



**ANALISIS POTENSI ENERGI ANGIN DAN ESTIMASI
ENERGI LISTRIK BERDASARKAN PERBEDAAN
KETINGGIAN DI PANTAI PUGER
KABUPATEN JEMBER**

SKRIPSI

Oleh

Gunawan

NIM 111910201020

**PROGRAM STUDI STRATA SATU (S1)
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2015**



**ANALISIS POTENSI ENERGI ANGIN DAN ESTIMASI
ENERGI LISTRIK BERDASARKAN PERBEDAAN
KETINGGIAN DI PANTAI PUGER
KABUPATEN 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

Gunawan

NIM 111910201020

**PROGRAM STUDI STRATA SATU (S1)
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2015**

PERSEMBAHAN

Puji syukur terpanjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulis menyadari bahwa dalam pengerjaan skripsi ini banyak sekali semangat yang didapatkan dari banyak pihak. Untuk itu persembahan ini penulis berikan kepada :

1. Ibu Imawati dan Bapak Suratno, yang selalu mendoakan, mengarahkan serta memberikan kasih sayangnya kepada penulis untuk terus berjuang.
2. Adik adikku yang tercinta, Lisna Imelia, Amanda Safitri dan Dimas Andika Bhakti Subagio yang memberikan warna selama ini.
3. Keluarga besar Misinah dan Terima yang memberikan dukungan dan semangatnya agar terus berjuang demi pendidikan yang layak.
4. Kepada masyarakat Puger Kulon yang memberikan kontribusinya agar penelitian yang dilakukan berjalan lancar.
5. Almamater tercinta Fakultas Teknik Universitas Jember.

MOTTO

Temukan semua yang kamu pelajari dengan berhati-hati, selanjutnya pilah-pilah ilmu itu sampai kau temukan yang terbaik dari yang terbaik untuk kehidupanmu yang lebih baik

(Ayahanda Suratno)

Search of perfections begins finding the imperfections

(Cak Huda)

Jangan takut saat orang lain menyebutmu bodoh, karena sesungguhnya itu adalah kata terbaik untuk membuatmu semakin menjadi tahu mana yang benar antara pintar dan mengerti.

(Gunawan)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Gunawan

NIM : 111910201020

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul "Analisis Potensi Energi Angin dan Estimasi Energi Listrik Berdasarkan Perbedaan Ketinggian di pantai Puger Kabupaten Jember" adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan subansi disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab 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 dari pihak manapun serta bersedia mendapatkan sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 11 November 2015

Yang menyatakan

(Gunawan)

NIM 111910201020

SKRIPSI

**ANALISIS POTENSI ENERGI ANGIN DAN ESTIMASI
ENERGI LISTRIK BERDASARKAN PERBEDAAN
KETINGGIAN DI PANTAI PUGER
KABUPATEN JEMBER**

oleh :
Gunawan
NIM 111910201020

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Triwahju Hardianto., S.T., M.T.
Dosen Pembimbing Anggota : Dedy Kurnia Setiawan, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul "Analisis Potensi Energi Angin dan Estimasi Energi Listrik Berdasarkan Perbedaan Ketinggian di pantai Puger Kabupaten Jember" telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada :

Hari : Kamis

Tanggal : 3 Desember 2015

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji,

Pembimbing Utama

Pembimbing Anggota

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

Dedy Kurnia Setiawan, S.T., M.T.
NIP 19800610 200501 1 003

Penguji Utama

Penguji Anggota

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

Dr. Azmi Saleh, S.T., M.T.
NIP 19710614 199702 1 001

Mengesahkan,
Dekan Fakultas Teknik

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

*Analisis Potensi Energi Angin dan Estimasi Energi Listrik Berdasarkan
Perbedaan Ketinggian di Pantai Puger
Kabupaten Jember*

Gunawan

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRAK

Perbedaan ketinggian menjadi parameter penting untuk mendapatkan kecepatan angin yang paling optimal. Semakin tinggi lokasi yang dijadikan tempat dibangunnya pembangkit listrik tenaga angin, maka kecepatan angin yang dihasilkan akan semakin tinggi. Oleh karena itu, penelitian dilakukan untuk mengetahui kecepatan angin paling optimal dari perbedaan ketinggian yang diukur. Pengambilan data dilakukan dengan anemometer berbasis kecepatan dan arah angin yang dilengkapi sistem *datalogger*. Data yang diperoleh selama satu bulan akan dianalisis dengan menggunakan analisis *weibull*. Dari analisis yang telah dilakukan didapatkan ketinggian yang paling optimal adalah ketinggian 43.2 meter. Pada ketinggian 43.2 meter didapatkan daya listrik rata-rata perhari sebesar 6573.96 Wh dengan arah cenderung ke barat laut. Arah tersebut akan digunakan sebagai acuan dibangunnya pembangkit listrik tenaga angin dengan sistem permanen tanpa adanya kontrol posisi turbin. Hal ini dikarenakan pada saat potensi angin berada, arah angin hanya cenderung pada posisi barat laut.

Kata Kunci : potensi energi angin, potensi energi listrik, analisis *weibull*,

Potential Analysis of Wind Energy and Electric Energy Estimation Based on Elevation Difference on Puger Beach Jember

Gunawan

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

ABSTRACT

The elevation difference becomes important parameter to get the most optimal wind speed. The higher of the wind power plants establishment location, the higher wind speed will be resulted. Therefore, the research was conducted to determine the most optimal wind speed from high difference that measured. The data taken from speed anemometer basis and wind direction that equipped by data logger system. Data that obtained during a month will be analyzed using Weibull. Based on the analysis that has been done, it obtained the optimal elevation 43.2 meters. At a elevation of 43.2 meter was obtained electric power average 6573.96 Wh per day with wind direction to the northwest. This direction will be used as a reference for the construction of wind power plants with a permanent system without position control turbine. Because when found the wind potency, the wind direction tends to northwest position.

Keywords : *wind energy potential, electric energy estimation, weibull analysis.*

RINGKASAN

Analisis Potensi Energi Angin dan Estimasi Energi Listrik Berdasarkan Perbedaan Ketinggian di Pantai Puger Kabupaten Jember; Gunawan, 111910201020; 2015; 83 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Kebutuhan terhadap energi listrik nasional yang tidak sebanding dengan ketersediaan energi yang ada dan pemenuhan kebutuhan listrik di wilayah Indonesia yang semakin hari semakin meningkat, upaya diversifikasi pembangkit listrik dengan sumber energi alternatif ramah lingkungan menjadi suatu hal yang mendesak. Hal ini pun sejalan dengan komitmen Indonesia yang tertuang dalam Rencana Aksi Nasional Mitigrasi Perubahan Iklim sebagai upaya mencapai target reduksi emisi Gas Rumah Kaca (GRK) sebesar 26% pada tahun 2020.

Angin merupakan energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan sebagai energi listrik dengan memanfaatkan suatu Sistem Konversi Energi Angin (SKEA). Ketinggian juga akan mempengaruhi kecepatan angin yang dihasilkan. Pembangunan pembangkit listrik tenaga angin membutuhkan data kecepatan angin pada ketinggian yang sesuai dengan letak turbin anginnya. Letak turbin yang semakin tinggi akan lebih berpotensi agar kecepatan yang diterima oleh turbin dapat dimanfaatkan untuk menggerakkan generator.

Penelitian yang dilakukan di pantai Puger Kabupaten Jember untuk mengetahui potensi energi angin dan energi listrik yang bisa dibangkitkan. Perbedaan ketinggian menjadi parameter utama untuk mengetahui kecepatan paling optimal. Ketinggian yang diukur meliputi ketinggian 7.3 meter, 20.6 meter dan 43.2 meter. Tower yang digunakan untuk mendapatkan ketinggian tersebut adalah milik Kementerian Kelautan dan Navigasi kelas I Surabaya. Data yang didapatkan adalah kecepatan angin, temperature dan arah angin yang nantinya disimpan dalam datalogger selama satu bulan. Proses pengolahan data yang digunakan adalah analisis *weibull*.

Dari hasil analisis *weibull* didapatkan pergerakan kecepatan angin yang sering muncul pada ketinggian 7.3 meter yaitu 2.5 m/s dengan nilai probabilitas sebesar 0.25. Untuk ketinggian 20.6 meter memiliki nilai kepadatan probabilitas tertinggi 0.25 pada kecepatan 5.5 m/s. Pada ketinggian 43.2 meter memiliki nilai kepadatan probabilitas tertinggi 0.18 pada kecepatan 6.5 sampai 7.5 m/s. Potensi energi angin paling besar terdapat pada ketinggian 43.2 meter dengan nilai energi angin tertinggi sebesar 46.66 Joule.

Energi listrik total yang dihasilkan pada tiap-tiap ketinggian sesuai dengan durasi lamanya turbin angin menghasilkan daya listrik sesuai dengan turbin angin 1000 W dan 2000 W. Pada ketinggian yang berpotensi yaitu untuk ketinggian 43.2 meter energi listrik total yang dihasilkan dalam kurang waktu 30 hari pada turbin angin 1000 W sebesar 170832.91 Wh. Pada ketinggian 43.2 meter energi listrik perhari yang dihasilkan sebesar 5694.43 Wh. Sedangkan untuk turbin angin 2000 W energi listrik total yang dihasilkan sebesar 197279.75 Wh. Pada ketinggian 43.2 meter energi listrik perhari yang dihasilkan sebesar 6573.96 Wh. Energi listrik rata-rata perhari pada ketinggian 43.2 meter berpotensi untuk dibangunnya pembangkit listrik tenaga angin dengan kapasitas daya sebesar 2000 W.

Selain itu arah angin yang paling dominan adalah barat laut, karena angin yang berhembus pada lokasi penelitian menuju barat laut. Turbin angin yang nantinya dibangun bisa menggunakan jenis turbin angin tanpa kontrol arah angin. Turbin permanent sangat cocok dibangun dilokasi ini dikarenakan variasi arah angin tidak begitu banyak. Selain itu daya yang dihasilkan lebih optimal dikarenakan tidak digunakan untuk kontrol arah turbin angin

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Analisis Potensi Energi Angin dan Estimasi Energi Listrik Berdasarkan Perbedaan Ketinggian di pantai Puger Kabupaten Jember". Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, Dedy Kurnia Setiawan, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
2. Ir. Widyono Hadi, M.T. selaku Dosen Penguji I, Dr. Azmi Saleh, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan kritik dan saran yang sangat membangun demi penyempurnaan skripsi ini;
3. Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;
4. Bambang Supeno, S.T., M.T. selaku Komisi Bimbingan S1 yang telah membantu skripsi secara administratif;
5. ibu Imawati dan ayahanda Suratno yang telah memberikan dukungan moril dan materiil serta kasih sayang yang tak terhingga;
6. adik-adik tersayang Lisna Imelia, Amanda Safitri, dan Dimas Andika Bhakti Subagio yang telah memberikan motivasi dan semangat;
7. keluarga lab listrik dasar Umam, Latif, Citra, Aji, dan Fandi yang turut serta berperan dalam penulisan skripsi dan selalu menjadi teman berbagi cerita senang dan sedih;
8. kekasihku Yunita Saskia yang senantiasa mendampingi dan memberikan semangatnya agar terus berjuang tanpa ada rasa letih menghampirinya;

9. teman-teman seperjuang Ahmad Afif, Yulanta P, Setia Indra W, dan Harun Ismail atas pengalaman berharga yang kita lalui bersama dalam setiap pengerjaan skripsi;
10. rekan-rekan kontrakan Nicko Wahyuliato, Taufiq Rahman, Dwi Novrianto, Dino, Ahmad Sayuti, dan Capel yang selalu berbagi rejeki di masa kuliah;
11. rekan seperjuangan sejak SMA yang telah memberikan sumbangsih ide untuk menyelesaikan skripsi ini;
12. sahabat-sahabat seperjuangan Teknik Elektro 2011 yang telah memberikan motivasi dan semangat dalam perjuangan di bangku kuliah;
13. semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

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

Jember, 28 November 2015

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBING	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
RINGKASAN	ix
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Potensi Energi Angin	6
2.1.1 Pembangkit Listrik Tenaga Angin.....	6
2.1.2 Kecepatan Angin	8
2.2 Analisis Weibull	10
2.3 Parameter Perhitungan Potensi Energi Angin	12
2.3.1 Distribusi Kecepatan Angin	12

2.3.2 Distribusi Arah Angin	13
2.3.3 Distribusi Energi Berdasarkan Arah Angin.....	14
2.3.4 Daya Angin.....	14
2.3.5 Energi Listrik.....	15
2.4 Sistem Keseluruhan Anemometer	16
2.4.1 Arduino Uno.....	16
2.4.2 Sensor CMPS03.....	17
2.4.3 Sensor <i>Hall Effect</i>	18
2.4.4 Sensor Temperatur DS1621	19
2.4.5 <i>Data Logger</i>	20
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	21
3.1 Jenis Penelitian.....	21
3.2 Tempat	21
3.3 Alat Dan Bahan	21
3.4 Kalibrasi Anemometer	22
3.5 Lokasi Penempatan Anemometer	24
3.6 Prosedur Penelitian.....	25
3.7 Diagram Alir Penelitian	27
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	29
4.1 Analisis Weibull	29
4.1.1 Kecepatan Angin	29
4.1.2 Kelas Kecepatan Angin Dan Kerapatan Probabilitas	31
4.2 Kerapatan Udara	34
4.3 Daya Angin	36
4.4 Energi Angin.....	38
4.5 Energi Listrik	39
4.6 Wind Rose.....	46
BAB 5. PENUTUP.....	52
5.1 Kesimpulan.....	52
5.2 Saran	53
DAFTAR PUSTAKA	54

LAMPIRAN

56



DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Tingkatan kecepatan angin 10 meter di atas permukaan tanah.....	9
2.2 Ringkasan Arduino Uno.....	16
3.1 Data kalibrasi alat anemometer.....	23
4.1 Data kecepatan angin hari ke-3.....	30
4.2 Kelas kecepatan angin sesuai dengan perbedaan ketinggian.....	31
4.3 Parameter-parameter analisis <i>weibull</i>	33
4.4 Rata-rata temperatur udara dan kerapatan udara.....	35
4.5 Energi angin berdasarkan variasi ketinggian.....	38
4.6 Spesifikasi turbin angin 1000 W dan 2000 W.....	40
4.7 Lamanya turbin menghasilkan daya mulai pukul 09:00-19:00 WIB	41
4.8 Energi listrik berdasarkan variasi ketinggian.....	43
4.9 Energi listrik berdasarkan lamanya waktu.....	45

DAFTAR GAMBAR

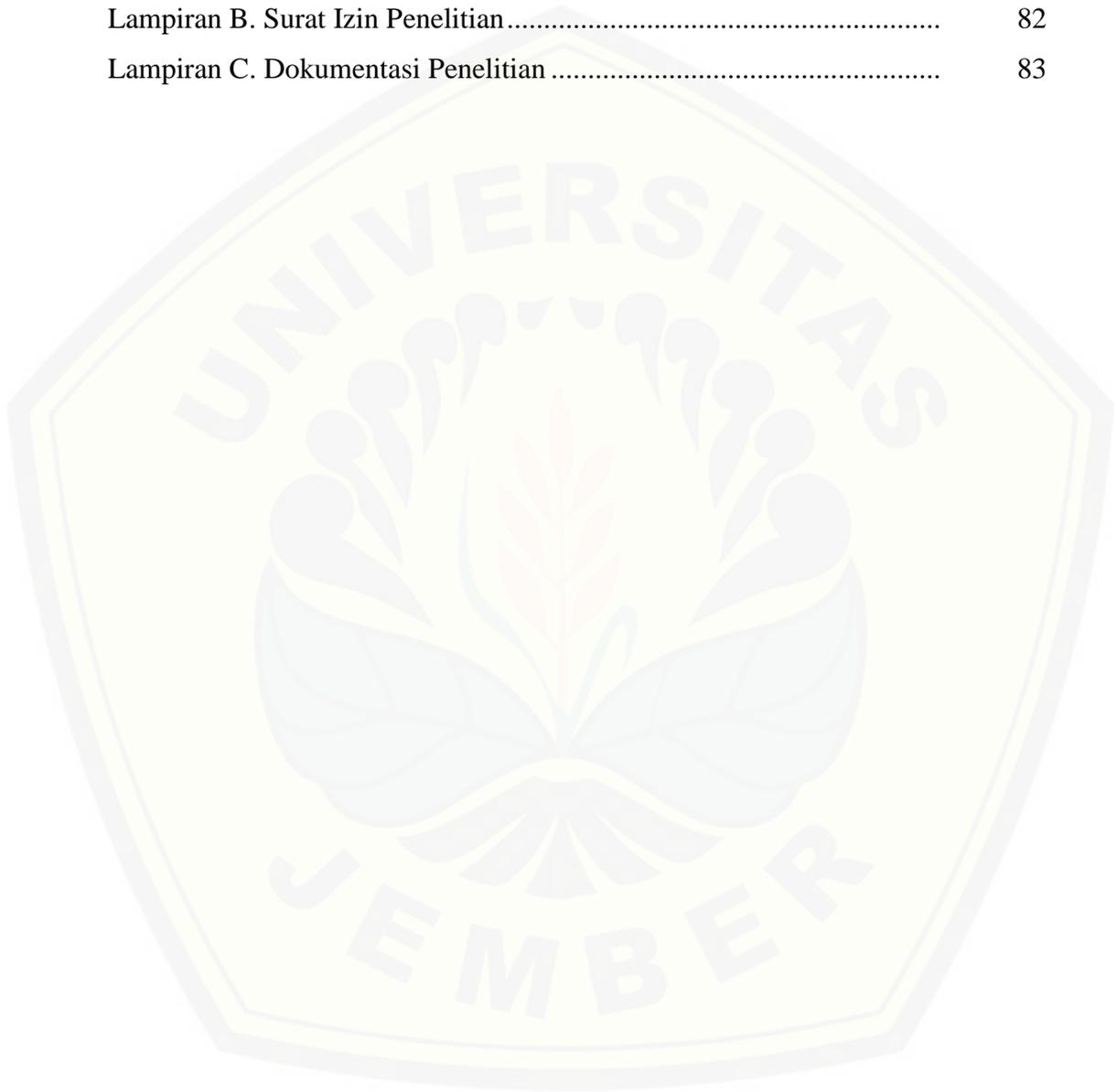
	Halaman
2.1 (a). Turbin angin sudu horizontal, (b). Turbin angin sudu vertical...	7
2.2 Generator DC pembangkit listrik tenaga angin.....	8
2.3 <i>Wind rose</i>	13
2.4 <i>Energy rose</i>	14
2.5 Mikrokontroler Arduino Uno.....	17
2.6 Sensor CMPS03	18
2.7 Sensor Hall effect.....	19
2.8 Sensor temperature DS1621.....	29
2.9 Data logger dan RTC	20
3.1 Lokasi penelitian	21
3.2 Rangkaian anemometer berbasis kecepatan dan arah angin	22
3.3 (a). Keseluruhan alat anemometer (b). Tampilan system anemometer berupa LCD	22
3.4 (a). Data alat anemometer berbasis Arduino Uno (b). Data alat Anemometer konvensional.....	23
3.5 Penempatan anemometer	24
3.6 Diagram alir penelitian.....	27
3.7 <i>Software Lakes Environmental</i>	28
4.1 Grafik kepatan probabilitas	33
4.2 Grafik probabilitas kumulatif.....	34
4.3 Grafik potensi daya angin pada tiap ketinggian.....	37
4.4 Grafik daya listrik 1000 W dan 2000 W pada tiap ketinggian.....	42
4.5 <i>Wind rose</i> pada ketinggian 7.3 meter berdasarkan kecepatan angin	46
4.6 <i>Wind rose</i> pada ketinggian 20.6 meter berdasarkan kecepatan angin	47
4.7 <i>Wind rose</i> pada ketinggian 43.2 meter berdasarkan kecepatan angin	47
4.8 <i>Wind rose</i> pada ketinggian 7.3 meter berdasarkan daya angin	48
4.9 <i>Wind rose</i> pada ketinggian 20.6 meter berdasarkan daya angin	49
4.10 <i>Wind rose</i> pada ketinggian 43.2 meter berdasarkan daya angin	49

4.11 <i>Wind rose</i> pada ketinggian 7.3 meter berdasarkan daya listrik.....	50
4.12 <i>Wind rose</i> pada ketinggian 20.6 meter berdasarkan daya listrik....	50
4.13 <i>Wind rose</i> pada ketinggian 43.2 meter berdasarkan daya listrik....	51



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A. Data Kecepatan Angin	56
Lampiran B. Surat Izin Penelitian	82
Lampiran C. Dokumentasi Penelitian	83



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan terhadap energi listrik nasional yang tidak sebanding dengan ketersediaan energi yang ada dan pemenuhan kebutuhan listrik di wilayah Indonesia yang semakin hari semakin meningkat, upaya diversifikasi pembangkit listrik dengan sumber energi alternatif ramah lingkungan menjadi suatu hal yang mendesak. Hal ini pun sejalan dengan komitmen Indonesia yang tertuang dalam Rencana Aksi Nasional Mitigrasi Perubahan Iklim sebagai upaya mencapai target reduksi emisi Gas Rumah Kaca (GRK) sebesar 26% pada tahun 2020 (Peraturan Presiden No. 61, 2011).

Terkait dengan sumber energi fosil, khususnya minyak bumi yang tergolong sumber energi yang tidak dapat diperbarui (*non renewable resources*), serta ketersediaannya akan terus berkurang, maka perlu dimanfaatkannya sumber energi alternatif yang ketersediaannya selalu terjamin dan ramah lingkungan. Untuk itu perlu untuk diadakan kajian lebih mendalam untuk menentukan daerah-daerah yang memiliki potensi sumber energi di wilayah Indonesia, salah satunya adalah potensi angin.

Angin merupakan udara yang bergerak karena adanya perbedaan tekanan di permukaan bumi. Angin akan bergerak dari suatu daerah yang memiliki tekanan tinggi ke daerah yang memiliki tekanan yang lebih rendah. Angin yang bertiup di permukaan bumi ini terjadi akibat adanya perbedaan penerimaan radiasi surya, sehingga mengakibatkan perbedaan temperatur udara. Adanya perbedaan temperatur tersebut menyebabkan perbedaan tekanan, akhirnya akan menimbulkan gerakan udara. Perubahan panas antara siang dan malam merupakan gaya gerak utama sistem angin harian, karena beda panas yang kuat antara udara di atas darat dan laut atau

antara udara diatas tanah tinggi (pegunungan) dan tanah rendah (lembah) (Bayong Tjasyono, 2006).

Angin merupakan energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan sebagai energi listrik dengan memanfaatkan suatu Sistem Konversi Energi Angin (*SKEA*). Ketinggian juga akan mempengaruhi kecepatan angin yang dihasilkan. Pembangunan pembangkit listrik tenaga angin membutuhkan data kecepatan angin pada ketinggian yang sesuai dengan letak turbin anginnya. Letak turbin yang semakin tinggi akan lebih berpotensi agar kecepatan yang diterima oleh turbin dapat dimanfaatkan untuk menggerakkan generator. Jarak antar turbin juga perlu diperhitungkan agar angin tidak terlalu besar turbulensi angin yang terjadi. Semakin jauh jarak ketinggian turbin angin, maka semakin kecil nilai turbulensi angin yang akan terjadi (Mathew, 2006).

Pantai Pancer Puger Kabupaten Jember memiliki potensi dibangunnya pembangkit listrik tenaga angin, berdasarkan penelitian Bhakti Dharmawan dengan kecepatan angin rata-rata 5.399 m/s. Dari hasil penelitian ini terdapat kekurangan mengenai perbedaan ketinggian kecepatan angin (Bhakti Dharmawan, 2014). Ketinggian kecepatan angin yang seharusnya menjadi acuan untuk mendapatkan hasil energi angin, tidak dibahas didalamnya. Pembahasan tentang pengaruh perbedaan tinggi akan mempengaruhi kecepatan angin yang diukur. Semakin tinggi pengukuran yang dilakukan akan membuat angin yang diukur semakin cepat (Mathew, 2006). Hasil tersebut akan mempengaruhi data potensi energi angin dan energi listrik yang ada di daerah tersebut. Sehingga akan didapatkan data potensi energi listrik yang paling optimal sebagai acuan di dirikannya Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTA) dengan ketinggian pengukuran angin yang sesuai pada titik koordinat pengambilan data angin tersebut.

Pentingnya arah angin sebagai penunjuk frekuensi angin yang selalu mengarah ke daratan menjadi pokok utama dalam pendirian pembangkit listrik tenaga angin. Pembangkit listrik tenaga angin bisa menggunakan sirip angin untuk merubah arah turbin angin. Terkadang jika arah angin sudah diketahui, turbin angin bisa dibuat satu arah saja. Desain satu arah turbin angin bisa membuat pembangunan turbin angin

semakin mudah tanpa memikirkan tambahan sirip angin untuk penggerakannya. Arah angin yang dominan ini biasa digambarkan dalam bentuk *wind rose*. Dengan adanya *wind rose* akan mempermudah dalam menganalisis lokasi mana saja yang berpotensi untuk dibangunnya pembangkit listrik tenaga angin. Selain itu, dengan bantuan *wind rose* akan mempermudah analisis pembangunan pembangkit listrik tenaga angin.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, dapat dirumuskan suatu permasalahan diantaranya :

1. Berapakah potensi energi angin dengan variasi ketinggian dengan menggunakan analisis *weibull* di pantai Puger Kabupaten Jember?
2. Berapakah estimasi energi listrik dengan variasi ketinggian di pantai Puger Kabupaten Jember?
3. Bagaimana gambaran *wind rose* daerah Pantai Pancer Puger Kabupaten Jember?

1.3 Batasan Masalah

Pembahasan masalah pada penelitian ini dibatasi oleh beberapa hal, antara lain :

1. Lokasi yang dijadikan obyek penelitian adalah pantai Puger Kabupaten Jember.
2. Parameter ketinggian angin yang digunakan adalah dengan ketinggian 7.3 m, 20.6 m dan 43.6 m dimana ketinggian tersebut sesuai dengan ketinggian mercusuar milik Kementerian Perhubungan Distrik Navigasi Kelas I Surabaya.
3. Hanya menggunakan analisis *weibull* untuk menganalisis kecepatan angin.
4. Tidak memperhitungkan indeks kekasaran permukaan.

1.4 Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian ini antara lain :

1. Untuk mengetahui potensi energi angin dan energi listrik yang dihasilkan untuk dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik *renewable energy*.

2. Mengetahui potensi energi listrik paling optimal di ketinggian yang telah ditentukan dengan menggunakan analisis *weibull*.
3. Mendapatkan data dan gambaran *wind rose* daerah pantai Pancer Puger Kabupaten Jember.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui potensi energi angin dan energi listrik yang berguna untuk pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTA) di pantai Puger Kabupaten Jember.
2. Memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya dalam bidang energi terbarukan.
3. Penelitian ini dapat dijadikan sebagai tolak ukur dan referensi bagi penelitian selanjutnya, serta penerapannya secara langsung untuk bidang energi terbarukan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Angin adalah udara yang bergerak karena adanya perbedaan tekanan di permukaan bumi. Angin akan bergerak dari suatu daerah yang memiliki tekanan tinggi ke daerah yang memiliki tekanan yang lebih rendah. Angin yang bertiup di permukaan bumi ini terjadi akibat adanya perbedaan penerimaan radiasi surya, sehingga mengakibatkan perbedaan temperatur udara. Adanya perbedaan temperatur tersebut menyebabkan perbedaan tekanan, akhirnya menimbulkan gerakan udara. Perubahan panas antara siang dan malam merupakan gaya gerak utama sistem angin harian, karena beda panas yang kuat antara udara di atas darat dan laut atau antara udara di atas tanah tinggi (pegunungan) dan tanah rendah (lembah) (Bayong Tjasyono, 2006).

Variasi arah dan kecepatan angin dapat terjadi jika angin bergeser dengan permukaan yang licin (*smooth*), variasi yang diakibatkan oleh kekasaran permukaan disebut turbulensi mekanis. Turbulensi dapat pula terjadi pada saat udara panas pada permukaan bergerak ke atas secara vertikal, karena adanya resistansi dari lapisan udara di atasnya. Turbulensi yang disebabkan perbedaan temperatur lapisan atmosfer ini disebut turbulensi termal atau kadang disebut turbulensi konfektif. Fluktuasi kecepatan angin akibat turbulensi mekanis umumnya lebih kecil tetapi frekuensinya lebih tinggi (lebih cepat) dibandingkan dengan fluktuasi akibat turbulensi termal (Bayong Tjasyono, 2006).

Angin yang berpotensi digunakan sebagai pembangkit energi listrik adalah jenis angin permukaan. Angin permukaan ini terjadi pada ketinggian 1-100 meter dari permukaan tanah. Kecepatan angin permukaan dipengaruhi oleh bentuk permukaan, jenis tutupan lahan dan hambatan lainnya, dimana hal tersebut dapat menghambat laju aliran kecepatan angin (Mathew, 2006).

Gesekan angin dengan permukaan bumi maka akan mempengaruhi pergerakan dan kecepatan angin. Perlu diperhitungkan ketinggian yang dijadikan referensi untuk pendirian pembangkit listrik tenaga angin. Ketinggian itulah yang

nantinya bisa menjadikan tolak ukur pendirian pembangkit listrik tenaga angin yang sesuai dengan karakteristik angin dilokasi penelitian yang diinginkan. Dalam mengetahui kecepatan angin dan arah angin dilokasi dengan perbedaan ketinggian perlu adanya alat yang terbaru agar dapat menyimpan data angin dilokasi tersebut. Alat yang dimaksudkan adalah anemometer yang memiliki kapasitas untuk mengetahui kecepatan angin, arah angin dan temperatur udara di ketinggian tertentu. Alat ini bisa dibuat dengan sistem yang mudah, yaitu menggunakan mikrokontroler jenis Arduino Uno.

2.1 Potensi Energi Angin

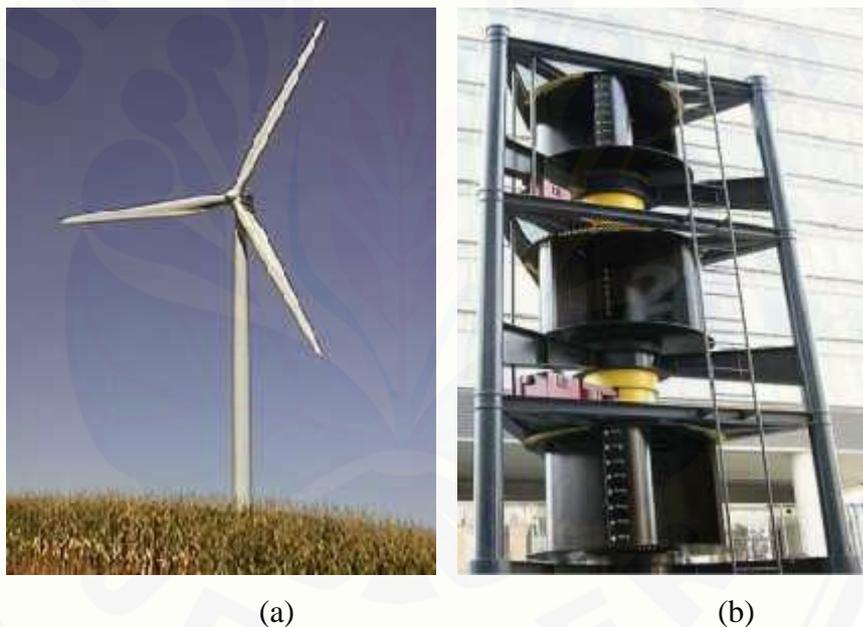
Angin merupakan energi alternatif yang murah dan dapat berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi bagi kebutuhan masyarakat. Energi tersebut dapat dikonversikan menjadi beberapa energi kinetik yang nantinya dapat mempermudah pekerjaan manusia. Hal ini sudah diterapkan dalam pemanfaatan angin menjadi penggerak utama pompa air guna untuk pengairan sawah (Sugiyanto, 2014).

Proses pemanfaatan energi angin juga dilakukan sejak lama untuk pemanfaatan energi listrik. Dengan bantuan energi angin ini proses perubahan energi dilakukan melalui dua tahapan konversi energi, pertama aliran angin akan menggerakkan rotor (baling-baling) yang menyebabkan rotor berputar selaras dengan angin yang bertiup, kemudian putaran dari rotor dihubungkan dengan generator, dari generator inilah dihasilkan arus listrik.

2.1.1 Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Pembangkit listrik tenaga angin menggunakan angin sebagai sumber energi yang menggerakkan generator guna menghasilkan listrik. Pembangkit ini mengkonversikan energi angin menjadi energi kinetik yang menggerakkan turbin angin. Turbin angin terbagi dalam dua kelompok, yaitu turbin sumbu horisontal biasanya memiliki dua atau tiga *blade* dalam penggunaannya. Turbin sumbu horisontal memiliki poros utama dan generator listrik di puncak menara. Turbin berukuran kecil diarahkan oleh sebuah baling-baling angin yang sederhana.

Sebuah menara menghasilkan turbulensi di belakangnya, sehingga turbin harus diarahkan melawan arah angin. Bilah-bilah dibuat kaku agar tidak terdorong menuju menara oleh angin berkecepatan tinggi. Sedangkan turbin sumbu vertikal merupakan turbin yang dapat menerima angin dari segala arah selain itu juga mampu bekerja pada angin dalam kecepatan yang rendah. Turbin ini memiliki efisiensi yang lebih kecil dibandingkan dengan turbin angin sumbu horisontal. Komponen turbin angin terdiri dari rotor dengan sudu sebagai penggerak utama, generator sebagai pengubah energi mekanik menjadi energi listrik, dan sayap/ekor yang berfungsi sebagai pengubah arah dan perangkat sistem kontrol elektrik. Turbin angin dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 (a). Turbin angin sudu horisontal, (b). Turbin angin sudu vertikal
(Sumber: www.getsttpln.com)

Generator juga menjadi komponen paling penting dalam pembangkit listrik tenaga angin. Generator yang digunakan dalam pembangkit listrik tenaga angin berbeda dengan generator yang digunakan dalam pembangkit listrik tenaga air ataupun uap. Biasanya generator yang digunakan dalam pembangkit listrik tenaga angin adalah generator DC. Generator ini tidak terlalu berat dan dimensi yang tidak terlalu besar. Dibawah ini gambar generator yang digunakan untuk pembangkit listrik tenaga angin :



Gambar 2.2 Generator DC pembangkit listrik tenaga angin
(Sumber: www.kincirangin.info)

Generator-generator yang digunakan juga memiliki beberapa spesifikasi yang harus diperhatikan jika ingin menggunakannya. Hal ini sangat penting guna menjaga kinerja generator dalam menghasilkan daya listrik sesuai dengan perhitungan yang telah dilakukan.

2.1.2 Kecepatan Angin

Kecepatan angin horisontal pada ketinggian 2 meter dari permukaan tanah merupakan angin permukaan yang kecepatannya dapat dipengaruhi oleh karakteristik permukaan yang dilaluinya. Kecepatan angin pada dasarnya ditentukan oleh perbedaan tekanan udara antara tempat asal, tujuan angin, dan resistansi medan yang dilaluinya (Lakitan, 1994).

Angin yang mengikuti pola umum sirkulasi udara disebut *prevailing wind*. Pada daerah tropis dan subtropis, angin berhembus dari arah tenggara untuk belahan bumi selatan dan dari arah timur laut untuk belahan bumi utara. Sedangkan untuk daerah beriklim sedang, angin berhembus dari arah barat, arah barat laut untuk belahan bumi selatan dan arah barat daya untuk belahan bumi utara. Sebaliknya untuk daerah kutub, angin umumnya berhembus dari daerah timur, sehingga searah dengan angin pada daerah tropis. *Prevailing wind* pada daerah tropis disebut *trade wind*, pada daerah beriklim sedang disebut *westerly wind*, dan daerah kutub disebut *polar wind* (Tjasyono, 2004).

Kerapatan udara dapat diukur dengan melihat temperatur yang ada disekitar lokasi yang ingin diukur nilai kerapatan anginnya. Semakin rendah temperatur suatu lokasi maka nilai kerapatan udaranya akan semakin besar. Begitu pula sebaliknya saat temperatur disuatu lokasi tinggi maka nilai kerapatan

udaranya akan menjadi lebih rendah. Berikut perhitungan nilai kerapatan udara sesuai dengan ketinggian dan temperatur lokasi yang ingin diukur :

$$\rho = \frac{353.049}{T} e^{-0.034 \frac{Z}{T}} \quad (2.1)$$

Dengan :

ρ : Densitas udara (kg/m^3)

T : Suhu udara dalam satuan Kelvin

Z : Ketinggian (m)

Syarat dan kondisi angin yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik dengan kincir angin dan jari-jari 1 meter dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1 Tingkatan kecepatan angin 10 meter di atas permukaan tanah
(Sumber: www.kincirangin.info)

Kelas	Kecepatan	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 ada angin, daun-daun bergoyang pelan, petunjuk arah angin bergerak
5	5.5 – 7.9	Debu jalan, kertas berterbangan, ranting pohon bergoyang
6	8.0 – 10.7	Ranting pohon bergoyang, bendera berkibar
7	10.8 – 13.8	Ranting pohon besar bergoyang, air kolam berombak kecil
8	13.9 – 17.1	Ujung pohon melengkung, hembusan angin terasa di telinga
9	17.2 – 20.7	Dapat mematahkan ranting pohon, jalan berat melawan arah angin
10	20.8 – 24.4	Dapat mematahkan ranting pohon, rumah rubuh
11	24.5 – 28.4	Dapat merubuhkan pohon, menimbulkan kerusakan
12	28.5 – 32.6	Menimbulkan kerusakan parah

Kelas	Kecepatan	Kondisi Alam di Daratan
13	32.7 – 36.9	Tornado

2.2 Analisis Weibull

Metode yang digunakan untuk mengetahui distribusi kecepatan angin yaitu menggunakan analisis distribusi *Rayleigh* dan *Weibull*. Kedua analisis tersebut mempunyai parameter yang berbeda dalam mendapatkan data analisis energi angin. Perbedaan tersebut terdapat dalam penentuan parameter k yang digunakan untuk mendapatkan potensi energi angin.

Data kecepatan angin dapat dilihat dengan berbagai bentuk histogram penyajian data, terutama dalam hal informasi mengenai karakteristik pola angin di suatu lokasi. Mengolah data dengan menggunakan fungsi distribusi tertentu akan lebih bermanfaat untuk meramalkan keluaran turbin angin dengan lebih akurat. Fungsi distribusi yang sangat mendekati dapat diselesaikan dengan menggunakan analisis *weibull*. Analisis *weibull* yang digunakan dalam menganalisis potensi energi angin adalah dengan metode Distribusi Kumulatif dan metode Kerapatan Probabilitas (Daryanto,2007).

Dalam distribusi *weibull*, variasi kecepatan angin ditandai dengan dua fungsi yaitu fungsi kerapatan probabilitas dan fungsi distribusi kumulatif. Fungsi kerapatan probabilitas ($f(V)$) menunjukkan data angin dalam satuan waktu dengan kecepatannya (V). Yang diperoleh dari rumus :

$$f V = \frac{k}{c} \frac{V}{c}^{k-1} e^{-\left(\frac{V}{c}\right)^k} \quad (2.2)$$

Dengan :

$f V$: Kerapatan probabilitas

k : Parameter bentuk

c : Parameter skala

V : Kecepatan angin (m/s)

Fungsi distribusi kumulatif ($F(V)$) menunjukkan lamanya kecepatan angin dalam satuan waktu dengan kecepatannya (V). Yang diperoleh dari rumus :

$$F V = \int_0^V f V dV = 1 - e^{-V/c^k} \quad (2.3)$$

Dengan :

$F V$: Kerapatan probabilitas

k : Parameter bentuk

c : Parameter skala

V : Kecepatan angin (m/s)

Angin sejatinya bervariasi mulai dari hari, bulan, musim, dan tahun. Bahkan batas tertentu dari tahun ke tahun berbeda sesuai dengan karakteristik angin tersebut. Energi angin memiliki variasi yang melekat dan telah diaplikasikan oleh metode distribusi. Metode distribusi ini menggunakan parameter bentuk (k) dan parameter skala (c). Nilai yang sesuai untuk kedua parameter bentuk dan skala sangatlah penting untuk memilih lokasi instalasi generator turbin angin. Parameter skala distribusi ini juga untuk menentukan daerah angin tersebut memiliki kondisi baik atau buruk.

Untuk menganalisis keragaman data angin mengikuti distribusi *weibull*, kita harus memperkirakan parameter *weibull* k dan c . Metode umum untuk menentukan k dan c adalah Metode Standar Deviasi. *Weibull* faktor k dan c juga dapat diperkirakan dari nilai tengah dan standar deviasi dari data angin. Pertimbangan untuk deviasi standar dan rata-rata yang diberikan σ_V dan V_m dihitung untuk satu data yang diberikan dengan menggunakan persamaan :

$$V_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i \quad \sigma_V = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (V_i - V_m)^2}}{n} \quad (2.4)$$

Dengan :

V_m : Kecepatan rata-rata (m/s)

n : Jumlah data

V_i : Kecepatan angin total (m/s)

σ_V : Standart deviasi

Maka k dapat ditentukan dengan pendekatan lebih sederhana, pendekatan yang dapat digunakan untuk nilai k adalah dengan menggunakan rumus :

$$k = \frac{\sigma_V}{V_m}^{-1.090} \quad (2.5)$$

Dengan :

k : Parameter bentuk

σ_V : Standart deviasi

V_m : Kecepatan rata-rata (m/s)

Dengan demikian, c dapat diperkirakan sebagai

$$c = \frac{2V_m}{\sqrt{\pi}} \quad (2.6)$$

Dengan :

c : Parameter skala

V_m : Kecepatan rata-rata (m/s)

π : Standart deviasi

2.3 Parameter Perhitungan Potensi Energi Angin

Perhitungan potensi energi angin dihitung dengan menggunakan analisis *weibull*. Analisis ini digunakan untuk mengolah data angin untuk mengetahui karakteristik kecepatan angin dengan melihat kepadatan probabilitas dan probabilitas kumulatif. Kepadatan probabilitas digunakan untuk mendapatkan data kecepatan angin yang sering muncul. Sedangkan probabilitas kumulatif digunakan untuk mengetahui interval kecepatan angin selama pengambilan data dilakukan. Perhitungan dengan analisis *weibull* ini dapat diaplikasikan untuk mendapatkan potensi daya angin dan daya listrik beserta energinya untuk dapat dibangunnya pembangkit listrik tenaga angin.

2.3.1 Distribusi Kecepatan Angin

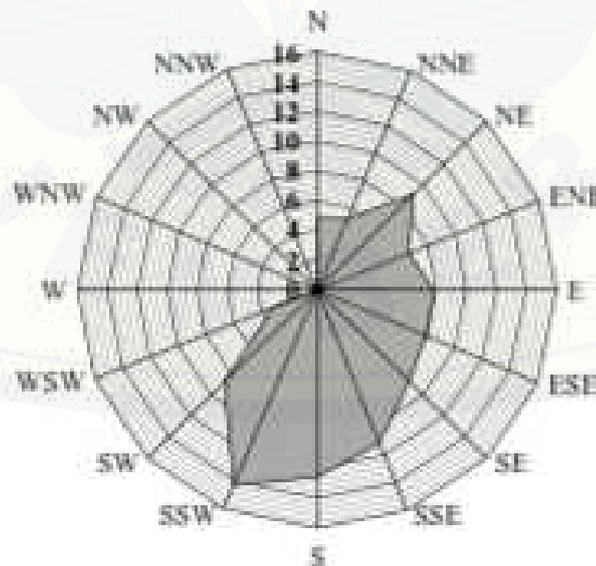
Distribusi kecepatan angin dapat diketahui dari data kecepatan angin hasil pemantauan langsung yang kemudian dihitung secara statistik. Data hasil penelitian yang dilakukan yaitu data kecepatan angin dengan frekuensi satu bulan

dengan kecepatan angin pada tiap-tiap jam. Dengan hal ini memungkinkan untuk mendapatkan data kecepatan angin yang lebih akurat dalam jangka waktu satu hari. Hasil data yang telah dikumpulkan akan diolah dengan menggunakan analisis *weibull* untuk mengetahui dominasi dan variabilitas dari nilai kecepatan angin pada lokasi yang sedang diteliti.

Kecepatan angin yang paling rendah dan paling tinggi digunakan untuk memilih jenis turbin angin. Nilai *cut in* dari turbin angin menunjukkan kecepatan angin yang dapat membangkitkan daya pada turbin angin. Semakin kecil *cut in* turbin angin membuat kecepatan angin paling kecil bisa dimanfaatkan untuk membangkitkan daya listrik.

2.3.2 Distribusi Arah Angin

Distribusi arah angin atau biasa disebut dengan *wind rose* ini menunjukkan arah angin dominan yang terjadi selama pemantauan pada lokasi. Arah angin yang paling dominan digunakan sebagai acuan pemasangan turbin angin. Pemasangan turbin angin permanen tanpa adanya pengubah arah turbin angin membuat biaya yang dikeluarkan untuk pembangunan turbin angin semakin murah. Gambaran *wind rose* diperlihatkan pada Gambar 2.3

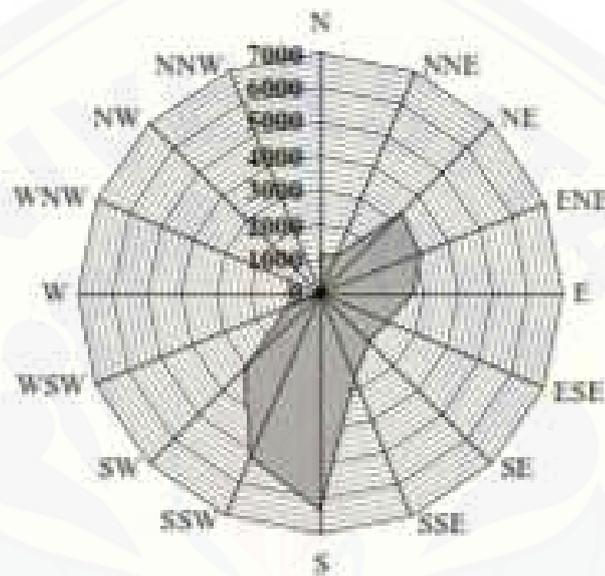


Gambar 2.3 *Wind rose*

Sumber : *Wind Energy Fundamentals, Resource Analysis and Economics*
(Sathyajith Mathew, 2006)

2.3.3 Distribusi Energi Berdasarkan Arah Angin

Berdasarkan *wind rose* dapat diketahui juga potensi energi angin berdasarkan arah angin dominan. Arah angin dominan dengan kecepatan angin paling tinggi dapat menghasilkan energi listrik paling optimal. Energi listrik digambarkan pada gambar tersebut sesuai dengan arah dan kecepatan yang dihasilkan. Gambaran *energy rose* diperlihatkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 *Energy rose*

Sumber : *Wind Energy Fundamentals, Resource Analysis and Economics* (Sathyajith Mathew, 2006)

2.3.4 Daya Angin

Daya angin didapatkan dari data kerapatan udara yang ada dilokasi penelitian yang dilakukan. Dengan adanya data kerapatan udara akan membuat perhitungan daya angin sesuai dengan rumus :

$$P_V = \frac{1}{2} \rho v^3 \quad (2.7)$$

Dengan:

- P_V : Daya angin (watt/m^2)
- ρ : Densitas udara (kg/m^3)
- v : Kecepatan angin (m/s)

Untuk nilai energi angin juga dapat ditentukan dengan analisis weibull yaitu menggunakan persamaan berikut :

$$E_V = P_V f(V) \quad (2.8)$$

Dengan :

E_V : Energi angin (Joule)

P_V : Daya angin (watt/m^2)

$f V$: Kerapatan probabilitas

2.3.5 Energi Listrik

Energi Listrik didapatkan dari nilai spesifikasi turbin angin yang dipilih. Spesifikasi tersebut meliputi energi listrik maksimal turbin yang dihasilkan, kecepatan *cut in* dan kecepatan *cut off*. Dari hasil nilai *cut in* dan *cut off* yang telah didapatkan dapat diketahui berapa lama turbin angin akan menghasilkan daya:

$$P(V_1 < V < V_2) = e^{-\frac{V_1}{c} k} - e^{-\frac{V_2}{c} k} \quad (2.9)$$

Dengan :

V_1 : Kecepatan angin *cut in* (m/s)

V_2 : Kecepatan angin *cut off* (m/s)

k : Parameter bentuk

c : Parameter skala

Dari hasil yang didapatkan dari persamaan (2.9) akan didapatkan nilai parameter waktu lamanya turbin menghasilkan energi listrik. Parameter yang dihasilkan dapat digunakan untuk mendapatkan nilai energi listrik setelah daya listrik dari tiap-tiap kecepatan didapatkan. Selama kecepatan angin yang dihasilkan berpotensi, maka hasil untuk perhitungan daya listrik akan semakin besar. Hal ini juga dipengaruhi oleh luasan sapuan rotor untuk menggerakkan generator listrik. Selain itu efisiensi dari turbin angin akan mempengaruhi kinerja generator untuk menghasilkan daya listrik. Sehingga didapatkan rumus untuk nilai daya listrik sebagai berikut :

$$P_D = \frac{1}{2} C_p \eta_D \eta_G \rho A v^3 \quad (2.10)$$

Dengan :

P_D : Daya Listrik (Watt)

C_p : Koefisien Daya

η_D : Drive train efisiensi dengan nilai 0.9

η_G : Efisiensi generator

A : Luasan rotor (m²)

ρ : Densitas udara (kg/m³)

v : Kecepatan angin (m/s)

2.4 Sistem Keseluruhan Anemometer

Anemometer yang digunakan merupakan anemometer berbasis kecepatan dan arah angin. Sistem menggunakan mikrokontroler yang dapat mengontrol beberapa sensor dan menyimpannya dalam memori eksternal. Komponen-komponen yang digunakan meliputi arduino uno, sensor dan data logger. Agar dapat melihat data kecepatan angin, arah angin dan temperatur udara sudah disediakan juga tampilan LCD.

2.4.1 Arduino Uno

Arduino Uno adalah board mikrokontroler berbasis ATmega328 yang memiliki 14 pin input dan output. Memiliki 6 pin input output digital sebagai output *Pulse Width Modulation* dan 6 pin input analog. Untuk mendukung mikrokontroler agar dapat digunakan, cukup hanya menghubungkan board Arduino Uno ke komputer dengan menggunakan kabel USB. Berikut tabel tentang ringkasan Arduino Uno :

Tabel 2.2 Ringkasan Arduino Uno
(sumber : www.arduino.cc)

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V

Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V pin	50 mA
Flash Memory	32 KB
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock Speed	16 MHz

Dengan adanya mikrokontroler ini semua sensor akan dikontrol dan di program untuk dapat disimpan ke dalam memori internal berupa data kecepatan angin, arah angin dan temperatur udara pada tiap-tiap ketinggian. Mikrokontroler jenis ini sudah dapat mencakupi kebutuhan sistem yang nantinya digunakan dalam pembuatan alat anemometer berbasis kecepatan dan arah angin yang diinginkan. Dibawah ini gambar Arduino Uno yang digunakan untuk pembuatan alat anemometer :



Gambar 2.5 Mikrokontroler Arduino Uno

2.4.2 Sensor CMPS03

Sensor kompas CMPS03 merupakan salah satu sensor arah elektronik yang dapat mendeteksi arah sesuai dengan magnetik bumi. Arah angin yang ditunjukkan dari sensor ini berupa derajat mulai dari 0° - 360° . Sensor ini

menggunakan jalur komunikasi I2C ke mikrokontroler. Dengan adanya jalur komunikasi data I2C ini CMPS03 dapat dihubungkan langsung ke mikrokontroler yang telah memiliki jalur komunikasi I2C seperti ATmega328 yang sudah menjadi Arduino Uno.

Sensor CMPS03 memiliki jumlah pin sebanyak 9 dimana pin-pin yang digunakan adalah pin 1 untuk tegangan +5V, pin 2 SCL, pin 3 SDA dan pin 9 untuk tegangan GND. Dalam pemasangannya pin SDA dan SCL harus dalam kondisi *Pull Up* dimana harus mendapatkan tegangan positif yang telah diparalelkan dengan resistor 4k7. Sedangkan untuk melakukan kalibrasi bisa menggunakan pin 6 yang dihubungkan dengan pin GND. Bentuk CMPS03 dapat dilihat pada gambar 2.6 dibawah ini :



Gambar 2.6 Sensor CMPS03

2.4.3 Sensor Hall Effect

Sensor *hall effect* yang digunakan untuk alat anemometer berbasis kecepatan dan arah angin merupakan sensor yang memiliki spesifikasi *on/off* atau *pulse*. Dimana kondisi yang diambil untuk mendapatkan data kecepatan adalah saat sensor *hall effect* mengenai magnet. *Hall effect* akan mengalami kondisi *low* saat menyentuh magnet dan kondisi *high* saat sensor *hall effect* tidak menyentuh magnet. Dari kondisi inilah akan membuat *pulse* dari kecepatan angin yang nantinya akan dirubah dari frekuensi ke dalam kecepatan. Gambar sensor *hall effect* dapat dilihat pada gambar 2.7 berikut :



Gambar 2.7 Sensor *hall effect*

2.4.4 Sensor Temperatur DS1621

DS1621 merupakan salah satu sensor temperatur yang menggunakan komunikasi I2C dalam pembacaan nilai temperturnya. Sensor produksi Dallas Semikonduktor ini cukup bagus karena bisa membaca range temperatur mulai -55° sampai dengan 125° C. Sensor ini banyak digunakan untuk pengukuran temperatur diluar ataupun didalam ruangan. Dalam penggunaannya pada alat anemometer ini bertujuan untuk mengetahui temperatur yang ada pada tiap-tiap ketinggian yang diukur agar dapat ditentukan berapa nilai kerapatan angin yang sedang berhembus. Gambar 2.8 merupakan sensor DS1621 yang digunakan untuk alat anemometer.



Gambar 2.8 Sensor temperatur DS1621

2.4.5 Data Logger

Data logger digunakan untuk menyimpan data dari beberapa sensor yang telah dipakai. Data kecepatan angin, arah angin dan temperatur udara akan disimpan dalam memori *external* yang dipasangkan dalam sistem data logger. Data logger biasanya digabungkan dengan sistem *real time clock* ataupun bisa berdiri sendiri. Data logger yang telah ada sistem *real time clock* akan menjadi lebih praktis dalam pemakaiannya.

Proses penyimpanan data bisa diatur berapa kali dalam satu menit dengan memberikan delay waktu penyimpanan data yang dibutuhkan. Dalam penggunaannya data logger beserta real time clock terdiri dari 8 pin yang masing-masing memiliki fungsi sendiri-sendiri. Untuk tegangan +5V dan GND digabungkan menjadi satu karena catu daya untuk data logger dan real time clock sama yaitu sebesar +5V. Sedangkan untuk pin SDA dan SCL digunakan untuk komunikasi data real time clock. Gambar 2.9 menunjukkan sistem keseluruhan dari data logger.



Gambar 2.9 Data logger dan RTC

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang akan dilakukan yaitu analisa potensi energi angin dan estimasi energi listrik dengan menggunakan analisis *weibull*.

3.2 Tempat

Penelitian ini dilakukan di daerah Puger, tepatnya di pantai Pancer Puger Kabupaten Jember. Pantai Pancer ini terletak di selatan kota Jember. Tepatnya pada garis lintang selatan $8^{\circ}22'48.71''$ dan $113^{\circ}28'05.63''$ bujur timur. Lokasi yang digunakan milik Kementerian Kelautan Distrik Navigasi Kelas I Surabaya dengan memanfaatkan tower mercusuar.



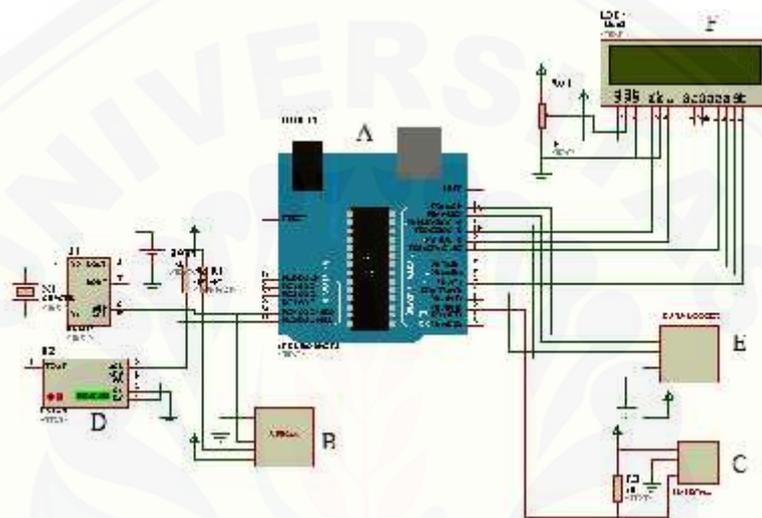
Gambar 3.1 Lokasi penelitian

3.3 Alat dan Bahan

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian adalah:

- Arduino UNO
- CMPS03
- Sensor Hall Effect
- Sensor temperatur DS1621
- Data Logger

- f. LCD 16x2
- g. Software Arduino IDE
- h. Laptop
- i. Pipa PVC dan propeller anemometer
- j. Cup penangkap angin
- k. Software Lakes Environmental



Gambar 3.2 Rangkaian anemometer berbasis kecepatan dan arah angin



Gambar 3.3 (a). Keseluruhan alat anemometer (b). Tampilan sistem anemometer berupa LCD

3.4 Kalibrasi Anemometer

Proses kalibrasi alat digunakan untuk mendapatkan pembacaan kecepatan angin dan temperatur sesuai dengan alat konvensional. Alat yang digunakan untuk

proses kalibrasi adalah anemometer digital *GM816*. Kesamaan dalam pembacaan kecepatan angin dan temperatur diperhitungkan agar data yang didapatkan sesuai dengan alat tersebut. Berikut data kalibrasi alat yang dilakukan di pantai Puger Kabupaten Jember :



(a)



(b)

Gambar 3.4 (a). Data alat anemometer berbasis Arduino Uno (b). Data alat anemometer konvensional

Data yang didapatkan dalam proses kalibrasi dapat dilihat pada tabel 3.1 dibawah ini :

Tabel 3.1 Data kalibrasi alat anemometer

Anemometer berbasis Arduino	Anemometer Konvensional	Error %
1.26	1.3	3.08
2.51	2.5	0.40
3.77	3.8	0.79
5.02	5	0.40
6.28	6.3	0.32
7.54	7.5	0.53
8.78	8.8	0.23
10.05	10	0.50

Data yang ditunjukkan tabel 3.1 merupakan data kalibrasi alat yang dilakukan di pantai Puger Kabupaten Jember dengan error persen tertinggi pada kecepatan angin 1.26 m/s sebesar 3.08 %. Error persen terendah pada kecepatan

0.23 m/s. Data tersebut tidak memiliki jarak yang jauh beda dengan alat ukur konvensional sebagai pembandingnya sehingga alat ukur layak digunakan.

3.5 Lokasi Penempatan Anemometer

Penempatan alat anemometer berbasis kecepatan dan arah angin dilakukan di tiang mercusuar milik Kementerian Kelautan Distrik Navigasi Kelas I Surabaya. Pemasangan dengan ketinggian titik A 7.3 meter, titik B 20.6 meter dan titik C 43.2 meter. Ketinggian yang berbeda bertujuan untuk mendapatkan data perbedaan angin yang signifikan dari lokasi penelitian tersebut. Berikut ini gambar penempatan alat tersebut :



Gambar 3.5 Penempatan anemometer

3.6 Prosedur Penelitian

Dalam penelitian dan pembuatan skripsi ini, langkah-langkah atau prosedur penelitian yang akan dilakukan yaitu:

a. Tahap Persiapan

Tahap persiapan ini berisi tentang proses pembuatan alat dan kalibrasi alat agar sesuai dengan alat konvensional yang dijadikan sebagai acuan. Selain itu, pengelolaan administrasi mengenai peminjaman alat dan administrasi lainnya, seminar proposal, dan membuat garis besar rencana/konsep penelitian.

b. Studi Literatur terhadap Obyek dan Penelitian

Studi literatur ini bertujuan untuk menambah sumber dan metode yang akan digunakan. Dalam tahap ini juga menggali jurnal maupun artikel lokal dan atau internasional yang akan dijadikan sumber rujukan untuk menunjang penelitian ini.

c. Pengumpulan Data

Dalam tahap ini dilakukan pengumpulan dari data-data penelitian dengan mengambil data kecepatan, arah angin dan temperatur di pantai Puger selama 30 hari. Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini antara lain data mengenai kecepatan angin, arah angin, dan temperature sesuai ketinggian pada tempat penelitian selama 30 hari. Selanjutnya setelah data yang dibutuhkan ada, maka tahapan selanjutnya bisa dilakukan.

d. Analisis Data

1. Daya Angin

Analisis data dilakukan setelah semua data yang dibutuhkan untuk analisa telah tersedia, yaitu data tentang kecepatan angin selama satu bulan, arah angin dan temperatur pada daerah tersebut. Data kecepatan angin dibutuhkan untuk dapat mengetahui potensi kecepatan rata-rata angin yang ada di pantai Puger. Sedangkan temperatur digunakan untuk menentukan kerapatan angin yang ada pada lokasi sesuai dengan perbedaan ketinggian yang dijadikan tempat alat

tersebut dipasang. Kerapatan angin yang sudah didapatkan nantinya dapat digunakan untuk menentukan potensi daya angin. Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai daya angin adalah persamaan (2.7).

2. Daya Listrik

Dari data kecepatan angin selama 30 hari dijadikan referensi untuk menentukan potensi energi listrik dengan ketinggian yang telah ditentukan. Energi listrik yang didapatkan disesuaikan dengan kapasitas turbin angin yang digunakan. Data yang digunakan untuk turbin angin meliputi efisiensi generator, panjang blade yang digunakan dan coefisien daya turbin angin. Persamaan yang digunakan untuk menentukan nilai dari energi listrik adalah persamaan (2.10).

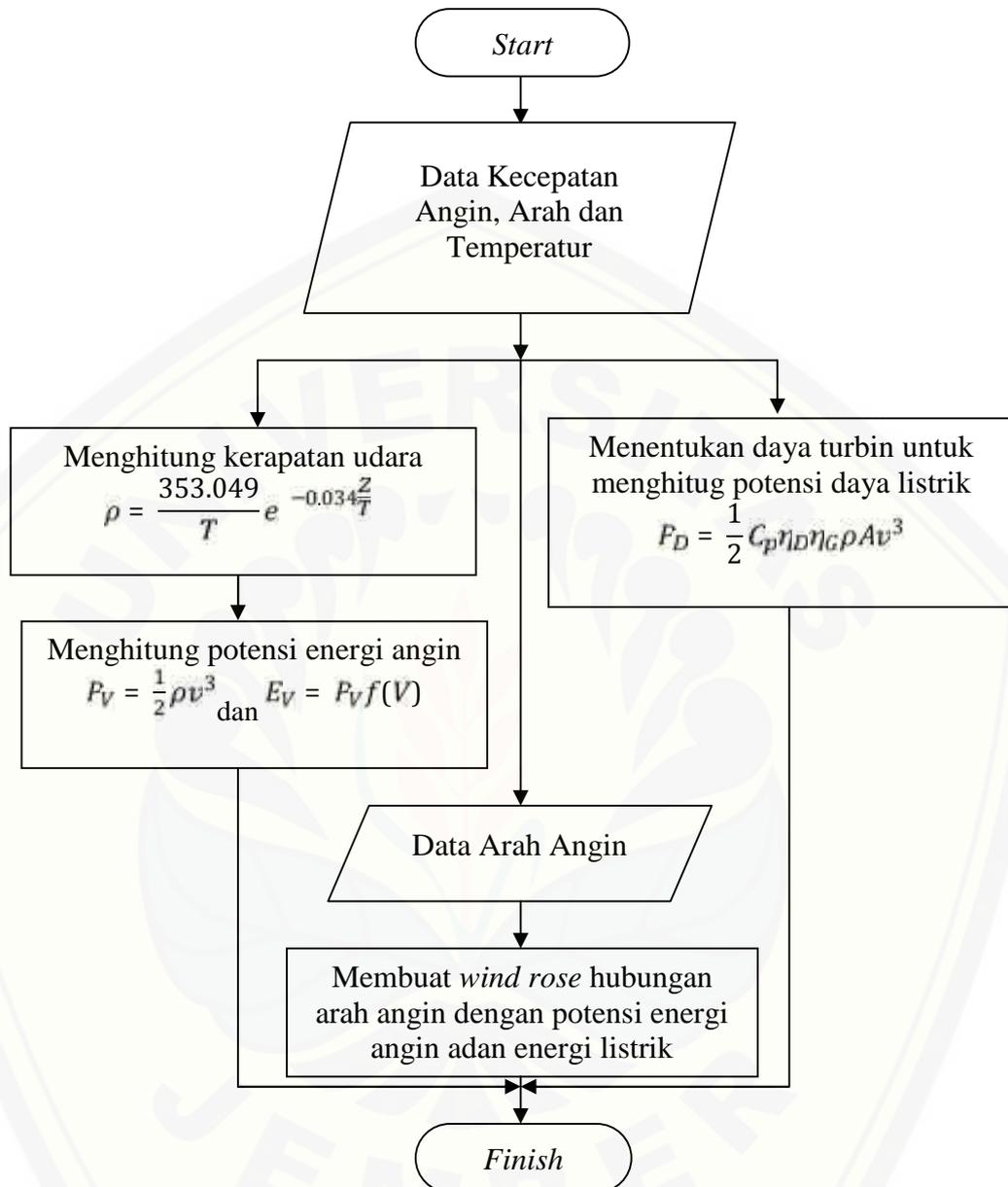
3. *Wind Rose*

Sedangkan untuk arah angin diperlukan guna mengetahui arah angin yang dominan pada daerah tersebut, sehingga saat dibangun pembangkit listrik tenaga angin tidak terjadi salah penempatan arah turbin listrik. Hasil dari data arah angin akan dianalisis dengan potensi energi angin dan energi listriknya menggunakan software Lakes Environmental. Penggunaan aplikasi tersebut diperlukan untuk pembangunan pembangkit listrik tanpa adanya kontrol arah turbin angin. Fungsinya agar biaya yang digunakan untuk pembangunannya tidak terlalu banyak dan daya yang dihasilkan bisa lebih optimal karena tidak digunakan untuk melakukan perputaran arah turbin angin.

e. Pengambilan Kesimpulan dan Saran

Pengambilan kesimpulan dan saran merupakan tahap terakhir dari penelitian ini, pengambilan kesimpulan ini didasarkan pada hasil analisa data yang ada. Sementara untuk saran digunakan untuk perbaikan-perbaikan yang mungkin terjadi, atau kemungkinan pengembangan dan aplikasi dengan metode maupun cara yang berbeda.

3.7 Diagram Alir Penelitian

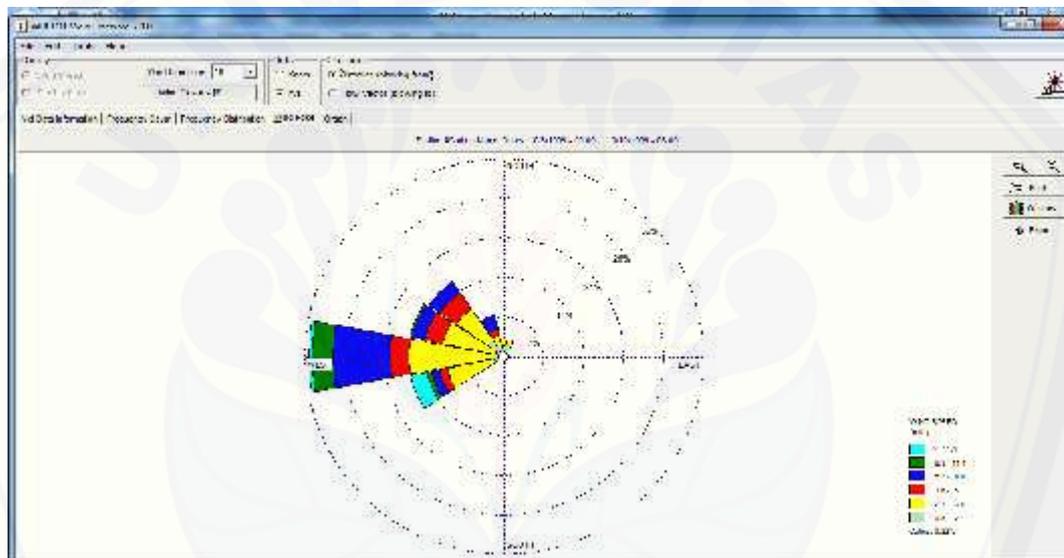


Gambar 3.6 Diagram alir penelitian

Berdasarkan diagram alir dapat dijelaskan bahwa setelah proses dimulai maka data yang harus diambil adalah data kecepatan angin terlebih dahulu selama 30 hari. Data kecepatan angin yang telah didapatkan selanjutnya akan dianalisis terlebih dahulu untuk mendapatkan nilai kerapatan udara sesuai persamaan (2.1), dengan menggunakan analisis *weibull* dapat ditentukan nilai potensi daya angin beserta energinya menggunakan persamaan (2.7 dan 2.8). Jenis turbin yang nantinya digunakan untuk mengetahui potensi energi listrik dapat ditentukan dari

data kecepatan angin. Data yang digunakan adalah nilai angin dalam kondisi *cut in* dan *cut off*. Kondisi *cut in* adalah kondisi angin sudah dapat menghasilkan daya samapai ke titik maksimal yang dimiliki. *Cut off* sendiri diartikan sebagai kecepatan angin yang melampaui batas kekuatan untuk menghasilkan daya. Sehingga didapatkan persamaan (2.10) untuk mendapatkan nilai energi listrik.

Semua potensi yang ada untuk energi listrik dan energi angin akan diolah dengan menggunakan variasi ketinggian. Data yang dihasilkan akan bervariasi sesuai dengan ketinggian yang ditentukan. Wind rose dapat dibuat dengan bantuan aplikasi Lakes Environmental seperti gambar berikut :



Gambar 3.7 Software Lakes Environmental

Data yang dimasukkan dalam aplikasi ini adalah kecepatan angin dan arah anginnya. Data tersebut dimasukkan dalam bentuk *file* TXT. Setelah data dimasukkan dalam aplikasi, tinggal memilih *wind rose* untuk mendapatkan tampilan karakteristik angin sesuai kecepatannya.

Setelah semua data lengkap, maka karakteristik *wind rose* daerah pantai akan digunakan untuk menganalisis potensi yang ada di daerah tersebut. Sehingga dari ketiga kondisi yaitu energi angin, energi listrik, dan *wind rose* akan dianalisis secara bersamaan. Data yang didapat berupa hubungan dari ketiga kondisi tersebut.