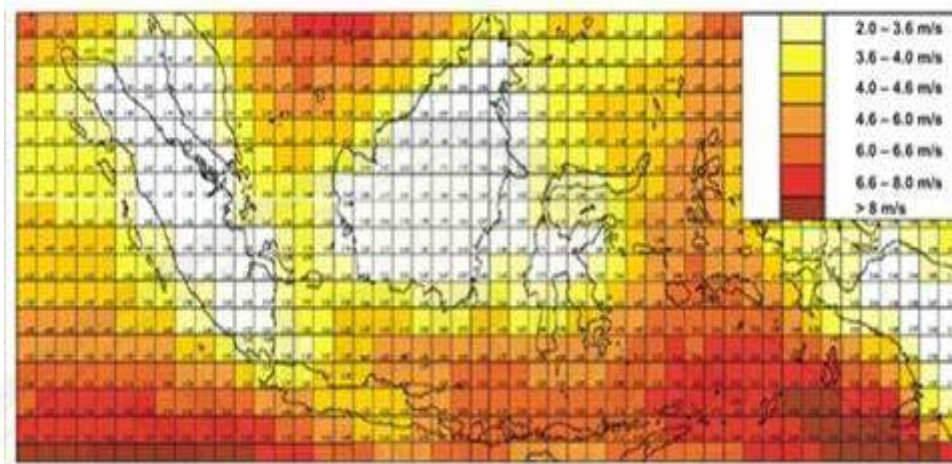
Pada tabel diatas ada beberapa angin yang bisa digunakan untuk mengkonversikan energi angin ke energi listrik. Namun, juga ada beberapa kecepatan angin yang tidak bisa digunakan untuk mengkonversikan ke energi listrik, bahkan ada yang berbahaya. Energi angin yang bisa digunakan adalah kelas angin 3 sampai 8 yaitu berkisar dengan kecepatan angin antara 1,6-17,1 m/s. Kelas energi angin yang tidak bisa digunakan adalah kelas 1 dan 2, dimana memiliki kecepatan angin yang sangat rendah yaitu berkisar antara 0,00-1,5 m/s. Energi angin yang berbahaya yaitu kelas 9 sampai 13 yang memiliki kisaran kecepatan angin antara 17,2-36,9 m/s. Hal ini berbahaya di karenakan akan merusak rotor maupun generator yang dapat bekerja melebihi batas ambang kerja putar.

2.3 Potensi Angin

Potensi angin di Indonesia sangatlah tinggi. Proses pengembangan dari energi angin untuk menjadi energi listrik pun sangatlah terbuka. Apalagi di dukung dengan letak geografis Indonesia yang memiliki garis pantai yang cukup berpotensi untuk kecepatan angin yang dapat dimanfaatkan menjadi energi listrik. Proses pemanfaatan energi angin menjadi energi listrik ini dilakukan melalui dua tahapan konversi energi, pertama aliran angin akan menggerakkan rotor (baling-baling) yang menyebabkan rotor berputar selaras dengan angin yang bertiup (energi mekanik), kemudian putaran dari rotor dihubungkan dengan generator, dari generator inilah dihasilkan arus listrik. Jadi proses tahapan konversi energi bermula dari energi kinetik angin menjadi energi gerak rotor kemudian menjadi energi listrik.

Listrik yang dihasilkan dari Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) akan bekerja optimal pada siang hari dimana angin berhembus cukup kencang dibandingkan dengan malam hari, sedangkan penggunaan listrik biasanya akan meningkat pada malam hari (Habibie *et al*, 2011). Proses untuk mengantisipasi sistem ini sebaiknya tidak langsung digunakan untuk keperluan produk-produk elektronik, namun terlebih dahulu disimpan dalam

satu media seperti baterai atau aki sehingga listrik yang keluar besarnya stabil dan bisa digunakan kapan saja.

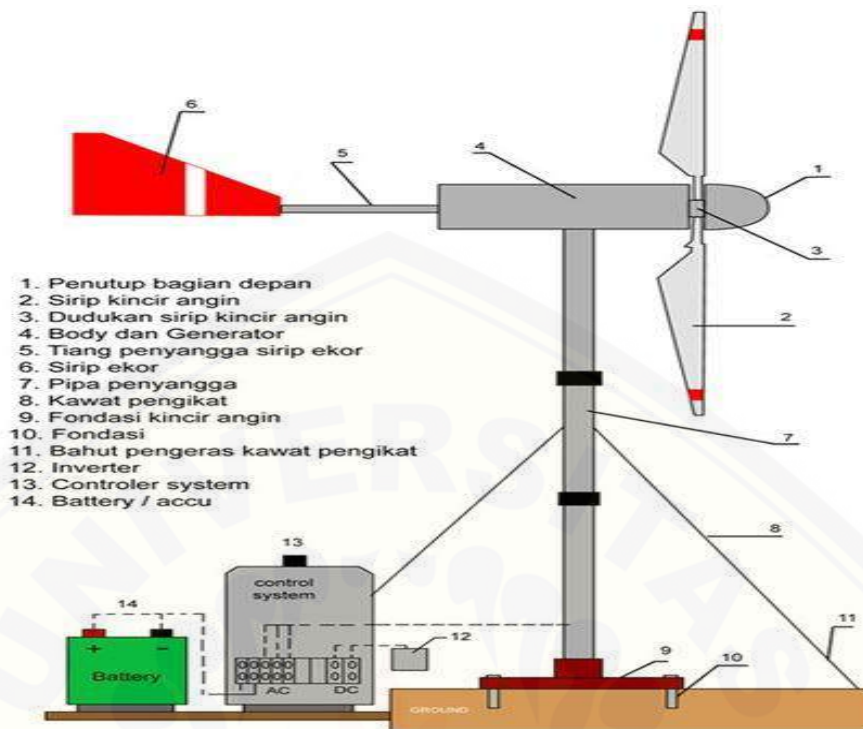


Gambar 2.4 Peta energi angin di Indonesia
(Sumber: Sutrisna, 2008)

Pada gambar ini dapat kita ketahui bahwa energi angin di Indonesia cukup besar jumlahnya. Daerah Jawa dari gambar diatas memiliki kecepatan angin rata-rata 6,0 m/s sampai 6,6 m/s. Berdasarkan gambar diatas seperti daerah pantai puger tentunya dapat di manfaatkan untuk energi listrik karena memang potensi energi anginnya yang cukup besar. Apalagi di dukung dengan letak geografis di pantai yang dapat dipastikan kecepatan angin akan lebih tinggi dari pada di daratan.

2.4 Bagian-Bagian PLT Angin

Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLT Angin) adalah sebuah pembangkit listrik yang memanfaatkan angin sebagai energi dasar untuk menggerakkan turbin angin yang selanjutnya akan dikonversikan menjadi energi listrik. Sistem pembangkitan listrik menggunakan angin sebagai sumber energi merupakan sistem alternatif yang sangat berkembang pesat, mengingat angin merupakan salah satu energi yang tidak terbatas di alam.



Gambar 2.5 Bagian-bagian PLT Angin

(Sumber: Budianto, 2014)

Turbin angin yang tersapu oleh angin akan bergerak yang selanjutnya akan di *couple* dengan generator sehingga bisa menghasilkan energi listrik. Turbin angin memiliki beberapa bagian untuk mendukung proses berlangsungnya sistem konversi energi angin. Bagian-bagian tersebut yaitu:

1. Anemometer

Mengukur kecepatan angin dan mengirimkan data kecepatan angin ke pengontrol.

2. Blades

Jumlah turbin angin baik dua atau tiga pisau. Angin bertiup di atas menyebabkan pisau-pisau untuk mengangkat dan berputar.

3. Gear box

Gears menghubungkan poros kecepatan tinggi di poros kecepatan rendah dan meningkatkan kecepatan sekitar 30-60 rotasi per menit (rpm), sekitar 1000-1800 rpm, kecepatan rotasi yang diperlukan oleh sebagian besar

generator untuk menghasilkan listrik. *Gear box* adalah bagian yang cukup mahal dan berat dari turbin.

4. Generator

Biasanya standar induksi generator yang menghasilkan listrik dari 60 siklus listrik AC.

5. *High-speed shaft*

6. *Low-speed shaft*

Mengubah poros rotor kecepatan rendah sekitar 30-60 rotasi per menit.

7. *Nacelle*

Nacelle berada di atas menara dan berisi *gear box*, poros kecepatan rendah dan tinggi, generator, kontrol, dan rem.

8. Rotor

Pisau dan terhubung bersama-sama disebut rotor.

9. Tower

Menara yang terbuat dari baja tabung, beton atau kisi baja. Hal ini dikarenakan kecepatan angin meningkat dengan tinggi, menara tinggi memungkinkan turbin untuk menangkap lebih banyak energi dan menghasilkan listrik lebih banyak.

10. *Wind direction*

11. *Wind vane*

Tindakan arah angin dan berkomunikasi dengan *yaw drive* untuk menggerakkan turbin dengan koneksi yang benar dengan angin.

12. *Yaw drive*

Yaw drive yang digunakan untuk menjaga rotor menghadap ke arah angin sebagai perubahan arah angin.

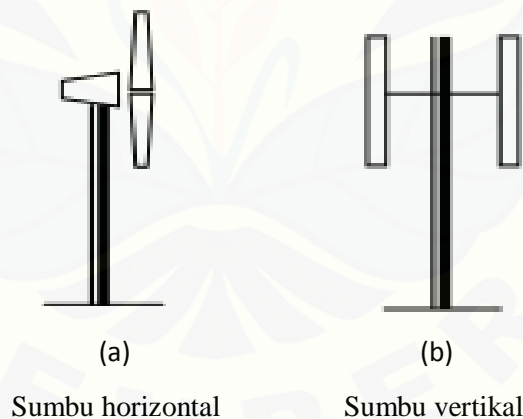
13. Penyimpan energi (*battery*)

Keterbatasan ketersediaan akan energi angin (tidak sepanjang hari angin akan selalu tersedia) maka ketersediaan listrik pun tidak menentu. Oleh karena itu digunakan alat penyimpanan energi yang berfungsi sebagai *back-up* energi listrik. Ketika beban penggunaan daya listrik masyarakat meningkat atau ketika kecepatan angin suatu daerah sedang menurun,

maka kebutuhan permintaan akan daya listrik tidak dapat terpenuhi. Oleh karena itu kita perlu menyimpan sebagian energi yang dihasilkan ketika terjadi kelebihan daya pada saat turbin angin berputar kencang atau saat penggunaan daya pada masyarakat menurun.

2.5 Klasifikasi Turbin Angin

Turbin angin atau dalam bahasa sederhana kincir angin merupakan turbin yang digerakkan oleh angin, yaitu udara yang bergerak diatas permukaan bumi. Penggunaan turbin angin terus mengalami perkembangan guna memanfaatkan energi angin secara efektif, terutama pada daerah-daerah dengan aliran angin yang relatif tinggi sepanjang tahun. Turbin angin sendiri terbagi menjadi 2 macam yaitu *horizontal axis wind turbin (HAWT)/propeller* dan *vertikal axis wind turbin (VAWT)*. Hal ini bergantung dari putaran poros dari turbin anign itu sendiri.

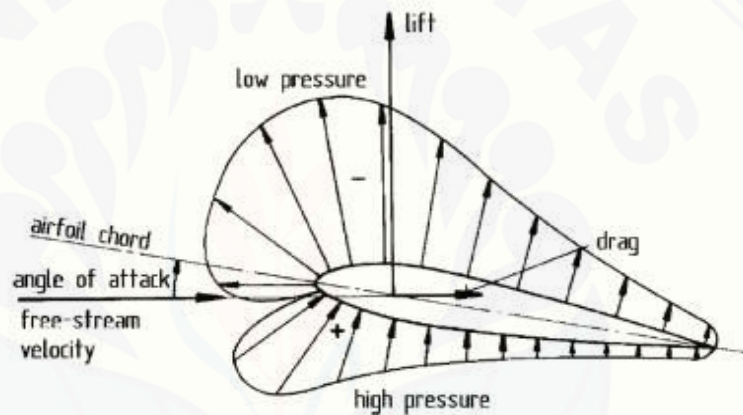


Gambar 2.6 Macam-macam Turbin Angin
(Sumber: Mathew, 2006)

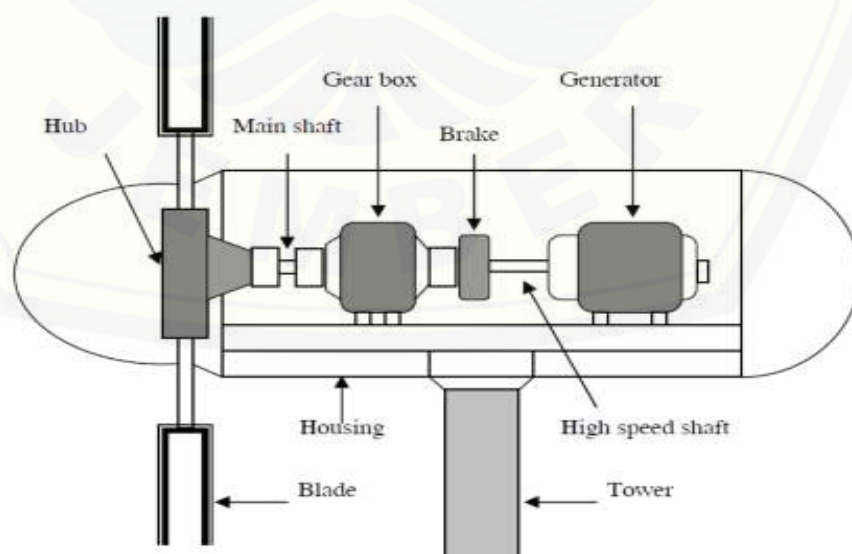
2.5.1 *Horizontal Axis Wind Turbin (HAWT)/Propeller*

Horizontal axis wind turbin (HAWT) dalam bahasa Indonesia sering dikenal dengan Turbin angin sumbu horizontal (TASH). Turbin angin ini juga sering dikenal dengan turbin angin tipe *propeller*. Turbin angin ini merupakan turbin angin yang sumbu rotasi rotornya paralel terhadap

permukaan tanah. Turbin angin sumbu horizontal memiliki poros rotor utama dan generator listrik di puncak menara dan diarahkan menuju arah datangnya angin untuk dapat memanfaatkan energi angin. Rotor turbin angin kecil diarahkan menuju dari arah datangnya angin dengan pengaturan baling-baling angin sederhana sedangkan turbin angin besar umumnya menggunakan sensor angin dan motor yang mengubah rotor turbin mengarah pada angin. Berdasarkan prinsip aerodinamis, rotor turbin angin sumbu horizontal mengalami gaya *lift* dan gaya *drag*, namun gaya *lift* jauh lebih besar dari gaya drag sehingga rotor turbin ini lebih dikenal dengan rotor turbin tipe *lift*.



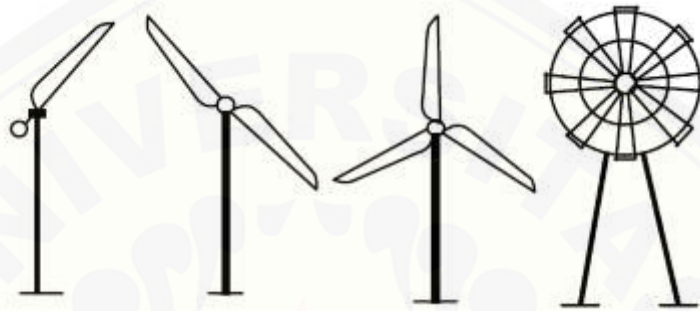
Gambar 2.7 Tampak rotor turbin angin ketika dilalui aliran udara
(Sumber: Marpaung, 2011)



Gambar 2.8 Komponen utama turbin angin sumbu horizontal
(Sumber: Mathew, 2006)

Apabila kita melihat dari sisi jumlah sudu atau *blades* untuk jenis turbin angin *propeller* ini maka terbagi menjadi 4 macam yaitu:

1. Turbin angin satu sudu (*single blade*)
2. Turbin angin dua sudu (*double blade*)
3. Turbin angin tiga sudu (*three blade*)
4. Turbin angin banyak sudu (*multi blade*)



Gambar 2.9 Jenis turbin angin berdasarkan jumlah sudu
(Sumber: Mathew, 2006)

Berdasarkan letak rotor terhadap arah angin, turbin angin sumbu horizontal dibedakan menjadi dua macam yaitu:

1. *Upwind*
2. *Downwind*



(a)

Upwind

(b)

Downwind

Gambar 2.10 Turbin angin jenis *upwind* dan *downwind*
(Sumber: Prasetya, 2015)

Turbin angin jenis *upwind* memiliki rotor yang menghadap arah datangnya angin sedangkan turbin angin jenis *downwind* memiliki rotor

yang membelakangi/menurut jurusan arah angin. Rotor pada turbin *upwind* terletak di depan turbin, posisinya mirip dengan pesawat terbang yang didorong baling-baling. Demi menjaga turbin tetap menghadap arah angin, diperlukan mekanisme *yaw* seperti ekor turbin. Keuntungannya, naungan menara berkurang. Udara akan mulai menekuk di sekitar menara sebelum berlalu begitu sehingga ada kehilangan daya dari gangguan yang terjadi, hanya tidak setingkat dengan turbin *downwind*. Kekurangannya, membutuhkan *nacelle* yang panjang untuk menjaga rotor sejauh mungkin dari menara untuk menghindari terjadinya tabrakan sudu. Sudu dibuat kaku untuk menghindari sudu melentur ke arah menara.

Turbin angin *downwind* memiliki rotor di sisi bagian belakang turbin. Bentuk *nacelle* didesain untuk menyesuaikan dengan arah angin, sehingga tidak membutuhkan mekanisme *yaw*. Keunggulannya yaitu sudu rotor dapat lebih fleksibel karena tidak ada bahaya tabrakan dengan menara. Sudu fleksibel memiliki keuntungan, biaya pembuatan sudu lebih murah dan mengurangi tegangan pada tower selama keadaan angin dengan kecepatan tinggi karena melentur memberikan beban angin didistribusikan secara langsung ke sudu daripada ke menara. Sudu yang fleksibel dapat juga sebagai kekurangan dimana kelenturannya menyebabkan keletihan sudu. Pada bagian belakang menara merupakan masalah dengan mesin *downwind* karena menyebabkan turbulensi aliran dan meningkatkan kelelahan pada turbin.

2.5.2 Vertical Axis Wind Turbin (VAWT)

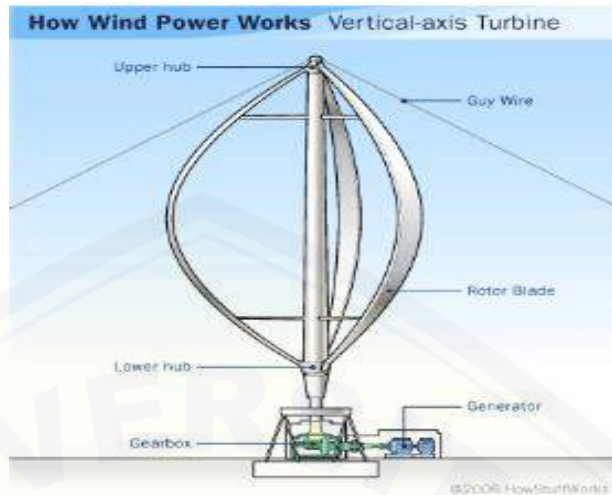
Turbin angin sumbu vertikal merupakan turbin angin yang sumbu rotasi rotornya tegak lurus terhadap permukaan tanah. Jika dilihat dari efisiensi turbin, turbin angin sumbu horizontal lebih efektif dalam mengekstrak energi angin dibanding dengan turbin angin sumbu vertikal (Marpaung, 2011). Meskipun demikian, turbin angin vertikal memiliki keunggulan, yaitu:

1. Turbin angin sumbu vertikal tidak harus diubah posisinya jika arah angin berubah, tidak seperti turbin angin horizontal yang memerlukan mekanisme tambahan untuk menyesuaikan rotor turbin dengan arah angin.
2. Tidak membutuhkan struktur menara yang besar.
3. Konstruksi turbin sederhana.
4. Turbin angin sumbu vertikal dapat didirikan dekat dengan permukaan tanah, sehingga memungkinkan menempatkan komponen mekanik dan komponen elektronik yang mendukung beroperasinya turbin.

Apabila dilihat dari prinsip aerodinamik rotor yang digunakan, turbin angin sumbu vertikal dibagi menjadi dua bagian yaitu:

1. Turbin Angin *Darrieus*.

Turbin angin *Darrieus* pada umumnya dikenal sebagai turbin *eggbeater*. Turbin angin *Darrieus* pertama kali ditemukan oleh Georges Darrieus pada tahun 1931. Turbin angin *Darrieus* merupakan turbin angin yang menggunakan prinsip aerodinamik dengan memanfaatkan gaya *lift* pada penampang sudu rotornya dalam mengekstrak energi angin. Turbin *Darrieus* memiliki torsi rotor yang rendah tetapi putarannya lebih tinggi dibanding dengan turbin angin *Savonius* sehingga lebih diutamakan untuk menghasilkan energi listrik (Marpaung, 2011). Namun turbin ini membutuhkan energi awal untuk mulai berputar. Rotor turbin angin *Darrieus* pada umumnya memiliki variasi sudu yaitu dua atau tiga sudu. Modifikasi rotor turbin angin *Darrieus* disebut dengan turbin angin H.



Gambar 2.11 Turbin angin *Darrieus*
(Sumber: Marpaung, 2011)

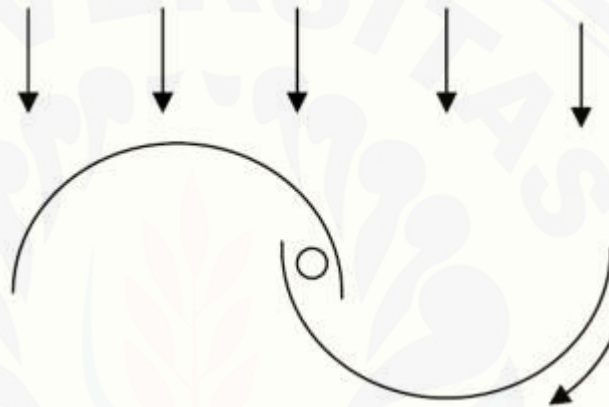


Gambar 2.12 Turbin angin *Darrieus* tipe-H
(Sumber: Marpaung, 2011)

2. Turbin Angin *Savonius*

Turbin angin *Savonius* pertama kali diperkenalkan oleh insinyur Finlandia Sigurd J. Savonius pada tahun 1922. Turbin angin sumbu vertikal yang terdiri dari dua sudu berbentuk setengah silinder (atau *elips*) yang dirangkai sehingga membentuk 'S', satu sisi setengah silinder berbentuk cembung dan sisi lain berbentuk cekung yang dilalui angin seperti pada gambar 2.13. Berdasarkan prinsip aerodinamis, rotor turbin ini memanfaatkan gaya hambat (*drag*) saat

mengekstrak energi angin dari aliran angin yang melalui sudu turbin. Koefisien hambat permukaan cekung lebih besar dari pada permukaan cembung. Sisi permukaan cekung setengah silinder yang dilalui angin akan memberikan gaya hambat yang lebih besar daripada sisi lain sehingga rotor berputar (Marpaung, 2011). Setiap turbin angin yang memanfaatkan potensi angin dengan gaya hambat memiliki efisiensi yang terbatas karena kecepatan sudu tidak dapat melebihi kecepatan angin yang melaluinya.



Gambar 2.13 Prinsip rotor *savonius*
(Sumber: Mathew, 2006)

Pemanfaatan gaya hambat turbin angin *savonius* akan menyebabkan turbin angin memiliki putaran dan daya yang rendah dibandingkan dengan turbin angin *Darrius*. Meskipun demikian turbin *savonius* tidak memerlukan energi awal memulai rotor untuk berputar yang merupakan keunggulan turbin ini dibanding turbin *Darrius*. Daya dan putaran yang dihasilkan turbin *savonius* relatif rendah, sehingga pada penerapannya digunakan untuk keperluan yang membutuhkan daya kecil dan sederhana seperti memompa air. Turbin ini tidak sesuai digunakan untuk pembangkit listrik dikarenakan *tip speed ratio* dan faktor daya yang relatif rendah.

Pada saat ini, angin merupakan salah satu sumber energi dengan perkembangan relatif cepat dibanding sumber energi lainnya. Walaupun

demikian, sampai saat ini pembangunan turbin angin masih belum dapat menyaingi pembangkit listrik konvensional (misal: PLTD atau PLTU). Pengkajian potensi angin harus dilakukan dengan baik guna memperoleh suatu sistem konversi angin yang tepat. Pengkajian potensi angin pada suatu daerah dilakukan dengan cara mengukur serta menganalisa kecepatan maupun arah angin. Dasar dari alat untuk merubah energi angin adalah kincir angin. Meskipun masih terdapat susunan dan perencanaan yang beragam, biasanya kincir angin digolongkan menjadi dua tipe (horizontal dan vertikal) dan yang paling banyak digunakan adalah kincir jenis horizontal. Kincir jenis ini mempunyai rotasi horizontal terhadap tanah (secara sederhana yaitu sejajar dengan arah tiupan angin).

Prinsip dasar kincir angin adalah mengkonversi tenaga mekanik dari putaran kincir menjadi energi listrik dengan induksi magnetik. Putaran kincir dapat terjadi dengan efektif dengan mengaplikasikan dasar teori aerodinamika pada desain kincir angin. Ketersediaan angin dengan kecepatan yang memadai menjadi faktor utama dalam implementasi teknologi kincir angin.

2.6 Logika Fuzzy (*Fuzzy Logic Controller*)

Logika Fuzzy adalah salah satu cabang dari *artificial intellegent* (kecerdasan buatan) yang berhubungan dengan algoritma perasaan yang digunakan untuk menciptakan pola pikir manusia dan penentuan keputusan (Harika, *et al* 2009). Algoritma ini digunakan dalam aplikasi dimana dalam pemrosesan data tidak dapat dipresentasikan dalam bentuk biner. Sebagai contoh pernyataan “udara terasa sejuk” dan “lelaki itu masih muda” bukanlah pernyataan diskrit. Kedua pernyataan tersebut tidak menggambarkan data konkret tentang temperatur udara atau usia dari seseorang (suhu udara adalah 60 °F atau usia laki-laki itu 20 tahun).

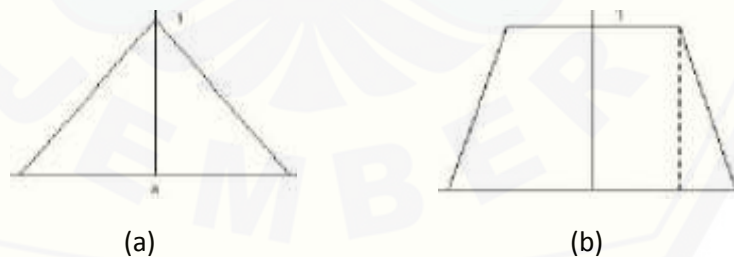
2.6.1 Fuzzyfikasi

Fuzzyfikasi merupakan suatu proses merubah variabel *non-fuzzy (crisp)* kedalam variabel *fuzzy*, variabel masukan (*crisp*) dipetakan ke bentuk himpunan *fuzzy* sesuai dengan variasi semesta pembicaraan *input*. Pemetaan titik-titik numerik (*crisp points*) $x=(x^1, x^2, x^3, \dots, x^n)^T \in U$ ke himpunan *fuzzy* A pada semesta pembicaraan U. Data yang telah dipetakan selanjutnya dikonversikan kedalam bentuk linguistik yang sesuai dengan label dari himpunan *fuzzy* yang telah terdefinisi untuk variabel *input* sistem. Fuzzyfikasi memiliki dua komponen utama, yaitu:

a. Fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy*

Fungsi keanggotaan merupakan sebuah kurva yang menggambarkan pemetaan dari input kederajat keanggotaan antara 0 dan 1. Melalui fungsi keanggotaan yang telah disusun maka dari nilai-nilai masukan tersebut menjadi informasi *fuzzy* yang berguna nantinya untuk proses pengolahan secara *fuzzy* pula. Banyaknya jumlah fungsi keanggotaan dalam *fuzzy set* menentukan banyaknya aturan yang akan dibuat.

Keanggotaan dalam himpunan *fuzzy* mempunyai bentuk yang berbeda-beda, salah satunya terdiri dari fungsi segitiga dan trapesium.



Fungsi keanggotaan segitiga fungsi keanggotaan trapesium

Gambar 2.14 Contoh Fungsi Keanggotaan *Fuzzy*

(Sumber: Harika, *et al* 2009)

b. Label

Pada *fuzzy set* tentunya memiliki beberapa fungsi keanggotaan, jumlah dari keanggotaan ini pun disesuaikan dengan banyaknya kebutuhan. Setiap fungsi keanggotaan dapat didefinisikan dengan

label atau nama. Biasanya dinyatakan dengan besar, sedang, kecil, atau sesuai dengan keinginan.

2.6.2 Rule Base

Basis pengetahuan terdiri dari fakta (*data base*) dan kaidah atur (*rule base*). Fakta merupakan bagian pengetahuan yang memuat informasi tentang objek, peristiwa, atau situasi. Fakta umumnya menyatakan kondisi statik dari suatu obyek. Sedangkan kaidah (*rule base*) berisi informasi tentang cara membangkitkan fakta baru atau hipotesa fakta yang sudah ada.

a. Basis Data (*Data Base*)

Basis data berfungsi untuk mendefinisikan himpunan-himpunan *fuzzy* dari sinyal masukan dan sinyal keluaran agar dapat digunakan oleh variabel linguistik dalam basis aturan. Pendefinisian tersebut biasanya dilakukan secara subyektif dengan menggunakan pendekatan heuristik dan didasarkan pada pengalaman dan pertimbangan yang menyangkut kerekayasaan, sehingga bergantung penuh pada perancang.

b. Kaidah Atur (*rule base*)

Kaidah atur dalam *fuzzy* ini biasanya tersusun dalam pernyataan seperti berikut ini:

- *If (wind_speed is Ws8) or (rotor_speed is Rs2) then (Pitch_angle is Pa2)*
- *If (wind_speed is Ws10) or (rotor_speed is Rs1) then (Pitch_angle is Pa1)*
- *If (wind_speed is Ws11) or (rotor_speed is Rs3) then (Pitch_angle is Pa2)*

2.6.3 Logika Pengambilan Keputusan

Sering juga disebut sebagai *fuzzy inference system (FIS)* merupakan bagian terpenting dalam logika *fuzzy*. Langkah yang dilakukan tahap ini yaitu mengevaluasi aturan, dimana mengevaluasi aturan mempunyai arti yaitu logika *fuzzy* mengolah dan menyimpulkan proses yang

tersusun dari *rule* IF...THEN, setiap *rule* menghasilkan satu *output*. Pada dasarnya satu *rule* akan aktif apabila kondisi *input* memenuhi aturan pernyataan IF. Pengaktifan aturan pernyataan IF menghasilkan *output* kontrol yang didasarkan pada aturan pernyataan THEN. Pada sistem *fuzzy* digunakan banyak *rule* yang menyatakan satu atau lebih pernyataan IF. Suatu *rule* dapat pula mempunyai beberapa kondisi *input*, yang satu sama lainnya dihubungkan dengan AND atau OR untuk mendapatkan *rule output* (Harika, *et al* 2009).

2.7 Prinsip Konversi Energi Angin

Energi Angin apabila dilihat dari kecepatan angin itu sendiri dapat dituliskan dalam bentuk persamaan energi kinetik (E_k):

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 \quad (2.6a)$$

Dimana: m = massa angin yang mengalir (kg)

v = kecepatan angin (m/s)

energi kinetik ini lah yang akan digunakan untuk menggerakkan turbin angin yang selanjutnya akan dikonversi ke energi listrik. Apabila dilihat dari pemodelan Betz' pada gambar di bawah ini maka kecepatan angin V dan kerapatan ρ dengan luas sapuan rotor turbin A_1 , daya anginnya adalah

$$P_T = \frac{1}{2} C_p \rho A v^3 \quad (2.6b)$$

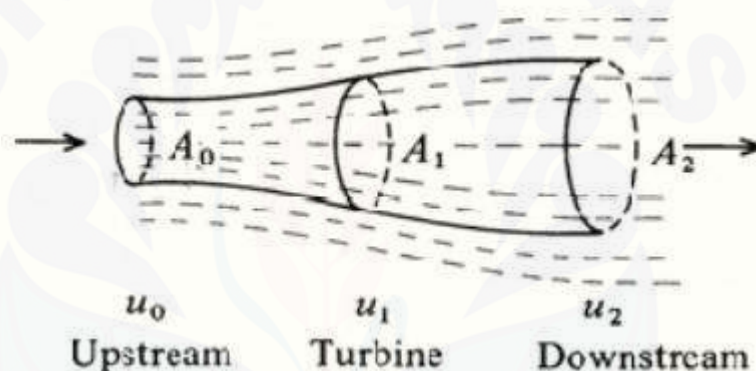
Dimana C_p adalah faktor efisiensi yang disebut juga koefisien daya. Catatan bahwa daya P_T adalah sebanding dengan luas penampang A dan kecepatan angin V pangkat tiga. Dengan menggandakan luas penampang menghasilkan daya dua kali, dan menggandakan kecepatan angin menghasilkan potensial daya delapan kali (Marpaung, 2011). Koefisien daya juga berubah dengan perubahan kecepatan angin. Saat distribusi kecepatan angin tidak merata, pada suatu waktu tertentu kemungkinan lebih besar kecepatan angin lebih rendah daripada kecepatan angin rata – rata dibanding kecepatan angin lebih besar dari kecepatan angin rata – rata. Oleh karena itu,

desain rotor dan generator yang optimal tergantung pada daya yang dibutuhkan dan memaksimalkan energi yang dibangkitkan per tahun.

Untuk menganalisis seberapa besar energi yang dapat dimanfaatkan turbin angin digunakan teori memontum elementer Betz'.

2.7.1 Teori Momentum Betz

Teori momentum Betz sederhana berdasarkan pemodelan aliran dua dimensi angin yang mengenai rotor menjelaskan prinsip konversi energi angin pada turbin turbin angin seperti terlihat pada gambar (2.6.1.1). Berkurangnya kecepatan aliran udara disebabkan karena sebagian energi kinetik angin di ubah/diekstrak oleh rotor turbin angin.



Gambar 2.15 Pemodelan Betz untuk aliran angin
(Sumber: Marpaung, 2011)

Penampang A_1 adalah luas sapuan penampang turbin. Luas A_0 dan A_2 luas penampang aliran masuk dan aliran keluar dengan massa angin konstan mengalir melalui A_1 . A_0 diposisikan pada arah datangnya angin tanpa dipengaruhi oleh rotor turbin, dan A_2 diposisikan pada kecepatan angin rendah.

Tahap 1: Untuk menentukan u_1 . Gaya F yang terjadi pada turbin angin seiring berkurangnya momentum per satuan unit waktu dari aliran massa angin m .

$$F = mu_0 - mu_2 \quad (2.6.1a)$$

Gaya yang terjadi dengan asumsi kecepatan aliran angin seragam u_1 . Daya yang diekstrak turbin adalah:

$$P_T = F \cdot u_1 = m (u_0 - u_2) u_1 \quad (2.6.1b)$$

Kehilangan energi aliran per-satuan waktu adalah energi yang diekstrak angin:

$$P_w = \frac{1}{2} m (u_0^2 - u_2^2) \quad (2.6.1c)$$

Dengan menyamakan persamaan (2.6.1b) dan (2.6.1c):

$$(u_0 - u_1) u_1 = \frac{1}{2} (u_0^2 - u_2^2) = \frac{1}{2} (u_0 - u_2) (u_0 + u_2) \quad (2.6.1d)$$

Sehingga:

$$u_1 = \frac{1}{2} (u_0 + u_2) \quad (2.6.1e)$$

Tahap 2: mengetahui u_1 , menghitung daya yang diekstrak dari angin. Massa aliran angin yang melalui per-satuan waktu adalah:

$$m = \rho A_1 u_1 \quad (2.6.1f)$$

Substitusikan ke persamaan (2.6.1b):

$$P_T = \rho A_1 u_1^2 (u_0 - u_2) \quad (2.6.1g)$$

Kemudian substitusikan persamaan u_2 dari persamaan (2.6.1e):

$$P_T = \rho A_1 u_1^2 [u_0 - (2u_1 - u_0)] = 2 \rho A_1 u_1^2 (u_0 - u_1) \quad (2.6.1h)$$

Interference factor a adalah faktor penurunan kecepatan angin pada turbin, sehingga:

$$a = \frac{(u_0 - u_2)}{u_0} \text{ atau } u_1 = (1 - a) u_0 \quad (2.6.1i)$$

melalui persamaan (2.6.1e):

$$a = \frac{(u_0 - u_2)}{2u_0} \quad (2.6.1j)$$

Dari persamaan (2.6.1i) substitusikan u_1 ke persamaan (2.6.1h):

$$P_T = 2 \rho A_1 (1 - a)^2 u_0^2 [u_0 - (1 - a) u_0]$$

$$P_T = [4a (1 - a)^2 \left(\frac{1}{2} \rho A_1 u_0^3\right)] \quad (2.6.1k)$$

Dengan membandingkan persamaan (2.6.1h) dengan persamaan $P_0 = \frac{1}{2} \rho A_1 u_0^3$:

$$P_T = C_p P_0 \quad (2.6.1l)$$

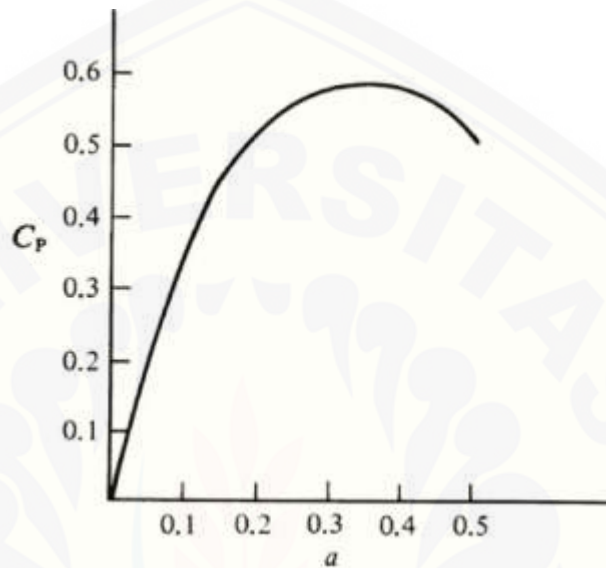
Dimana P_0 adalah daya angin yang tersedia, C_p adalah koefisien daya:

$$C_p = 4a (1 - a)^2 \quad (2.6.1m)$$

Maksimum nilai C_p pada model saat nilai $a = 1/3$, seperti pada gambar (2.6.1.2):

$$C_{pmax} = 16/27 = 0,5925$$

Dari perkiraan model saat $a = 1/3$, diperoleh $u_1 = 3 u_0 / 4$ dan $u_2 = u_0 / 2$; saat $a = 0,5$, $u_1 = u_0 / 2$ dan $u_2 = 0$.



Gambar 2.16 Koefisien daya C_p sebagai fungsi faktor a
(Sumber: Marpaung, 2011)

2.8 Parameter Dasar Persamaan Konversi Angin

2.8.1 Daya Total Energi Angin

Daya total aliran angin yang masuk berbentuk area silinder dengan laju aliran energi kinetik dimana nilai massa m yaitu:

$$m = \rho A V \quad (\text{Kg/s})$$

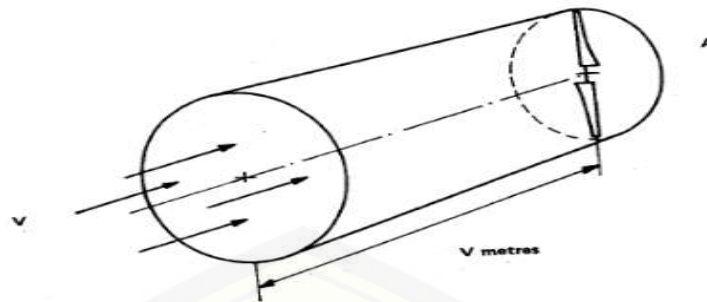
Maka energi kinetik per detik P_{kin} adalah

$$P_{total} = \frac{1}{2} (\rho A V) V^2 = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (\text{W})$$

Dimana: ρ = kerapatan udara (kg/m^3)

A = daerah sapuan baling-baling rotor (m^2)

V = kecepatan angin tanpa gangguan (m/s)



Gambar 2.17 Daerah hembusan angin
(Sumber: Marpaung, 2011)

2.8.2 Daya Maksimum Energi Angin

Apabila kita asumsikan pada gambar di bawah ini adalah ketebalan sudu, tekanan, dan kecepatan angin masuk sudu masing-masing ρ_i dan V_i , sedangkan tekanan dan kecepatan angin keluar sudu adalah ρ_e dan V_e , dimana kecepatan keluar sudu lebih kecil dari kecepatan masuk sudu karena energi kinetik karena energi angin telah diserap sudu.

Udara masuk diantara daerah i dan a dianggap sebagai suatu sistem termodinamik dimana massa jenis udara dianggap konstan (perubahan tekanan dan temperatur sangat kecil dibandingkan disekitarnya) dan tidak ada energi potensial serta tidak ada penambahan panas dan kerja yang dilakukan sistem.

Persamaan energi untuk daerah masuk i dan a adalah

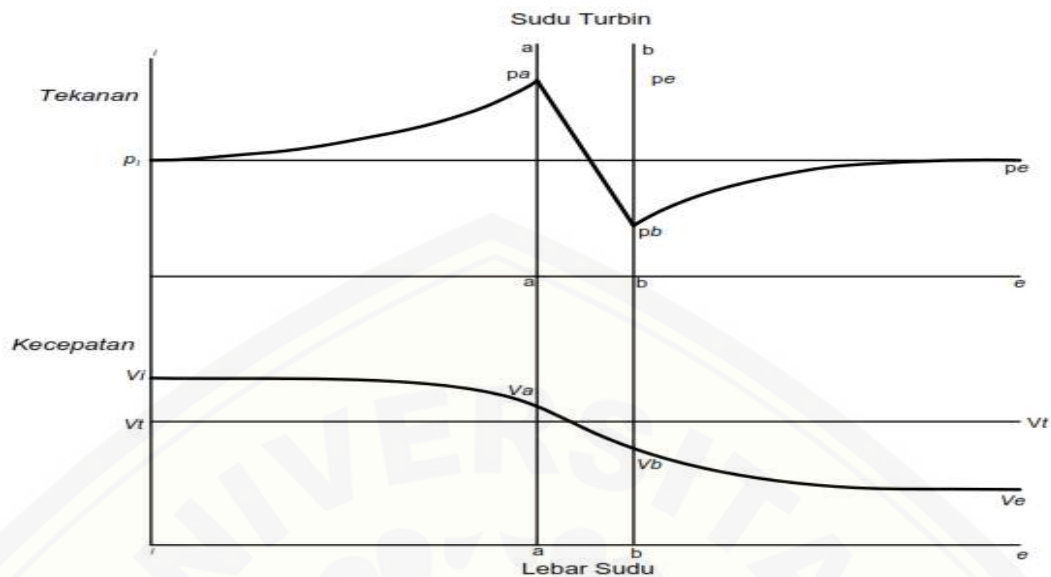
$$\rho_i v + \frac{v_i^2}{2} = \rho_a v + \frac{v_a^2}{2} \quad (2.7.2a)$$

Dikalikan dengan densitas ($\rho = \frac{1}{v}$) maka:

$$\rho_i + \rho \frac{v_i^2}{2} = \rho_a + \rho \frac{v_a^2}{2} \quad (2.7.2b)$$

dengan cara yang sama daerah keluar $b - e$ adalah

$$\rho_e + \rho \frac{v_e^2}{2} = \rho_b + \rho \frac{v_b^2}{2} \quad (2.7.2c)$$



Gambar 2.18 Diagram tekanan dan kecepatan angin pada sudu rotor turbin
(Sumber: Marpaung, 2011)

kemudian dengan menggabungkan persamaan (2.7.2b) dan (2.7.2c) diperoleh persamaan:

$$p_a - p_b = \left(p_i + \rho \frac{V_i^2 - V_a^2}{2} \right) - \left(p_e \frac{V_e^2 - V_b^2}{2} \right) \quad (2.7.2d)$$

dengan mengansumsikan:

$V_a = V_b = V$ (karena tebal sudu relatif kecil dibanding jarak total dan $p_e = p_i$ maka persamaan 2.7.2d diatas dapat disederhanakan menjadi:

$$p_a - p_b = \rho \frac{V_i^2 - V_e^2}{2} \quad (2.7.2e)$$

Gaya aksial aliran angin, F_x yang mengenai sudu dengan luas yang tegak lurus arah aliran A , diberikan oleh:

$$F_x = (p_a - p_b) A \quad (2.7.2f)$$

$$F_x = \rho A \left(\frac{V_i^2 - V_e^2}{2} \right) \quad (2.7.2g)$$

Gaya yang sebanding dengan momentum angin (ΔmV) dimana $m = \rho A V_t$ dan $F_x = m (V_i - V_e)$ maka:

$$\rho A V_t (V_i - V_e) = \rho A \left(\frac{V_i^2 - V_e^2}{2} \right) \quad (2.7.2h)$$

$$V_t = \frac{1}{2} (V_i + V_e) \quad (2.7.2i)$$

Sekarang kita anggap sistem yang berada diantara i dan e sebagai suatu sistem termodinamik total. Tidak ada perubahan energi potensial, energi dalam (T_i dan T_e) dan energi aliran ($p_i V = p_e V$) serta tidak ada kalor yang diberikan ataupun kalor yang keluar. Persamaan umum energi dapat direduksi menjadi kerja aliran *steady* dan energi kinetik aliran.

$$W = Ek_i - Ek_e = m \left(\frac{V_i^2 - V_e^2}{2} \right) \quad (2.7.2j)$$

Daya P adalah jumlah daya. Dari persamaan (2. 7.2j) diperoleh:

$$P = m \left(\frac{V_i^2 - V_e^2}{2} \right) \quad (2.7.2k)$$

$$P = \frac{1}{2} \rho A V_i (V_i^2 - V_e^2) \quad (2.7.2l)$$

Dari persamaan (2.7.2i) dan (2.7.2l) diperoleh:

$$P = \frac{1}{4} \rho A (V_i + V_e) (V_i^2 - V_e^2) \quad (2.7.2m)$$

Berdasarkan persamaan (2.7.2i), P_{total} jika $V_t = V_i$ dan $V_e = 0$, artinya daya total angin diserap apabila pada saat meninggalkan sudu angin kehilangan seuruh kecepatannya. Sedangkan daya maksimum P_{max} terjadi apabila kecepatan sisi keluar berupa $V_{e,opt}$ yang besarnya dapat dihitung.

P_{max} dihitung dengan mendeferensialkan P pada persamaan (2.7.2m) terhadap V_e dan menjadikan turunannya sama dengan 0, maka:

$$\frac{\partial P}{\partial V_e} = 0 \quad (2.7.2n)$$

$$3V_e^2 + 2 V_i V_e - V_i^2 = 0 \quad (2.7.2o)$$

Persamaan (2.7.2o) menghasilkan $V_{e,opt}$ untuk nilai V_e positif dimana:

$$V_{e,opt} = \frac{1}{3} V_i \quad (2.7.2p)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.7.2p) ke persamaan (2.7.2m) diperoleh:

$$P_{max} = \frac{8}{27} \rho A V_i^3 \quad (2.7.2q)$$

2.9 Perubahan Arah dan Kecepatan Angin Terhadap Jarak

Perubahan arah atau kecepatan angin saat melalui jarak tertentu sering dikenal dengan sebutan *Wind shear*. *Wind shear* dapat juga terjadi secara vertikal.

Perubahan kecepatan angin terhadap ketinggian, horizontal *wind shear* merupakan faktor utama dalam memperkirakan produksi energi melalui turbin angin. Perubahan kecepatan angin terhadap ketinggian salah satunya disebabkan perbedaan kondisi atmosfer.



(a) *Wind shear* terhadap ketinggian (b) *Wind shear* disebabkan arah angin.

Gambar 2.19 Macam-macam *Wind Shear*

(Sumber: Marpaung, 2011)

Metode umum yang memperkirakan kecepatan angin untuk ketinggian yang lebih tinggi dengan mengetahui kecepatan angin pada ketinggian yang lebih rendah disebut *power law*. *Power law* untuk *wind shear* adalah:

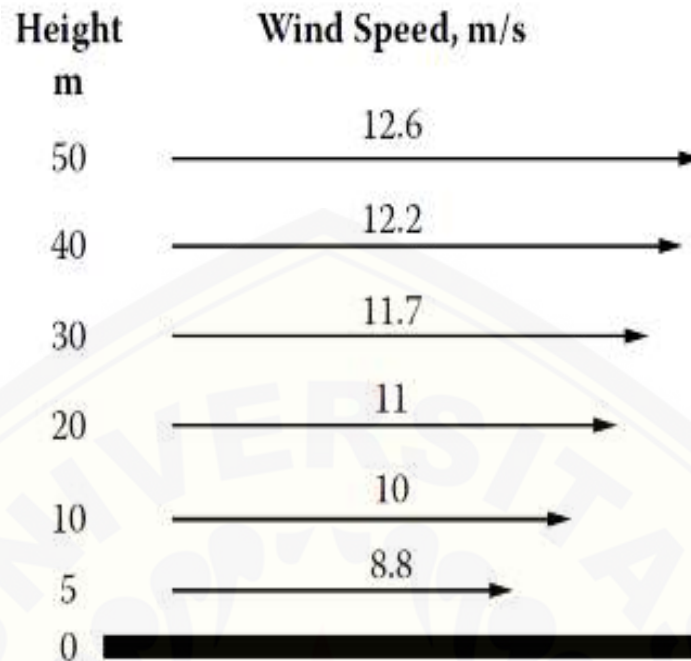
$$u = u_0 \left(\frac{H}{H_0} \right)^\alpha$$

dimana u_0 = kecepatan angin yang telah diukur pada ketinggian tertentu (m/s).

H_0 = Ketinggian pada kecepatan angin u_0 (m).

H = Ketinggian (m).

Eksponen *wind shear* α , berkisar 1/7 (0,14) untuk atmosfer dalam kondisi stabil. Bagaimanapun nilai α berubah-ubah tergantung pada daerah dan kondisi atmosfer. Perubahan kecepatan angin terhadap ketinggian dapat diperkirakan pada gambar dibawah ini dengan catatan nilai $\alpha = 0,14$. Ketinggian 10 m merupakan standart ketinggian dunia untuk mengukur cuaca, sehingga menggunakan ketinggian 10 m dan eksponen *wind shear* 0,14 untuk memperkirakan potensi daya angin untuk sampai pada ketinggian 50 m untuk beberapa daerah lokasi yang diperkirakan daerah tersebut merupakan *wind farm*.



Gambar 2.20 *Wind shear* perubahan kecepatan angin terhadap ketinggian. Dihitung untuk kecepatan angin 10 m/s pada ketinggian 10 m, $\alpha = 0,14$.
(Sumber: Marpaung, 2011)

2.10 Pitch Angle

Blade turbin angin merupakan bagian penting dalam pembangunan turbin angin. Perkembangan teknologi yang begitu pesat telah memberikan kesempatan kepada para perancang untuk membuat *blade* dengan berbagai bentuk yang bervariasi meliputi bahan, ukuran, jenis *blade*, dan jumlah *blade*. Pada turbin angin dengan tipe horizontal (HAWT)/*propeller* terdapat beberapa persyaratan penting yang menuntut setiap perancang untuk benar-benar memberikan perhatian yang lebih dikarenakan hal ini sangat penting. Beberapa hal tersebut seperti jumlah *blade*, panjang *chord*, jenis airfoil, dan bahan baku *blade*. Sesuai dengan teori ketika *blade* dikenai angin dari arah depan, maka *blade* akan menghasilkan vektor gaya yang disebut *lift* / L (gaya angkat) dan *drag* D / (gaya dorong).

Perubahan gaya angkat dan gaya dorong secara langsung akan dipengaruhi oleh bentuk geometri *blade*, kecepatan dan arah angin terhadap garis utama *blade*. Akibat dari perubahan gaya angkat dan gaya dorong maka kecepatan sudut dan nilai torsi poros turbin akan berubah. Hal ini menunjukkan bahwa bentuk

aerodinamis *blade* sangat dipengaruhi oleh posisi kemiringan dari sudut *blade* terhadap arah hembusan angin, maka posisi α (sudut serang) akan berubah. Dengan adanya *control* sudut *blade* ini maka akan mempengaruhi kecepatan sudut turbin angin yang nilainya berbanding lurus dengan produksi energi angin yang diekstrak turbin angin melalui *blade*. Dengan demikian adanya kontrol sudut *blade* ini diharapkan dapat meningkatkan putaran shaft dari rotor generator pada pembangkit listrik angin. Jumlah *blade* dan dimensi rotor turbin angin memiliki pengaruh dominan terhadap kemampuan turbin angin dalam mengekstrak energi angin pada *blade*. Semakin besar ukuran diameter rotor maka semakin besar pula area sapuan angin oleh *blade*. Keadaan ini akan memberikan pengaruh terhadap kecepatan rotasi turbin angin. Pada ukuran rotor yang makin besar akan menghasilkan koefisien daya semakin besar, keadaan ini mengakibatkan kecepatan putaran turbin menjadi lebih rendah. Turbin angin sumbu horizontal secara umum memiliki tiga *blade* atau lebih banyak.

Pada turbin angin kontrol sudut *pitch* dilakukan untuk menyesuaikan ekstraksi daya yang dihasilkan agar lebih maksimum dan tidak melebihi ambang batas kerja agar tidak terjadi kerusakan yang disebabkan oleh kecepatan angin yang berfluktuasi. Daya angin yang dapat ditangkap dan diekstrak oleh sistem turbin angin sumbu horizontal seperti kita ketahui bersama dirumuskan sebagai berikut:

$$P = \frac{1}{2} \rho_{air} C_p A_r V_w^3 \quad (2.11a)$$

Dari rumus tersebut diketahui bahwa daya angin selain bergantung pada kecepatan angin juga bergantung pada nilai C_p . Semakin besar nilai C_p maka semakin besar pula daya yang dapat diolah oleh turbin angin. Besaran C_p merupakan fungsi dari *tip speed ratio* $[\lambda]$ dan sudut *pitch* $[\theta]$. Sehingga persamaan diatas dapat ditulis menjadi:

$$P = \frac{1}{2} \rho_{air} C_p(\lambda, \theta) A_r V_w^3 \quad (2.11b)$$

dimana: P = Daya (W)

ρ_{air} = kerapatan udara (kg/m^3)

A_r = luas/daerah sapuan baling-baling rotor (m^2)

V_w = kecepatan angin tanpa gangguan (m/s)

λ = *tip speed ratio*

θ = sudut *pitch*

C_p = koefisien daya

Sedangkan λ sendiri dirumuskan sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{\omega}{v} R \quad (2.11c)$$

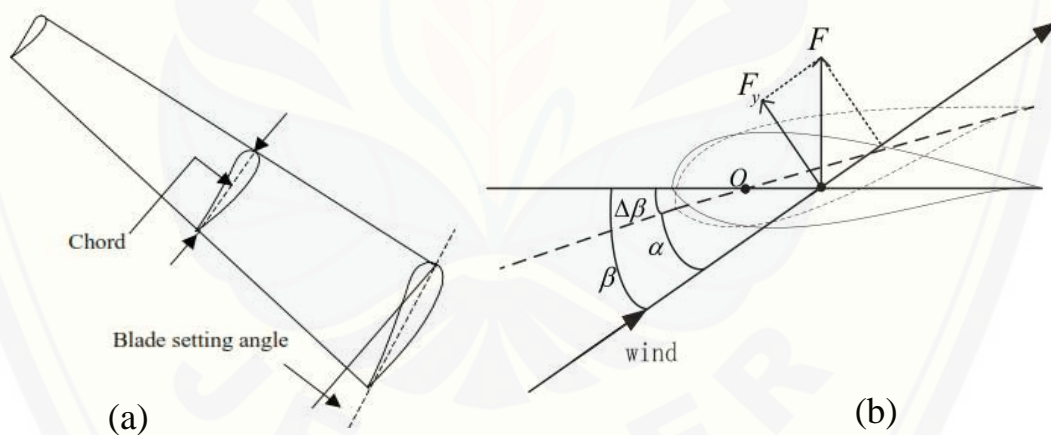
dimana: λ = *tip speed ratio*

ω = kecepatan sudut (rps)

v = kecepatan angin (m/s)

R = jari-jari rotor *blade* (m)

jika ω adalah konstan sesuai set point yang diinginkan dan R *blade* adalah konstan, maka C_p hanya akan bergantung pada v dan θ . Dikarenakan v tidak dapat dikontrol maka θ dijadikan variabel yang akan dikontrol sebagai kompensasi perubahan kecepatan angin (v) untuk memperoleh daya yang diinginkan.



Gambar 2.21 (a) dan (b) Detail kontrol *pitch angle*

Gambar 2.21 (a) diatas terlihat bagaimanakah perubahan sudut (*angle*) dari *blade/cord* turbin angin. Gambar *blade* bagian atas adalah keadaan awal *blade* sebelum pengontrolan *pitch angle* sedangkan *blade* bagian bawah adalah keadaan *blade* setelah pengontrolan *pitch angle* yang ditandai perubahan sudut *blade*. Sedangkan gambar 2.21 (b) merupakan bagian-bagian dari *blade pitch angle* dimana α adalah *pitch angle*, F adalah resultan gaya dari gaya dorong dan gaya angkat, F_y adalah gaya angkat, $\Delta\beta$ adalah sudut serang, dan β adalah aliran sudut.

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang akan dilakukan yaitu *direct observation* atau observasi langsung ke lapangan. Observasi lapangan ini bertujuan untuk mengambil data mengenai kecepatan angin yang ada di pantai puger dengan menggunakan anemometer. Selanjutnya, akan di simulasikan untuk mendapatkan energi listrik yang optimal.

3.2 Tempat dan Waktu

Penelitian ini di lakukan di daerah Jember bagian selatan. Lebih tepatnya proses penelitian ini dilakukan di daerah pantai Pancer Puger, Kecamatan Puger dan jalan mawar gang 21 Jember. Penelitian ini di lakukan pada bulan agustus 2015 sampai dengan selesai.

3.3 Pengumpulan Data

Pengumpulan data diperoleh oleh penulis melalui dua bagian yaitu:

3.3.1 Penelitian Kepustakaan (*library research*)

Penelitian kepustakaan atau (*library research*) atau juga sering disebut studi pustaka merupakan proses pengambilan data baik untuk latar belakang atau pun landasan teori yang berasal dari buku-buku, internet, *International Journal*, Jurnal nasional, maupun *e-book*. Data-data yang ada kumpulkan secara selektif sesuai dengan kebutuhan yang ada seperti semakin tingginya kebutuhan listrik dari tahun ke tahun dan lain sebagainya. Data-data ini selanjutnya akan dijadikan referensi oleh peneliti/penulis untuk proses penelitian dan penyusunan skripsi. Data yang diperoleh dari studi pustaka ini merupakan data sekunder di karenakan mengutip dari berbagai referensi tanpa langsung terjun ke lapangan.

3.3.2 Penelitian Observasi Langsung (*direct observation*)

Penelitian ini dilakukan dengan cara terjun langsung ke lapangan. Untuk penelitian kali ini tempat yang akan dilakukan penelitian adalah pantai Pancer Puger, Kecamatan Puger, Jember, Jawa Timur, Indonesia. Pada proses penelitian ini berfungsi untuk mengambil data yang dibutuhkan secara langsung langsung yaitu data kecepatan angin yang ada di daerah tersebut. Jenis data ini merupakan data primer karena dilakukan observasi langsung dengan terjun ke lapangan.

3.3.3 Kajian Data Penelitian

Kajian data penelitian bertujuan untuk mengetahui sejauh mana arah dan perkembangan penelitian dari penelitian yang di pilih yaitu mengenai *angle pitch control* pada turbin angin. Data yang didapatkan merupakan data sekunder yang berasal dari penelitian-penelitian paten maupun data yang berasal dari jurnal-jurnal.

3.4 Pengolahan Data

Teknik pengolahan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah teknik pengolahan data secara sistematis. Data-data yang diperoleh melalui studi pustaka dan *direct observation* akan diolah sesuai dengan kebutuhan untuk proses penelitian. Data-data ini akan digunakan untuk proses penyelesaian penelitian mengenai *angle pitch control* ini.

3.5 Metode Analisis dan Sintesis

Metode pendekatan analisis dan sintesis yang dilakukan dalam penulisan skripsi ini adalah:

3.5.1 Metode Analisa Deskriptif

Metode ini merupakan analisis untuk mengolah dan menafsirkan data yang diperoleh sehingga dapat menggambarkan keadaan yang sebenarnya pada obyek yang dikaji.

3.5.2 Metode Analisa Komparatif

Metode ini merupakan metode yang digunakan untuk membandingkan antara keadaan atau penelitian yang sudah ada dengan penelitian yang akan dikembangkan oleh penulis/peneliti. Hal ini bertujuan agar adanya proses kemajuan perkembangan penelitian dari yang terdahulu.

3.6 Jadwal Pelaksanaan Penelitian

No.	Kegiatan	Bulan/Minggu															
		September				Oktober				November				Desember			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1.	Persiapan																
2.	Studi Pustaka																
3.	Pengambilan Data																
4.	Analisis Data																
5.	Kesimpulan dan Saran																
6.	Penulisan Tugas Akhir																

3.7 Alat dan bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Laptop
2. Anemometer

3.8 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang digunakan dalam skripsi ini meliputi beberapa tahap. Tahap demi tahap ini dilakukan secara sistematis untuk mendapatkan hasil penelitian sesuai yang diharapkan. Adapun tahapan atau langkah-langkah dalam penelitian dan penyusunan skripsi kali ini yaitu:

3.8.1 Tahap Persiapan

Tahap persiapan ini meliputi beberapa hal seperti proses penentuan topik, judul, pengurusan proses administrasi, bimbingan awal dengan dosen, seminar proposal, dan lain sebagainya. Proses pengurusan administrasi seperti izin kepada kampus dan pihak terkait lain untuk melakukan observasi lapang serta proses peminjaman beberapa alat yang dibutuhkan. Tahap persiapan ini sebagai langkah awal dalam menentukan proses penelitian lebih lanjut.

3.8.2 Studi Literatur

Studi literatur ini bertujuan untuk mendapatkan beberapa data yang dibutuhkan baik untuk latar belakang, landasar/dasar teori, maupun metode-metode yang akan digunakan dalam penelitian. Proses studi literatur ini menggunakan beberapa jurnal baik jurnal nasional maupun internasional, buku-buku, dan artikel-artikel terkait yang dibutuhkan untuk menunjang penelitian.

3.8.3 Pengambilan Data Observasi Langsung

Pengambilan data yang dilakukan disini adalah mengenai data kecepatan angin yang ada di pantai Pancer Puger, Kecamatan Puger, Jember, Jawa Timur, Indonesia. Data ini akan diambil selama kurang lebih 30 hari yang akan dicatat setiap jamnya. Selain itu setiap data pada setiap jam memiliki ketinggian yang berbeda-beda mulai dari 7.3 m, 20.6 m, dan 43.2 m. Hal ini dilakukan untuk mengetahui berapa kecepatan angin pada ketinggian tertentu pada setiap jamnya pada satu bulan penuh.

Tabel 3.1 Data Kecepatan Angin

Tanggal	Jam	Kecepatan			Tanggal	Jam	Kecepatan		
		7.3	20.6	43.2			7.3	20.6	43.2
	0:00:00					12:00:00			
	1:00:00					13:00:00			
	2:00:00					14:00:00			
	3:00:00					15:00:00			
	4:00:00					16:00:00			
	5:00:00					17:00:00			
	6:00:00					18:00:00			
	7:00:00					19:00:00			
	8:00:00					20:00:00			
	9:00:00					21:00:00			
	10:00:00					22:00:00			
	11:00:00					23:00:00			

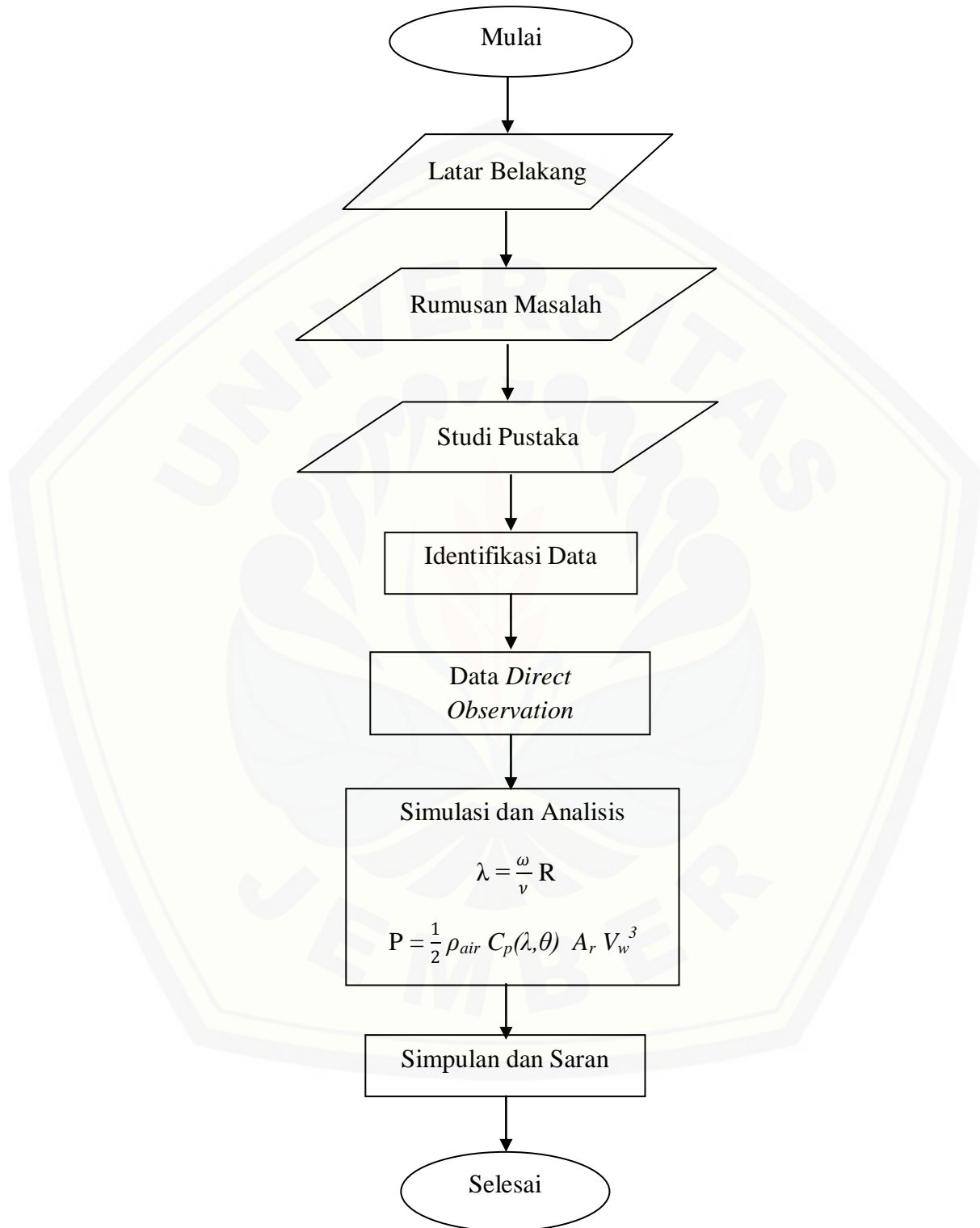
3.8.4 Analisis Data

Analisis data yang digunakan dalam penelitian ini mengenai kecepatan angin dan generator *speed*. Hal ini kemudian dianalisis untuk menghasilkan *pitch angle control* yang berupa sudut. Ketika kecepatan angin dan generator dengan nilai sekian maka *pitch angle control* yang bagus untuk mendapatkan nilai daya listrik yang bagus adalah sekian.

3.8.5 Pengambilan Kesimpulan dan Saran

Proses pengambilan kesimpulan dan saran ini merupakan bagian inti dari proses penelitian yang ada. Pada bagian ini pengambilan kesimpulan dan saran diambil dari proses analisis data dan pembahasan. Saran diperlukan untuk menunjang proses penelitian lebih lanjut, baik menggunakan metode lain atau pengembangan dan penyempurnaan penelitian yang dilakukan oleh penulis/peneliti.

3.9 Diagram Alir/Flowchart Penelitian



Gambar 3.1 Flowchart penelitian

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian kali ini yaitu:

1. Simulasi *blade angle pitch control* dengan menggunakan *fuzzy logic controller* telah berhasil dimana ditandai dengan nilai dari daya listrik yang tetap konstan yaitu 2000 W misalnya ketika nilai dari kecepatan angin mulai naik diatas kecepatan nominal 9 m/s, namun nilai dari daya listriknya tetap 2000 W sehingga hal ini tidak dapat merusak dari turbin angin yang digunakan.
2. Nilai dari daya listrik tanpa dan sesudah dilakukan *pitch angle control* dengan kontrol *fuzzy logic* mengalami perubahan, misalnya pada saat kecepatan angin 10.05 m/s tanpa pengontrolan nilai dari daya listriknya 2450 Watt dan *pitch angle* 0 degree sedangkan ketika dengan proses pengontrolan nilai dari daya listriknya 2000 Watt dan *pitch angle* 2 degree.

5.2 Saran

Ada pun beberapa saran untuk penelitian pengembangan yang lebih lanjut diantaranya yaitu:

1. Perlu mengembangkan bagian kontrol lain dari nilai C_p yaitu λ (*tip speed ratio*) agar memiliki komponen yang lengkap untuk mendapatkan nilai daya yang lebih baik, jadi komponen yang ada dalam C_p yaitu λ (*tip speed ratio*) dan θ (*pitch angle*) sudah terkontrol semua.
2. Perlu adanya aplikasi langsung pada turbin angin mengenai adanya pengembangan kontrol *pitch angle* ini.
3. Perlu ada kerja sama dengan pihak-pihak terkait mengenai pengembangan dari pembangkit listrik tenaga angin dengan menggunakan *pitch angle control*.

DAFTAR PUSTAKA

- Ackermann, T. (2005). *Wind Power in Power systems*. John Wiley & Sons, Ltd, ISBN 0-47085508-8 (HB), England.
- Anonim. 2010. *Penduduk Indonesia*. <http://www.indonesia-investments.com/id/budaya/demografi/item67> [Diakses 25 Juni 2015].
- Anonim. 2014. *Kebutuhan Listrik Indonesia Tumbuh 8,4% per tahun*. <http://www.energitoday.com/2014/04/01/kebutuhan-listrik-indonesia-tumbuh-84-per-tahun/> [Diakses 25 Juni 2015].
- Anonim. *Wuxi Kardinal Wind Power Technology Co, LTD*. <http://b2b.bridgat.com/id/u11382> [Diakses 22 Desember 2015].
- Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. 2014. *Outlook Energi Indonesia 2014*. Jakarta: BPPT.
- Badan Pusat Statistika. 2010. *Jumlah dan Distribusi Penduduk*. <http://sp2010.bps.go.id/> [Diakses 25 Juni 2015].
- Budianto, D. 2014. *Pemanfaatan Kincir Angin Sebagai Energi Terbarukan di Pandansimo Baru Yogyakarta*. <http://www.mproject.xyz/2014/01/pemanfaatan-kincir-angin-sebagai-energi.html> [Diakses 25 Juni 2015].
- Burton, T., Sharpe, D., Jenkins, N., Bossanyi. E. 2001. *Wind Energy 15 Handbook*. New York: John Wiley & Sons, LTD.
- Calderaro, V., Galdi, V., Piccolo, A., Siano, P. 2008. *A fuzzy controller for maximum energy extraction from variable speed wind power generation systems*. Electric Power Systems Research vol. 8 pp.1109–1118.
- Chen, Z. & Spooner, E. 2001. *Grid Power Quality with Variable Speed Wind Turbines*. IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 16, No 2, pp 148-154.
- Delmerico, R.W., Miller, N., Price, W.W., Sanchez-Gasca, J.J. 2003. *Dynamic Modelling of GE 1.5 and 3.6 MW Wind Turbine-Generators for*

- Stability Simulations*, IEEE Power Engineering Society PES General Meeting. Toronto.
- Endro, B. 2008. *Pengujian Rotor Blades Horizontal Axis Wind Turbine dengan NACA 0012, 4412, 4415 untuk Kecepatan 2-5 m/s*. Surabaya: Institute Teknologi Sepuluh Nopember.
- ESDM. 2005. *Blueprint Pengelolaan Energi Nasional*. Jakarta: ESDM.
- Gaillard, A., Poure, P., Saadate, S., Machmoum, M. 2009. *Variable speed DFIG wind energy system for power generation and harmonic current mitigation*. *Renewable Energy*, vol. 34, pp.1545–1553.
- Habibie, M. N., Sasmito, A., dan Kurniawan, R. 2011. *Kajian Potensi Angin di Sulawesi dan Maluku*. Jakarta: Puslitbang BMKG.
- Harika, A., Ronny., Musyafa, A. 2009. *Rancang Bangun Blade Pitch Angle Control System Berbasis Classic Fuzzy Pada Prototype Wind Turbine*. Surabaya: Teknik Fisika FTI-ITS.
- Jang, J. S. 1997. *Neuro-Fuzzy and Soft Computing*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Jhonson, K. E. 2004. *Adaptive Torque Control of Variable Speed Wind Turbines; National Renewable Energy Laboratory : Colorado*.
- Kocatepe, C., Inan, A., Arikan, O., Yumurtaci, R., Kekezoglu, B., Baysal, M., Bozkurt, A., Akkaya, Y. 2009. *Power quality assessment of grid-connected wind farms considering regulations in Turkey*”, *Renewable and Sustainable Energy*, vol.13, pp. 2553–2561.
- Ledesma, J. Usaola, J. L., Rodriguez. 2003. *Transient stability of a fixed speed wind farm*: *Renewable Energy*, pp.41–55.
- Mansur, A., Nikmatullah, N. A., 2014. *Simulasi Koneksi Grid Turbin Angin Dengan Generator Induksi Penguatan Sendiri*. Makassar: Universitas Hasannuddin.
- Marpaung, S. 2011. *Energi Angin*. Sumatra Utara: Repository USU.
- Mathew, S. 2006. *Wind Energy: Fundamentals, Resource Analysis and Economics*. Kerala: Springer.

- Nugroho K. A., 2009. *Energi Angin dan Potensinya*. <https://konversi.wordpress.com/2009/03/25/energy-angin-dan-potensinya/> [Diakses 25 Juni 2015].
- Polinder, H. 2006. *Basic Operation Principles and Electrical Conversion Systems of Wind Turbines*. Journal.
- Prasetya, E. Y. 2015. *Efisiensi Turbin Angin Vertical Axis*. <http://imperishable173.blogspot.co.id/2016/01/efisiensi-turbin-angin-vertical-axis.html> [Diakses 25 Juni 2015].
- Pratama, D.P., Lelono, B., Musyafa, A. 2011. *Rancang Bangun Sistem Pengendalian Blade Pitch Angle Pada Prototipe Turbin Angin Berbasis Neuro-Fuzzy*. Surabaya: Teknik Fisika FTI-ITS.
- Setiawan, R. 2011. *Pembangkit Listrik Tenaga Angin Sebagai Sumber Energi Alternatif di Parangtritis*. Yogyakarta: UNY.
- Sharma, H. 2007. *Effect Of Pitch Control And Power Conditioning On Power Quality Of Variable Speed Wind Turbine Generators*. Murdoch University Energy Research Institute (Mueri).
- Slootweg, J. G., Kling, W. L. 2005. *Impacts of wind power on power system Dynamics Wind power in power systems*. England: John Wiley & Sons, p. 629–53.
- Sutrisna, K. F. 2008. *Tantangan Indonesia : Investasi besar-besaran dalam pengembangan energi yang terbarukan*. <https://konversi.wordpress.com/2008/11/02/tantangan-indonesia-investasi-besar-besaran-dalam-pengembangan-energi-yang-terbarukan/> [Diakses 25 Juni 2015].
- Universitas Jember. 2011. *Pedoman Penulisan Karya Ilmiah*. Jember: Jember University Press.
- World Wind Energy Association. 2011. *World Wind Energy Conference & Renewable Energy Exhibition*. Cairo: World Wind Energy Association.

LAMPIRAN

A. Data Kecepatan Angin

Tabel A.1 Data Kecepatan Angin pada hari ke-1

Tanggal	Jam	Kecepatan			Daya Listrik (W) Tanpa Kontrol			Daya Listrik (W) Dengan Kontrol		
		7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2
10/9/2015	0:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
10/9/2015	1:00:00	1.26	1.26	0.00	0	0	0	0	0	0
10/9/2015	2:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
10/9/2015	3:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
10/9/2015	4:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
10/9/2015	5:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
10/9/2015	6:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
10/9/2015	7:00:00	0.00	1.28	1.26	0	0	0	0	0	0
10/9/2015	8:00:00	1.26	2.51	2.51	0	0	0	0	0	0
10/9/2015	9:00:00	2.51	3.77	2.51	0	0	0	0	0	0
10/9/2015	10:00:00	3.77	5.02	2.51	0	0	0	0	78	0
10/9/2015	11:00:00	5.02	5.02	6.28	0	0	200	78	78	440
10/9/2015	12:00:00	3.77	6.28	7.54	0	200	860	0	440	910
10/9/2015	13:00:00	5.02	6.28	7.54	0	200	860	78	440	910
10/9/2015	14:00:00	3.77	6.28	8.79	0	200	1550	0	440	1600
10/9/2015	15:00:00	5.02	6.28	5.02	0	200	0	78	440	78
10/9/2015	16:00:00	5.02	6.28	5.02	0	200	0	78	440	78
10/9/2015	17:00:00	5.02	3.77	1.26	0	0	0	78	0	0
10/9/2015	18:00:00	2.51	2.57	1.26	0	0	0	0	0	0
10/9/2015	19:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
10/9/2015	20:00:00	1.26	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
10/9/2015	21:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
10/9/2015	22:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
10/9/2015	23:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
Daya Total					0	1000	3470	390	2356	4016

Tabel A.2 Data Kecepatan Angin pada hari ke-2

Tanggal	Jam	Kecepatan			Daya Listrik (W) Tanpa Kontrol			Daya Listrik (W) Dengan Kontrol		
		7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2
11/9/2015	0:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
11/9/2015	1:00:00	1.26	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
11/9/2015	2:00:00	1.26	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
11/9/2015	3:00:00	1.26	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
11/9/2015	4:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
11/9/2015	5:00:00	0.00	1.26	1.26	0	0	0	0	0	0
11/9/2015	6:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
11/9/2015	7:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
11/9/2015	8:00:00	0.00	2.51	2.51	0	0	0	0	0	0
11/9/2015	9:00:00	1.26	5.02	5.02	0	0	0	0	78	78
11/9/2015	10:00:00	2.51	6.28	6.28	0	200	200	0	440	440
11/9/2015	11:00:00	3.77	6.28	6.28	0	200	200	0	440	440
11/9/2015	12:00:00	5.02	6.28	6.28	0	200	200	78	440	440
11/9/2015	13:00:00	5.02	7.54	6.28	0	0	200	78	0	440
11/9/2015	14:00:00	5.02	6.28	7.54	0	200	0	78	440	0
11/9/2015	15:00:00	3.77	6.28	10.05	0	200	2450	0	440	2000
11/9/2015	16:00:00	5.02	6.28	8.79	0	200	1550	78	440	1600
11/9/2015	17:00:00	5.02	6.28	6.28	0	200	200	78	440	440
11/9/2015	18:00:00	2.51	6.28	6.28	0	200	200	0	440	440
11/9/2015	19:00:00	0.00	5.02	3.77	0	0	0	0	78	0
11/9/2015	20:00:00	0.00	1.26	1.26	0	0	0	0	0	0
11/9/2015	21:00:00	0.00	1.26	1.26	0	0	0	0	0	0
11/9/2015	22:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
11/9/2015	23:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
Daya Total					0	1600	5200	390	3598	6831

Tabel A.3 Data Kecepatan Angin pada hari ke-3

Tanggal	Jam	Kecepatan			Daya Listrik (W) Tanpa Kontrol			Daya Listrik (W) Dengan Kontrol		
		7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2
12/9/2015	0:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
12/9/2015	1:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
12/9/2015	2:00:00	0.00	1.26	1.26	0	0	0	0	0	0
12/9/2015	3:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
12/9/2015	4:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
12/9/2015	5:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
12/9/2015	6:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
12/9/2015	7:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
12/9/2015	8:00:00	0.00	3.77	0.00	0	0	0	0	0	0
12/9/2015	9:00:00	1.26	5.02	3.77	0	0	0	0	78	0
12/9/2015	10:00:00	2.51	6.28	2.51	0	200	0	0	440	0
12/9/2015	11:00:00	3.77	6.28	5.02	0	200	0	0	440	78
12/9/2015	12:00:00	3.77	6.28	5.02	0	200	0	0	440	78
12/9/2015	13:00:00	3.77	5.02	7.54	0	0	860	0	78	910
12/9/2015	14:00:00	2.51	6.28	8.79	0	200	1550	0	440	1600
12/9/2015	15:00:00	3.77	6.28	8.79	0	200	1550	0	440	1600
12/9/2015	16:00:00	2.51	5.02	5.02	0	0	0	0	78	78
12/9/2015	17:00:00	3.77	6.28	6.28	0	200	200	0	440	440
12/9/2015	18:00:00	2.51	2.51	2.51	0	0	0	0	0	0
12/9/2015	19:00:00	1.26	1.26	1.26	0	0	0	0	0	0
12/9/2015	20:00:00	1.26	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
12/9/2015	21:00:00	1.26	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
12/9/2015	22:00:00	1.26	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
12/9/2015	23:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
Daya Total					0	1600	4160	0	2875	4784

Tabel A.4 Data Kecepatan Angin pada hari ke-4

Tanggal	Jam	Kecepatan			Daya Listrik (W) Tanpa Kontrol			Daya Listrik (W) Dengan Kontrol		
		7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2
13/9/2015	0:00:00	1.26	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
13/9/2015	1:00:00	1.26	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
13/9/2015	2:00:00	1.26	1.26	1.26	0	0	0	0	0	0
13/9/2015	3:00:00	1.26	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
13/9/2015	4:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
13/9/2015	5:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
13/9/2015	6:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
13/9/2015	7:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
13/9/2015	8:00:00	0.00	0.00	2.51	0	0	0	0	0	0
13/9/2015	9:00:00	1.26	1.26	3.77	0	0	0	0	0	0
13/9/2015	10:00:00	2.51	2.51	5.02	0	0	0	0	0	78
13/9/2015	11:00:00	3.77	5.02	7.54	0	0	860	0	78	910
13/9/2015	12:00:00	3.77	6.28	5.02	0	200	0	0	440	78
13/9/2015	13:00:00	5.02	5.02	6.28	0	0	200	78	78	440
13/9/2015	14:00:00	5.02	6.28	5.02	0	200	0	78	440	78
13/9/2015	15:00:00	3.77	7.54	7.54	0	860	860	0	910	910
13/9/2015	16:00:00	3.77	6.28	6.28	0	200	200	0	440	440
13/9/2015	17:00:00	5.02	6.28	6.28	0	200	200	78	440	440
13/9/2015	18:00:00	5.02	5.02	5.02	0	0	0	78	78	78
13/9/2015	19:00:00	5.02	3.77	1.26	0	0	0	78	0	0
13/9/2015	20:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
13/9/2015	21:00:00	1.26	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
13/9/2015	22:00:00	1.26	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
13/9/2015	23:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
Daya Total					0	1660	2320	390	2904	3452

Tabel A.5 Data Kecepatan Angin pada hari ke-5

Tanggal	Jam	Kecepatan			Daya Listrik (W) Tanpa Kontrol			Daya Listrik (W) Dengan Kontrol		
		7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2
14/9/2015	0:00:00	0.00	1.26	1.26	0	0	0	0	0	0
14/9/2015	1:00:00	1.26	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
14/9/2015	2:00:00	1.26	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
14/9/2015	3:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
14/9/2015	4:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
14/9/2015	5:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
14/9/2015	6:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
14/9/2015	7:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
14/9/2015	8:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
14/9/2015	9:00:00	1.26	2.51	2.51	0	0	0	0	0	0
14/9/2015	10:00:00	1.26	3.77	3.77	0	0	0	0	0	0
14/9/2015	11:00:00	2.51	5.02	5.02	0	0	0	0	78	78
14/9/2015	12:00:00	2.51	5.02	5.02	0	0	0	0	78	78
14/9/2015	13:00:00	3.77	6.28	6.28	0	200	200	0	440	440
14/9/2015	14:00:00	3.77	6.28	6.28	0	200	200	0	440	440
14/9/2015	15:00:00	3.77	6.28	5.02	0	200	0	0	440	78
14/9/2015	16:00:00	3.77	6.28	6.28	0	200	200	0	440	440
14/9/2015	17:00:00	5.02	6.28	8.79	0	200	1550	78	440	1600
14/9/2015	18:00:00	5.02	6.28	7.54	0	200	860	78	440	910
14/9/2015	19:00:00	2.51	5.02	3.77	0	0	0	0	78	0
14/9/2015	20:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
14/9/2015	21:00:00	1.26	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
14/9/2015	22:00:00	1.26	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
14/9/2015	23:00:00	0.00	1.26	0.00	0	0	0	0	0	0
Daya Total					0	1200	3010	156	2874	4046

Tabel A.6 Data Kecepatan Angin pada hari ke-6

Tanggal	Jam	Kecepatan			Daya Listrik (W) Tanpa Kontrol			Daya Listrik (W) Dengan Kontrol		
		7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2
15/9/2015	0:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
15/9/2015	1:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
15/9/2015	2:00:00	0.00	1.26	1.26	0	0	0	0	0	0
15/9/2015	3:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
15/9/2015	4:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
15/9/2015	5:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
15/9/2015	6:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
15/9/2015	7:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
15/9/2015	8:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
15/9/2015	9:00:00	1.26	2.51	2.51	0	0	0	0	0	0
15/9/2015	10:00:00	1.26	5.02	3.77	0	0	0	0	78	0
15/9/2015	11:00:00	2.51	6.28	5.02	0	200	0	0	440	78
15/9/2015	12:00:00	3.77	6.28	6.28	0	200	200	0	440	440
15/9/2015	13:00:00	3.77	7.54	7.54	0	860	860	0	910	910
15/9/2015	14:00:00	3.77	7.54	8.79	0	860	1550	0	910	1600
15/9/2015	15:00:00	3.77	6.28	8.79	0	200	1550	0	440	1600
15/9/2015	16:00:00	3.77	6.28	7.54	0	200	860	0	440	910
15/9/2015	17:00:00	3.77	6.28	6.28	0	200	200	0	440	440
15/9/2015	18:00:00	5.02	5.02	5.02	0	0	0	78	78	78
15/9/2015	19:00:00	0.00	1.26	2.51	0	0	0	0	0	0
15/9/2015	20:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
15/9/2015	21:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
15/9/2015	22:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
15/9/2015	23:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
Daya Total					0	2720	5220	78	4176	6065

Tabel A.7 Data Kecepatan Angin pada hari ke-7

Tanggal	Jam	Kecepatan			Daya Listrik (W) Tanpa Kontrol			Daya Listrik (W) Dengan Kontrol		
		7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2
16/9/2015	0:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
16/9/2015	1:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
16/9/2015	2:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
16/9/2015	3:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
16/9/2015	4:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
16/9/2015	5:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
16/9/2015	6:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
16/9/2015	7:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
16/9/2015	8:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
16/9/2015	9:00:00	1.26	2.51	2.51	0	0	0	0	0	0
16/9/2015	10:00:00	1.26	3.77	3.77	0	0	0	0	0	0
16/9/2015	11:00:00	2.51	5.02	5.02	0	0	0	0	78	78
16/9/2015	12:00:00	3.77	6.28	6.28	0	200	200	0	440	440
16/9/2015	13:00:00	3.77	5.02	6.28	0	0	200	0	78	440
16/9/2015	14:00:00	3.77	6.28	6.28	0	200	200	0	440	440
16/9/2015	15:00:00	3.77	5.02	10.05	0	0	2450	0	78	2000
16/9/2015	16:00:00	3.77	6.28	6.28	0	200	200	0	440	440
16/9/2015	17:00:00	5.02	5.02	7.54	0	0	860	78	78	910
16/9/2015	18:00:00	5.02	3.77	3.77	0	0	0	78	0	0
16/9/2015	19:00:00	0.00	0.00	2.51	0	0	0	0	0	0
16/9/2015	20:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
16/9/2015	21:00:00	1.26	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
16/9/2015	22:00:00	1.26	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
16/9/2015	23:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
Daya Total					0	600	4110	156	1632	4748

Tabel A.8 Data Kecepatan Angin pada hari ke-8

Tanggal	Jam	Kecepatan			Daya Listrik (W) Tanpa Kontrol			Daya Listrik (W) Dengan Kontrol		
		7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2
17/9/2015	0:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
17/9/2015	1:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
17/9/2015	2:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
17/9/2015	3:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
17/9/2015	4:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
17/9/2015	5:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
17/9/2015	6:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
17/9/2015	7:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
17/9/2015	8:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
17/9/2015	9:00:00	1.26	1.26	0.00	0	0	0	0	0	0
17/9/2015	10:00:00	2.51	1.26	1.26	0	0	0	0	0	0
17/9/2015	11:00:00	5.02	5.02	6.28	0	0	200	78	78	440
17/9/2015	12:00:00	3.77	5.02	7.54	0	0	860	0	78	910
17/9/2015	13:00:00	5.02	6.28	8.79	0	200	1550	78	440	1600
17/9/2015	14:00:00	5.02	6.28	10.05	0	200	2450	78	440	2000
17/9/2015	15:00:00	3.77	7.54	10.05	0	860	2450	0	910	2000
17/9/2015	16:00:00	5.02	7.54	10.05	0	860	2450	78	910	2000
17/9/2015	17:00:00	5.02	6.28	6.28	0	200	200	78	440	440
17/9/2015	18:00:00	3.77	5.02	6.28	0	0	200	0	78	440
17/9/2015	19:00:00	2.51	3.77	3.77	0	0	0	0	0	0
17/9/2015	20:00:00	0.00	0.00	2.51	0	0	0	0	0	0
17/9/2015	21:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
17/9/2015	22:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
17/9/2015	23:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
Daya Total					0	2320	10360	390	3374	9830

Tabel A.9 Data Kecepatan Angin pada hari ke-9

Tanggal	Jam	Kecepatan			Daya Listrik (W) Tanpa Kontrol			Daya Listrik (W) Dengan Kontrol		
		7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2
18/9/2015	0:00:00	0.00	1.26	0.00	0	0	0	0	0	0
18/9/2015	1:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
18/9/2015	2:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
18/9/2015	3:00:00	0.00	1.26	0.00	0	0	0	0	0	0
18/9/2015	4:00:00	0.00	1.26	0.00	0	0	0	0	0	0
18/9/2015	5:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
18/9/2015	6:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
18/9/2015	7:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
18/9/2015	8:00:00	0.00	0.00	2.51	0	0	0	0	0	0
18/9/2015	9:00:00	1.26	2.51	5.02	0	0	0	0	0	78
18/9/2015	10:00:00	1.26	3.77	6.28	0	0	200	0	0	440
18/9/2015	11:00:00	2.51	5.02	7.54	0	0	860	0	78	910
18/9/2015	12:00:00	3.77	5.02	8.79	0	0	1550	0	78	1600
18/9/2015	13:00:00	2.51	6.28	6.28	0	200	200	0	440	440
18/9/2015	14:00:00	5.02	6.28	10.05	0	200	2450	78	440	2000
18/9/2015	15:00:00	3.77	6.28	8.79	0	200	1550	0	440	1600
18/9/2015	16:00:00	5.02	6.28	8.79	0	200	1550	78	440	1600
18/9/2015	17:00:00	3.77	6.28	6.28	0	200	200	0	440	440
18/9/2015	18:00:00	2.51	6.28	6.28	0	200	200	0	440	440
18/9/2015	19:00:00	0.00	5.02	3.77	0	0	0	0	78	0
18/9/2015	20:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
18/9/2015	21:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
18/9/2015	22:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
18/9/2015	23:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
Daya Total					0	1200	8760	156	2796	9548

Tabel A.10 Data Kecepatan Angin pada hari ke-10

Tanggal	Jam	Kecepatan			Daya Listrik (W) Tanpa Kontrol			Daya Listrik (W) Dengan Kontrol		
		7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2
19/9/2015	0:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
19/9/2015	1:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
19/9/2015	2:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
19/9/2015	3:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
19/9/2015	4:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
19/9/2015	5:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
19/9/2015	6:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
19/9/2015	7:00:00	0.00	1.26	0.00	0	0	0	0	0	0
19/9/2015	8:00:00	0.00	0.00	2.51	0	0	0	0	0	0
19/9/2015	9:00:00	1.26	2.51	5.02	0	0	0	0	0	78
19/9/2015	10:00:00	1.26	3.77	6.28	0	0	200	0	0	440
19/9/2015	11:00:00	2.51	5.02	6.28	0	0	200	0	78	440
19/9/2015	12:00:00	3.77	5.02	7.54	0	0	860	0	78	910
19/9/2015	13:00:00	2.51	6.28	8.79	0	200	1550	0	440	1600
19/9/2015	14:00:00	2.51	6.28	10.05	0	200	2450	0	440	2000
19/9/2015	15:00:00	5.02	6.28	10.05	0	200	2450	78	440	2000
19/9/2015	16:00:00	3.77	6.28	10.05	0	200	2450	0	440	2000
19/9/2015	17:00:00	3.77	6.28	6.28	0	200	200	0	440	440
19/9/2015	18:00:00	3.77	6.28	6.28	0	200	200	0	440	440
19/9/2015	19:00:00	0.00	5.02	3.77	0	0	0	0	78	0
19/9/2015	20:00:00	0.00	0.00	2.51	0	0	0	0	0	0
19/9/2015	21:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
19/9/2015	22:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
19/9/2015	23:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
Daya Total					0	1200	10560	78	2874	10348

Tabel A.11 Data Kecepatan Angin pada hari ke-11

Tanggal	Jam	Kecepatan			Daya Listrik (W) Tanpa Kontrol			Daya Listrik (W) Dengan Kontrol		
		7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2
20/9/2015	0:00:00	0.00	1.26	0.00	0	0	0	0	0	0
20/9/2015	1:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
20/9/2015	2:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
20/9/2015	3:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
20/9/2015	4:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
20/9/2015	5:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
20/9/2015	6:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
20/9/2015	7:00:00	0.00	1.26	0.00	0	0	0	0	0	0
20/9/2015	8:00:00	0.00	0.00	2.51	0	0	0	0	0	0
20/9/2015	9:00:00	1.26	3.77	5.02	0	0	0	0	0	78
20/9/2015	10:00:00	1.26	3.77	6.28	0	0	200	0	0	440
20/9/2015	11:00:00	2.51	5.02	6.28	0	0	200	0	78	440
20/9/2015	12:00:00	3.77	5.02	6.28	0	0	200	0	78	440
20/9/2015	13:00:00	5.02	6.28	6.28	0	200	200	78	440	440
20/9/2015	14:00:00	3.77	6.28	7.54	0	200	860	0	440	910
20/9/2015	15:00:00	3.77	7.54	8.79	0	860	1550	0	910	1600
20/9/2015	16:00:00	2.51	6.28	8.79	0	200	1550	0	440	1600
20/9/2015	17:00:00	3.77	6.28	8.79	0	200	1550	0	440	1600
20/9/2015	18:00:00	2.51	6.28	6.28	0	200	200	0	440	440
20/9/2015	19:00:00	0.00	5.02	5.02	0	0	0	0	78	78
20/9/2015	20:00:00	0.00	0.00	2.51	0	0	0	0	0	0
20/9/2015	21:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
20/9/2015	22:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
20/9/2015	23:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
Daya Total					0	1860	7370	78	3348	8928

Tabel A.12 Data Kecepatan Angin pada hari ke-12

Tanggal	Jam	Kecepatan			Daya Listrik (W) Tanpa Kontrol			Daya Listrik (W) Dengan Kontrol		
		7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2
21/9/2015	0:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
21/9/2015	1:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
21/9/2015	2:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
21/9/2015	3:00:00	0.00	1.26	0.00	0	0	0	0	0	0
21/9/2015	4:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
21/9/2015	5:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
21/9/2015	6:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
21/9/2015	7:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
21/9/2015	8:00:00	0.00	0.00	2.51	0	0	0	0	0	0
21/9/2015	9:00:00	1.26	2.51	5.02	0	0	0	0	0	78
21/9/2015	10:00:00	1.26	5.02	6.28	0	0	200	0	78	440
21/9/2015	11:00:00	2.51	6.28	7.54	0	200	860	0	440	910
21/9/2015	12:00:00	2.51	6.28	7.54	0	200	860	0	440	910
21/9/2015	13:00:00	3.77	6.28	8.79	0	200	1550	0	440	1600
21/9/2015	14:00:00	3.77	6.28	7.54	0	200	860	0	440	910
21/9/2015	15:00:00	5.02	6.28	8.79	0	200	1550	78	440	1600
21/9/2015	16:00:00	3.77	6.28	8.79	0	200	1550	0	440	1600
21/9/2015	17:00:00	2.51	6.28	6.28	0	200	200	0	440	440
21/9/2015	18:00:00	2.51	6.28	6.28	0	200	200	0	440	440
21/9/2015	19:00:00	0.00	5.02	3.77	0	0	0	0	78	0
21/9/2015	20:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
21/9/2015	21:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
21/9/2015	22:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
21/9/2015	23:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
Daya Total					0	1600	7830	78	3676	8928

Tabel A.13 Data Kecepatan Angin pada hari ke-13

Tanggal	Jam	Kecepatan			Daya Listrik (W) Tanpa Kontrol			Daya Listrik (W) Dengan Kontrol		
		7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2
22/9/2015	0:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
22/9/2015	1:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
22/9/2015	2:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
22/9/2015	3:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
22/9/2015	4:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
22/9/2015	5:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
22/9/2015	6:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
22/9/2015	7:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
22/9/2015	8:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
22/9/2015	9:00:00	1.26	3.77	5.02	0	0	0	0	0	78
22/9/2015	10:00:00	1.26	5.02	6.28	0	0	200	0	78	440
22/9/2015	11:00:00	3.77	6.28	6.28	0	200	200	0	440	440
22/9/2015	12:00:00	2.51	7.54	10.05	0	860	2450	0	910	2000
22/9/2015	13:00:00	2.51	7.54	7.54	0	860	860	0	910	910
22/9/2015	14:00:00	2.51	7.54	7.54	0	860	860	0	910	910
22/9/2015	15:00:00	5.02	7.54	10.05	0	860	2450	78	910	2000
22/9/2015	16:00:00	3.77	6.28	8.79	0	200	1550	0	440	1600
22/9/2015	17:00:00	3.77	6.28	6.28	0	200	200	0	440	440
22/9/2015	18:00:00	3.77	6.28	6.28	0	200	200	0	440	440
22/9/2015	19:00:00	0.00	5.02	3.77	0	0	0	0	78	0
22/9/2015	20:00:00	0.00	0.00	2.51	0	0	0	0	0	0
22/9/2015	21:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
22/9/2015	22:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
22/9/2015	23:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
Daya Total					0	4240	8970	78	5556	9258

Tabel A.14 Data Kecepatan Angin pada hari ke-14

Tanggal	Jam	Kecepatan			Daya Listrik (W) Tanpa Kontrol			Daya Listrik (W) Dengan Kontrol		
		7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2
23/9/2015	0:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
23/9/2015	1:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
23/9/2015	2:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
23/9/2015	3:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
23/9/2015	4:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
23/9/2015	5:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
23/9/2015	6:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
23/9/2015	7:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
23/9/2015	8:00:00	0.00	0.00	2.51	0	0	0	0	0	0
23/9/2015	9:00:00	1.26	2.51	5.02	0	0	0	0	0	78
23/9/2015	10:00:00	1.26	5.02	6.28	0	0	200	0	78	440
23/9/2015	11:00:00	2.51	5.02	6.28	0	0	200	0	78	440
23/9/2015	12:00:00	3.77	6.28	6.28	0	200	200	0	440	440
23/9/2015	13:00:00	3.77	5.02	7.54	0	0	860	0	78	910
23/9/2015	14:00:00	3.77	6.28	7.54	0	200	860	0	440	910
23/9/2015	15:00:00	3.77	7.54	8.79	0	860	1550	0	910	1600
23/9/2015	16:00:00	2.51	6.28	6.28	0	200	200	0	440	440
23/9/2015	17:00:00	3.77	6.28	5.02	0	200	0	0	440	78
23/9/2015	18:00:00	3.77	5.02	5.02	0	0	0	0	78	78
23/9/2015	19:00:00	0.00	5.02	5.02	0	0	0	0	78	78
23/9/2015	20:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
23/9/2015	21:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
23/9/2015	22:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
23/9/2015	23:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
Daya Total					0	1660	4070	0	3060	5492

Tabel A.15 Data Kecepatan Angin pada hari ke-15

Tanggal	Jam	Kecepatan			Daya Listrik (W) Tanpa Kontrol			Daya Listrik (W) Dengan Kontrol		
		7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2
24/9/2015	0:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
24/9/2015	1:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
24/9/2015	2:00:00	1.26	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
24/9/2015	3:00:00	1.26	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
24/9/2015	4:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
24/9/2015	5:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
24/9/2015	6:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
24/9/2015	7:00:00	1.26	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
24/9/2015	8:00:00	0.00	0.00	2.51	0	0	0	0	0	0
24/9/2015	9:00:00	1.26	2.51	5.02	0	0	0	0	0	78
24/9/2015	10:00:00	1.26	5.02	6.28	0	0	200	0	78	440
24/9/2015	11:00:00	1.26	6.28	7.54	0	200	860	0	440	910
24/9/2015	12:00:00	2.51	6.28	8.79	0	200	1550	0	440	1600
24/9/2015	13:00:00	3.77	6.28	10.05	0	200	2450	0	440	2000
24/9/2015	14:00:00	5.02	6.28	10.05	0	200	2450	78	440	2000
24/9/2015	15:00:00	5.02	6.28	10.05	0	200	2450	78	440	2000
24/9/2015	16:00:00	5.02	6.28	7.54	0	200	860	78	440	910
24/9/2015	17:00:00	3.77	6.28	6.28	0	200	200	0	440	440
24/9/2015	18:00:00	3.77	6.28	6.28	0	200	200	0	440	440
24/9/2015	19:00:00	0.00	5.02	3.77	0	0	0	0	78	0
24/9/2015	20:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
24/9/2015	21:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
24/9/2015	22:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
24/9/2015	23:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
Daya Total					0	1600	11220	234	3676	10818

Tabel A.16 Data Kecepatan Angin pada hari ke-16

Tanggal	Jam	Kecepatan			Daya Listrik (W) Tanpa Kontrol			Daya Listrik (W) Dengan Kontrol		
		7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2
25/9/2015	0:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
25/9/2015	1:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
25/9/2015	2:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
25/9/2015	3:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
25/9/2015	4:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
25/9/2015	5:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
25/9/2015	6:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
25/9/2015	7:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
25/9/2015	8:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
25/9/2015	9:00:00	1.26	3.77	3.77	0	0	0	0	0	0
25/9/2015	10:00:00	1.26	5.02	6.28	0	0	200	0	78	440
25/9/2015	11:00:00	2.51	6.28	7.54	0	200	860	0	440	910
25/9/2015	12:00:00	5.02	7.54	7.54	0	860	860	78	910	910
25/9/2015	13:00:00	5.02	7.54	8.79	0	860	1550	78	910	1600
25/9/2015	14:00:00	5.02	7.54	7.54	0	860	860	78	910	910
25/9/2015	15:00:00	3.77	7.54	8.79	0	860	1550	0	910	1600
25/9/2015	16:00:00	3.77	6.28	8.79	0	200	1550	0	440	1600
25/9/2015	17:00:00	3.77	6.28	6.28	0	200	200	0	440	440
25/9/2015	18:00:00	3.77	6.28	6.28	0	200	200	0	440	440
25/9/2015	19:00:00	0.00	5.02	3.77	0	0	0	0	78	0
25/9/2015	20:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
25/9/2015	21:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
25/9/2015	22:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
25/9/2015	23:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
Daya Total					0	4240	7830	234	5556	8850

Tabel A.17 Data Kecepatan Angin pada hari ke-17

Tanggal	Jam	Kecepatan			Daya Listrik (W) Tanpa Kontrol			Daya Listrik (W) Dengan Kontrol		
		7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2
26/9/2015	0:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
26/9/2015	1:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
26/9/2015	2:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
26/9/2015	3:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
26/9/2015	4:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
26/9/2015	5:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
26/9/2015	6:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
26/9/2015	7:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
26/9/2015	8:00:00	0.00	0.00	2.51	0	0	0	0	0	0
26/9/2015	9:00:00	1.26	2.51	5.02	0	0	0	0	0	78
26/9/2015	10:00:00	1.26	5.02	6.28	0	0	200	0	78	440
26/9/2015	11:00:00	3.77	6.28	6.28	0	200	200	0	440	440
26/9/2015	12:00:00	5.02	6.28	6.28	0	200	200	78	440	440
26/9/2015	13:00:00	3.77	6.28	10.05	0	200	2450	0	440	2000
26/9/2015	14:00:00	5.02	6.28	8.79	0	200	1550	78	440	1600
26/9/2015	15:00:00	5.02	6.28	8.79	0	200	1550	78	440	1600
26/9/2015	16:00:00	3.77	6.28	8.79	0	200	1550	0	440	1600
26/9/2015	17:00:00	3.77	6.28	7.54	0	200	860	0	440	910
26/9/2015	18:00:00	2.51	6.28	6.28	0	200	200	0	440	440
26/9/2015	19:00:00	0.00	5.02	3.77	0	0	0	0	78	0
26/9/2015	20:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
26/9/2015	21:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
26/9/2015	22:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
26/9/2015	23:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
Daya Total					0	1600	8760	234	3676	9548

Tabel A.18 Data Kecepatan Angin pada hari ke-18

Tanggal	Jam	Kecepatan			Daya Listrik (W) Tanpa Kontrol			Daya Listrik (W) Dengan Kontrol		
		7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2
27/9/2015	0:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
27/9/2015	1:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
27/9/2015	2:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
27/9/2015	3:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
27/9/2015	4:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
27/9/2015	5:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
27/9/2015	6:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
27/9/2015	7:00:00	0.00	0.00	2.51	0	0	0	0	0	0
27/9/2015	8:00:00	0.00	0.00	3.77	0	0	0	0	0	0
27/9/2015	9:00:00	1.26	2.51	5.02	0	0	0	0	0	78
27/9/2015	10:00:00	1.26	3.77	7.54	0	0	860	0	0	910
27/9/2015	11:00:00	2.51	5.02	7.54	0	0	860	0	78	910
27/9/2015	12:00:00	5.02	7.54	6.28	0	860	200	78	910	440
27/9/2015	13:00:00	5.02	7.54	8.79	0	860	1550	78	910	1600
27/9/2015	14:00:00	3.77	7.54	10.05	0	860	2450	0	910	2000
27/9/2015	15:00:00	2.51	6.28	10.05	0	200	2450	0	440	2000
27/9/2015	16:00:00	3.77	6.28	10.05	0	200	2450	0	440	2000
27/9/2015	17:00:00	3.77	6.28	7.54	0	200	860	0	440	910
27/9/2015	18:00:00	2.51	6.28	6.28	0	200	200	0	440	440
27/9/2015	19:00:00	0.00	5.02	3.77	0	0	0	0	78	0
27/9/2015	20:00:00	0.00	2.51	5.02	0	0	0	0	0	78
27/9/2015	21:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
27/9/2015	22:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
27/9/2015	23:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
Daya Total					0	3380	11880	156	4646	11366

Tabel A.19 Data Kecepatan Angin pada hari ke-19

Tanggal	Jam	Kecepatan			Daya Listrik (W) Tanpa Kontrol			Daya Listrik (W) Dengan Kontrol		
		7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2
28/9/2015	0:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
28/9/2015	1:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
28/9/2015	2:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
28/9/2015	3:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
28/9/2015	4:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
28/9/2015	5:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
28/9/2015	6:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
28/9/2015	7:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
28/9/2015	8:00:00	0.00	1.26	2.51	0	0	0	0	0	0
28/9/2015	9:00:00	0.00	2.51	5.02	0	0	0	0	0	78
28/9/2015	10:00:00	1.26	3.77	7.54	0	0	860	0	0	910
28/9/2015	11:00:00	3.77	5.02	8.79	0	0	1550	0	78	1600
28/9/2015	12:00:00	5.02	5.02	8.79	0	0	1550	78	78	1600
28/9/2015	13:00:00	5.02	6.28	10.05	0	200	2450	78	440	2000
28/9/2015	14:00:00	3.77	7.54	10.05	0	860	2450	0	910	2000
28/9/2015	15:00:00	2.51	6.28	10.05	0	200	2450	0	440	2000
28/9/2015	16:00:00	3.77	6.28	7.54	0	200	860	0	440	910
28/9/2015	17:00:00	3.77	6.28	7.54	0	200	860	0	440	910
28/9/2015	18:00:00	2.51	6.28	6.28	0	200	200	0	440	440
28/9/2015	19:00:00	0.00	5.02	3.77	0	0	0	0	78	0
28/9/2015	20:00:00	0.00	1.26	1.26	0	0	0	0	0	0
28/9/2015	21:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
28/9/2015	22:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
28/9/2015	23:00:00	0.00	1.26	0.00	0	0	0	0	0	0
Daya Total					0	1860	13230	156	3344	12448

Tabel A.20 Data Kecepatan Angin pada hari ke-20

Tanggal	Jam	Kecepatan			Daya Listrik (W) Tanpa Kontrol			Daya Listrik (W) Dengan Kontrol		
		7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2
29/9/2015	0:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
29/9/2015	1:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
29/9/2015	2:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
29/9/2015	3:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
29/9/2015	4:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
29/9/2015	5:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
29/9/2015	6:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
29/9/2015	7:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
29/9/2015	8:00:00	0.00	0.00	3.77	0	0	0	0	0	0
29/9/2015	9:00:00	0.00	2.51	5.02	0	0	0	0	0	78
29/9/2015	10:00:00	1.26	3.77	6.28	0	0	200	0	0	440
29/9/2015	11:00:00	2.51	5.02	6.28	0	0	200	0	78	440
29/9/2015	12:00:00	3.77	6.28	10.05	0	200	2450	0	440	2000
29/9/2015	13:00:00	5.02	6.28	10.05	0	200	2450	78	440	2000
29/9/2015	14:00:00	5.02	7.54	8.79	0	860	1550	78	910	1600
29/9/2015	15:00:00	5.02	6.28	7.54	0	200	860	78	440	910
29/9/2015	16:00:00	3.77	6.28	7.54	0	200	860	0	440	910
29/9/2015	17:00:00	3.77	6.28	6.28	0	200	200	0	440	440
29/9/2015	18:00:00	3.77	6.28	6.28	0	200	200	0	440	440
29/9/2015	19:00:00	0.00	5.02	3.77	0	0	0	0	78	0
29/9/2015	20:00:00	0.00	1.26	1.26	0	0	0	0	0	0
29/9/2015	21:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
29/9/2015	22:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
29/9/2015	23:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
Daya Total					0	2060	8970	234	3706	7258

Tabel A.21 Data Kecepatan Angin pada hari ke-21

Tanggal	Jam	Kecepatan			Daya Listrik (W) Tanpa Kontrol			Daya Listrik (W) Dengan Kontrol		
		7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2
30/9/2015	0:00:00	0.00	1.26	0.00	0	0	0	0	0	0
30/9/2015	1:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
30/9/2015	2:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
30/9/2015	3:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
30/9/2015	4:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
30/9/2015	5:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
30/9/2015	6:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
30/9/2015	7:00:00	0.00	0.00	2.51	0	0	0	0	0	0
30/9/2015	8:00:00	0.00	0.00	3.77	0	0	0	0	0	0
30/9/2015	9:00:00	0.00	2.51	5.02	0	0	0	0	0	78
30/9/2015	10:00:00	1.26	3.77	6.28	0	0	200	0	0	440
30/9/2015	11:00:00	2.51	5.02	6.28	0	0	200	0	78	440
30/9/2015	12:00:00	5.02	6.28	6.28	0	200	200	78	440	440
30/9/2015	13:00:00	3.77	6.28	7.54	0	200	860	0	440	910
30/9/2015	14:00:00	3.77	7.54	7.54	0	860	860	0	910	910
30/9/2015	15:00:00	2.51	7.54	10.05	0	860	2450	0	910	2000
30/9/2015	16:00:00	2.51	7.54	8.79	0	860	1550	0	910	1600
30/9/2015	17:00:00	2.51	6.28	6.28	0	200	200	0	440	440
30/9/2015	18:00:00	2.51	6.28	6.28	0	200	200	0	440	440
30/9/2015	19:00:00	0.00	5.02	5.02	0	0	0	0	78	78
30/9/2015	20:00:00	0.00	1.26	3.77	0	0	0	0	0	0
30/9/2015	21:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
30/9/2015	22:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
30/9/2015	23:00:00	0.00	1.26	0.00	0	0	0	0	0	0
Daya Total					0	3380	6720	78	4646	7776

Tabel A.22 Data Kecepatan Angin pada hari ke-22

Tanggal	Jam	Kecepatan			Daya Listrik (W) Tanpa Kontrol			Daya Listrik (W) Dengan Kontrol		
		7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2
1/10/2015	0:00:00	0.00	1.26	0.00	0	0	0	0	0	0
1/10/2015	1:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
1/10/2015	2:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
1/10/2015	3:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
1/10/2015	4:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
1/10/2015	5:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
1/10/2015	6:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
1/10/2015	7:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
1/10/2015	8:00:00	0.00	0.00	2.51	0	0	0	0	0	0
1/10/2015	9:00:00	1.26	2.51	5.02	0	0	0	0	0	78
1/10/2015	10:00:00	1.26	5.02	5.02	0	0	0	0	78	78
1/10/2015	11:00:00	2.51	6.28	6.28	0	200	200	0	440	440
1/10/2015	12:00:00	5.02	6.28	6.28	0	200	200	78	440	440
1/10/2015	13:00:00	5.02	7.54	10.05	0	860	2450	78	910	2000
1/10/2015	14:00:00	3.77	7.54	8.79	0	860	1550	0	910	1600
1/10/2015	15:00:00	3.77	6.28	10.05	0	200	2450	0	440	2000
1/10/2015	16:00:00	3.77	6.28	8.79	0	200	1550	0	440	1600
1/10/2015	17:00:00	3.77	6.28	6.28	0	200	200	0	440	440
1/10/2015	18:00:00	5.02	6.28	6.28	0	200	200	78	440	440
1/10/2015	19:00:00	0.00	6.28	5.02	0	200	0	0	440	78
1/10/2015	20:00:00	0.00	2.51	3.77	0	0	0	0	0	0
1/10/2015	21:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
1/10/2015	22:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
1/10/2015	23:00:00	0.00	1.26	0.00	0	0	0	0	0	0
Daya Total					0	3120	8800	234	4978	9144

Tabel A.23 Data Kecepatan Angin pada hari ke-23

Tanggal	Jam	Kecepatan			Daya Listrik (W) Tanpa Kontrol			Daya Listrik (W) Dengan Kontrol		
		7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2
2/10/2015	0:00:00	0.00	1.26	0.00	0	0	0	0	0	0
2/10/2015	1:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
2/10/2015	2:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
2/10/2015	3:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
2/10/2015	4:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
2/10/2015	5:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
2/10/2015	6:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
2/10/2015	7:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
2/10/2015	8:00:00	0.00	0.00	2.51	0	0	0	0	0	0
2/10/2015	9:00:00	0.00	2.51	5.02	0	0	0	0	0	78
2/10/2015	10:00:00	1.26	3.77	6.28	0	0	200	0	0	440
2/10/2015	11:00:00	2.51	6.28	7.54	0	200	860	0	440	910
2/10/2015	12:00:00	6.28	7.54	10.05	200	860	2450	440	910	2000
2/10/2015	13:00:00	5.02	7.54	10.05	0	860	2450	78	910	2000
2/10/2015	14:00:00	3.77	7.54	8.79	0	860	1550	0	910	1600
2/10/2015	15:00:00	5.02	6.28	8.79	0	200	1550	78	440	1600
2/10/2015	16:00:00	5.02	6.28	7.54	0	200	860	78	440	910
2/10/2015	17:00:00	6.28	6.28	6.28	200	200	200	440	440	440
2/10/2015	18:00:00	5.02	6.28	6.28	0	200	200	78	440	440
2/10/2015	19:00:00	0.00	5.02	3.77	0	0	0	0	78	0
2/10/2015	20:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
2/10/2015	21:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
2/10/2015	22:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
2/10/2015	23:00:00	0.00	1.26	0.00	0	0	0	0	0	0
Daya Total					400	3580	10320	1192	5008	10418

Tabel A.24 Data Kecepatan Angin pada hari ke-24

Tanggal	Jam	Kecepatan			Daya Listrik (W) Tanpa Kontrol			Daya Listrik (W) Dengan Kontrol		
		7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2
3/10/2015	0:00:00	0.00	1.26	0.00	0	0	0	0	0	0
3/10/2015	1:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
3/10/2015	2:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
3/10/2015	3:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
3/10/2015	4:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
3/10/2015	5:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
3/10/2015	6:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
3/10/2015	7:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
3/10/2015	8:00:00	0.00	0.00	2.51	0	0	0	0	0	0
3/10/2015	9:00:00	2.51	1.28	5.02	0	0	0	0	0	78
3/10/2015	10:00:00	2.51	3.77	6.28	0	0	200	0	0	440
3/10/2015	11:00:00	3.77	5.02	6.28	0	0	200	0	78	440
3/10/2015	12:00:00	5.02	5.02	6.28	0	0	200	78	78	440
3/10/2015	13:00:00	5.02	6.28	10.05	0	200	2450	78	440	2000
3/10/2015	14:00:00	3.77	7.54	10.05	0	860	2450	0	910	2000
3/10/2015	15:00:00	5.02	6.28	10.05	0	200	2450	78	440	2000
3/10/2015	16:00:00	3.77	6.28	8.79	0	200	1550	0	440	1600
3/10/2015	17:00:00	3.77	6.28	6.28	0	200	200	0	440	440
3/10/2015	18:00:00	2.51	7.54	6.28	0	860	200	0	910	440
3/10/2015	19:00:00	0.00	5.02	3.77	0	0	0	0	78	0
3/10/2015	20:00:00	0.00	0.00	2.51	0	0	0	0	0	0
3/10/2015	21:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
3/10/2015	22:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
3/10/2015	23:00:00	0.00	1.26	0.00	0	0	0	0	0	0
Daya Total					0	2520	9900	234	3814	9878

Tabel A.25 Data Kecepatan Angin pada hari ke-25

Tanggal	Jam	Kecepatan			Daya Listrik (W) Tanpa Kontrol			Daya Listrik (W) Dengan Kontrol		
		7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2
4/10/2015	0:00:00	0.00	1.26	0.00	0	0	0	0	0	0
4/10/2015	1:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
4/10/2015	2:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
4/10/2015	3:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
4/10/2015	4:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
4/10/2015	5:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
4/10/2015	6:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
4/10/2015	7:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
4/10/2015	8:00:00	0.00	0.00	2.51	0	0	0	0	0	0
4/10/2015	9:00:00	1.28	2.51	5.02	0	0	0	0	0	78
4/10/2015	10:00:00	2.51	3.77	6.28	0	0	200	0	0	440
4/10/2015	11:00:00	2.51	6.28	6.28	0	200	200	0	440	440
4/10/2015	12:00:00	5.02	5.02	7.54	0	0	860	78	78	910
4/10/2015	13:00:00	3.77	6.28	7.54	0	200	860	0	440	910
4/10/2015	14:00:00	3.77	6.28	7.54	0	200	860	0	440	910
4/10/2015	15:00:00	2.51	7.54	10.05	0	860	2450	0	910	2000
4/10/2015	16:00:00	3.77	6.28	8.79	0	200	1550	0	440	1600
4/10/2015	17:00:00	3.77	6.28	8.79	0	200	1550	0	440	1600
4/10/2015	18:00:00	2.51	5.02	6.28	0	0	200	0	78	440
4/10/2015	19:00:00	0.00	5.02	3.77	0	0	0	0	78	0
4/10/2015	20:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
4/10/2015	21:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
4/10/2015	22:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
4/10/2015	23:00:00	0.00	1.26	0.00	0	0	0	0	0	0
Daya Total					0	1860	8730	78	3344	9328

Tabel A.26 Data Kecepatan Angin pada hari ke-26

Tanggal	Jam	Kecepatan			Daya Listrik (W) Tanpa Kontrol			Daya Listrik (W) Dengan Kontrol		
		7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2
5/10/2015	0:00:00	0.00	1.26	0.00	0	0	0	0	0	0
5/10/2015	1:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
5/10/2015	2:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
5/10/2015	3:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
5/10/2015	4:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
5/10/2015	5:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
5/10/2015	6:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
5/10/2015	7:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
5/10/2015	8:00:00	0.00	0.00	2.51	0	0	0	0	0	0
5/10/2015	9:00:00	2.51	2.51	5.02	0	0	0	0	0	78
5/10/2015	10:00:00	3.77	3.77	6.28	0	0	200	0	0	440
5/10/2015	11:00:00	3.77	5.02	6.28	0	0	200	0	78	440
5/10/2015	12:00:00	5.02	5.02	7.54	0	0	860	78	78	910
5/10/2015	13:00:00	5.02	6.28	7.54	0	200	860	78	440	910
5/10/2015	14:00:00	5.02	6.28	7.54	0	200	860	78	440	910
5/10/2015	15:00:00	3.77	7.54	8.79	0	860	1550	0	910	1600
5/10/2015	16:00:00	3.77	6.28	8.79	0	200	1550	0	440	1600
5/10/2015	17:00:00	3.77	6.28	7.54	0	200	860	0	440	910
5/10/2015	18:00:00	2.51	5.02	6.28	0	0	200	0	78	440
5/10/2015	19:00:00	0.00	5.02	3.77	0	0	0	0	78	0
5/10/2015	20:00:00	0.00	0.00	2.51	0	0	0	0	0	0
5/10/2015	21:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
5/10/2015	22:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
5/10/2015	23:00:00	0.00	1.26	0.00	0	0	0	0	0	0
Daya Total					0	1660	7140	234	2982	8238

Tabel A.27 Data Kecepatan Angin pada hari ke-27

Tanggal	Jam	Kecepatan			Daya Listrik (W) Tanpa Kontrol			Daya Listrik (W) Dengan Kontrol		
		7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2
6/10/2015	0:00:00	0.00	1.26	0.00	0	0	0	0	0	0
6/10/2015	1:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
6/10/2015	2:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
6/10/2015	3:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
6/10/2015	4:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
6/10/2015	5:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
6/10/2015	6:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
6/10/2015	7:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
6/10/2015	8:00:00	0.00	0.00	3.77	0	0	0	0	0	0
6/10/2015	9:00:00	2.51	2.51	5.02	0	0	0	0	0	78
6/10/2015	10:00:00	3.77	3.77	7.54	0	0	860	0	0	910
6/10/2015	11:00:00	5.02	3.77	7.54	0	0	860	78	0	910
6/10/2015	12:00:00	3.77	6.28	7.54	0	200	860	0	440	910
6/10/2015	13:00:00	3.77	6.28	10.05	0	200	2450	0	440	2000
6/10/2015	14:00:00	5.02	6.28	8.79	0	200	1550	78	440	1600
6/10/2015	15:00:00	3.77	6.28	10.05	0	200	2450	0	440	2000
6/10/2015	16:00:00	3.77	6.28	8.79	0	200	1550	0	440	1600
6/10/2015	17:00:00	2.51	6.28	6.28	0	200	200	0	440	440
6/10/2015	18:00:00	2.51	5.02	5.02	0	0	0	0	78	78
6/10/2015	19:00:00	0.00	5.02	3.77	0	0	0	0	0	0
6/10/2015	20:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
6/10/2015	21:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
6/10/2015	22:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
6/10/2015	23:00:00	0.00	1.26	0.00	0	0	0	0	0	0
Daya Total					0	1200	10780	156	2718	10526

Tabel A.28 Data Kecepatan Angin pada hari ke-28

Tanggal	Jam	Kecepatan			Daya Listrik (W) Tanpa Kontrol			Daya Listrik (W) Dengan Kontrol		
		7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2
7/10/2015	0:00:00	0.00	1.26	0.00	0	0	0	0	0	0
7/10/2015	1:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
7/10/2015	2:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
7/10/2015	3:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
7/10/2015	4:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
7/10/2015	5:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
7/10/2015	6:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
7/10/2015	7:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
7/10/2015	8:00:00	0.00	0.00	2.51	0	0	0	0	0	0
7/10/2015	9:00:00	1.28	2.51	5.02	0	0	0	0	0	78
7/10/2015	10:00:00	2.51	5.02	6.28	0	0	200	0	78	440
7/10/2015	11:00:00	3.77	5.02	7.54	0	0	860	0	78	910
7/10/2015	12:00:00	3.77	6.28	8.79	0	200	1550	0	440	1600
7/10/2015	13:00:00	5.02	6.28	10.05	0	200	2450	78	440	2000
7/10/2015	14:00:00	5.02	6.28	10.05	0	200	2450	78	440	2000
7/10/2015	15:00:00	3.77	6.28	8.79	0	200	1550	0	440	1600
7/10/2015	16:00:00	3.77	6.28	7.54	0	200	860	0	440	910
7/10/2015	17:00:00	2.51	6.28	6.28	0	200	200	0	440	440
7/10/2015	18:00:00	2.51	5.02	6.28	0	0	200	0	78	440
7/10/2015	19:00:00	0.00	3.77	3.77	0	0	0	0	0	0
7/10/2015	20:00:00	0.00	0.00	3.77	0	0	0	0	0	0
7/10/2015	21:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
7/10/2015	22:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
7/10/2015	23:00:00	0.00	1.26	0.00	0	0	0	0	0	0
Daya Total					0	1200	10320	156	2796	10418

Tabel A.29 Data Kecepatan Angin pada hari ke-29

Tanggal	Jam	Kecepatan			Daya Listrik (W) Tanpa Kontrol			Daya Listrik (W) Dengan Kontrol		
		7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2
8/10/2015	0:00:00	1.26	1.26	1.26	0	0	0	0	0	0
8/10/2015	1:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
8/10/2015	2:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
8/10/2015	3:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
8/10/2015	4:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
8/10/2015	5:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
8/10/2015	6:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
8/10/2015	7:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
8/10/2015	8:00:00	0.00	0.00	2.51	0	0	0	0	0	0
8/10/2015	9:00:00	2.51	2.51	5.02	0	0	0	0	0	78
8/10/2015	10:00:00	3.77	3.77	6.28	0	0	200	0	0	440
8/10/2015	11:00:00	3.77	6.28	6.28	0	200	200	0	440	440
8/10/2015	12:00:00	5.02	5.02	7.54	0	0	860	78	78	910
8/10/2015	13:00:00	5.02	7.54	7.54	0	860	860	78	910	910
8/10/2015	14:00:00	5.02	7.54	7.54	0	860	860	78	910	910
8/10/2015	15:00:00	3.77	6.28	10.05	0	200	2450	0	440	2000
8/10/2015	16:00:00	3.77	6.28	8.79	0	200	1550	0	440	1600
8/10/2015	17:00:00	3.77	6.28	6.28	0	200	200	0	440	440
8/10/2015	18:00:00	2.51	6.28	6.28	0	200	200	0	440	440
8/10/2015	19:00:00	0.00	6.28	5.02	0	200	0	0	440	78
8/10/2015	20:00:00	0.00	0.00	3.77	0	0	0	0	0	0
8/10/2015	21:00:00	1.26	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
8/10/2015	22:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
8/10/2015	23:00:00	0.00	1.26	0.00	0	0	0	0	0	0
Daya Total					0	2920	7380	234	4538	8246

Tabel A.30 Data Kecepatan Angin pada hari ke-30

Tanggal	Jam	Kecepatan			Daya Listrik (W) Tanpa Kontrol			Daya Listrik (W) Dengan Kontrol		
		7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2	7.3	20.6	43.2
9/10/2015	0:00:00	0.00	1.26	0.00	0	0	0	0	0	0
9/10/2015	1:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
9/10/2015	2:00:00	1.26	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
9/10/2015	3:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
9/10/2015	4:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
9/10/2015	5:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
9/10/2015	6:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
9/10/2015	7:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
9/10/2015	8:00:00	0.00	0.00	3.77	0	0	0	0	0	0
9/10/2015	9:00:00	2.51	2.51	6.28	0	0	200	0	0	440
9/10/2015	10:00:00	3.77	3.77	6.28	0	0	200	0	0	440
9/10/2015	11:00:00	5.02	5.02	6.28	0	0	200	78	78	440
9/10/2015	12:00:00	3.77	5.02	6.28	0	0	200	0	78	440
9/10/2015	13:00:00	3.77	6.28	7.54	0	200	860	0	440	910
9/10/2015	14:00:00	5.02	5.02	7.54	0	0	860	78	78	910
9/10/2015	15:00:00	3.77	6.28	10.05	0	200	2450	0	440	2000
9/10/2015	16:00:00	3.77	5.02	10.05	0	0	2450	0	78	2000
9/10/2015	17:00:00	2.51	6.28	8.79	0	200	1550	0	440	1600
9/10/2015	18:00:00	2.51	6.28	6.28	0	200	200	0	440	440
9/10/2015	19:00:00	0.00	5.02	5.02	0	0	0	0	78	78
9/10/2015	20:00:00	1.26	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
9/10/2015	21:00:00	0.00	0.00	1.26	0	0	0	0	0	0
9/10/2015	22:00:00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
9/10/2015	23:00:00	1.26	1.26	0.00	0	0	0	0	0	0
Daya Total					0	800	9170	156	2150	9698