



**ANALISIS PERBANDINGAN EKONOMIS DAN ELEKTRIS PADA
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN MENGGUNAKAN
HOMER DI PLTH BANTUL YOGYAKARTA**

SKRIPSI

Oleh

**Muhamad Habibi
NIM 081910201035**

**PROGRAM STUDI STRATA-1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2013**



**ANALISIS PERBANDINGAN EKONOMIS DAN ELEKTRIS PADA
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN MENGGUNAKAN
HOMER DI PLTH BANTUL YOGYAKARTA**

SKRIPSI

**diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi syarat-syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik**

Oleh

**Muhamad Habibi
NIM 081910201035**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2013**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini merupakan langkah awal kesuksesan yang kuraih sebelum menuju kesuksesan selanjutnya dalam hidupku. Tenaga dan pikiran telah ku korbankan selama 4 tahun 8 bulan. Untuk itu saya mempersembahkan karya ini kepada:

Ayahanda Sucipto, Ibunda Baroroh, serta Adik-adikku Umul Fiqiyah, Muhammad Hanafi dan Muhammad Khairil Anwar, terimakasih atas doa, dukungan, kasih sayang, kesabaran, ketabahan dan doa restunya;

Bapak Momon Sadiyatmo, Igib Prasetyaningsari dan Bapak Malik Ibrochim, terima kasih atas berbagi ilmu pengetahuan dalam penelitian ini di Bantul;

Pembimbing terbaikku Bapak Dedy K,S dan Project D, bersama kalian merupakan kenangan yang terindah yang tak akan pernah terlupakan.;

Teman-teman Teknik Elektro S1 2008 yang selama 4 tahun 8 bulan menemani saya dan menjadi tempat untuk membagi pengalaman satu sama lainnya guna membuka wawasan dan saling membantu sama lainnya;

Teman-teman Backpacker Indonesia, atas rasa kekeluargaan yang diberikan secara survival dan didikan adventure selama perbackpackeran dan Indonesia sehingga dapat menjadi pribadi yang berpengalaman ;

Guru-guru sejak TK sampai Perguruan Tinggi yang terhormat, terimakasih telah memberikan ilmu dan mendidik dengan penuh kesabaran;

Almamater Fakultas Teknik universitas Jember.

MOTTO

*“Hai orang-orang yang beriman, Jadikanlah sabar dan shalatmu Sebagai penolongmu, sesungguhnya Allah beserta orang-orang yang sabar”
(Al-baqarah: 153)*

*“Kekurangan-kekurangan yang anda lihat pada diri orang lain tanpa anda sadari sebenarnya adalah proyeksi dari kekurangan-kekurangan diri anda sendiri.”
(Pop Psychology)*

*“Bekerjalah bagaikan tak butuh uang. Mencintailah bagaikan tak pernah disakiti.
Menarilah bagaikan tak seorang pun sedang menonton
(Mark Twain)*

*“Perhatikan perbedaan antara apa yang terjadi bila seseorang berkata, “Saya telah gagal tiga kali”, dan apa yang terjadi bila ia berkata: “Saya orang yang gagal.”
(S.I.Hayakawa)*

*“Just do it, You’ll never know what’s going to happen!”
(Ronald Frank)*

*“Everywhere is walking distance if you have the time.”
(Steven Wright)*

*“Jika kau mahasiswa Miskin, Ipk kecil dan punya banyak waktu luang maka segera keliling Indonesia dan Dunia ”
(Muhamad Habibi)*

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhamad Habibi

NIM : 081910201035

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul : **Analisis Perbandingan Ekonomis dan Elektris pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin di PLTH Bantul Yogyakarta** adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi mana pun, 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 dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Mei 2013

Yang menyatakan,

Muhamad Habibi
NIM. 081910201035

SKRIPSI

**ANALISIS PERBANDINGAN EKONOMIS DAN ELEKTRIS PADA
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN MENGGUNAKAN HOMER
DI PLTH BANTUL YOGYAKARTA**

Oleh:

Muhamad Habibi

NIM 081910201035

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : H. Samsul Bachri, ST., M.MT.

Dosen Pembimbing Anggota : Dedy Kurnia Setiawan, S.T.,M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Analisis Perbandingan Ekonomis dan Elektris pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Homer di PLTH Bantul Yogyakarta” telah di uji dan di sahkan pada:

Hari : Selasa

Tanggal : 28 Mei 2013

Tempat : R. Ujian 1 Lt III Gdg. Dekanat Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji,

Pembimbing Utama (Ketua Penguji)

Pembimbing Anggota (Sekretaris)

H. Samsul Bachri, ST., M.MT.

NIP 19640317 199802 1 001

Dedy Kurnia Setiawan, S.T.,M.T.

NIP 19800610 200501 1 003

Mengetahui,

Penguji I,

Penguji II,

Dr. Ir.Bambang Sujanarko, M.M.

NIP 19631201 199402 1 002

Dr. Azmi Saleh, ST., MT.

NIP 19710614 199702 1 001

Megesahkan,

Dekan

Fakultas Teknik,

Ir. Widyono Hadi, MT.

NIP 19610414 198902 1 001

**Analisis Perbandingan Ekonomis dan Elektris pada
Pembangkit Listrik Tenaga Angin menggunakan
Homer di PLTH Bantul Yogyakarta**

Muhamad Habibi

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRAK

Pembangkit Listrik Tenaga Angin merupakan pembangkit listrik berbasis energi terbarukan. Pembangkit Listrik Tenaga Angin yang terdapat di PLTH Bantul, merupakan salah satu kebijakan pemerintah yang mendorong untuk lebih mengembangkan energi alternatif terbarukan dengan mengurangi konsumsi energi berbahan fosil. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui konfigurasi pembangkit yang terbaik, baik segi ekonomis maupun elektris berdasarkan perhitungan *manual* maupun bantuan *software* Homer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas turbin angin 10x1 kW dengan biaya investasi Rp. 808,975,300 dengan perhitungan menghasilkan energi listrik sebesar 15.850 kWh dan simulasi Homer menghasilkan energi listrik sebesar 15.847 kWh. Sedangkan, kapasitas turbin 1x10 kW dengan dengan biaya investasi Rp. 507,657,000 dengan perhitungan menghasilkan energi listrik sebesar 1,368 kWh dan dengan simulasi Homer menghasilkan energi listrik sebesar 1,382 kWh. Hasil tersebut menunjukkan bahwa, kapasitas turbin angin 10x1 kW lebih baik dari segi elektris maupun ekonomis untuk ekspansi kapasitas PLTH Bantul.

kata kunci: pembangkit listrik tenaga angin, plth bantul, ekonomis, elektrik, homer.

Economical and Electrical Comparasion Analysis of Wind Power Generation using Homer in PLTH Bantul Yogyakarta

Muhamad Habibi

Electrical Engineering, Engineering Faculty, Jember University

ABSTRACT

Wind Power Generation is a renewable energy-based power plants. Wind Power Generation located in PLTH Bantul, is one of the government policies that encourage alternative to further develop renewable energy to reduce fossil energy consumption made. This study aims to determine the best configuration of plants, both economically and in terms of electric and manual calculations by software support Homer. The results showed that the 10x1 kW wind turbine capacity at an investment cost of Rp. 808,975,300 with calculations produce 15,850 kWh of electrical energy and Homer simulations generate 15,847 kWh of electrical energy. Meanwhile, 1x10 kW turbine capacity with an investment cost of Rp. 507,657,000 with calculations produce 1,368 kWh of electrical energy and the simulation Homer generate 1,382 kWh of electrical energy. The results showed that, 10x1 kW wind turbine capacity is better in terms of electrical and economically for capacity expansion PLTH Bantul.

key word: wind power generation, plth bantul, economical, electrical, homer.

RINGKASAN

Analisis Perbandingan Ekonomis dan Elektris pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin menggunakan Homer di PLTH Bantul Yogyakarta; Muhamad Habibi; 2013; 72 Halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Menurut data yang didapat dari Kementrian ESDM pada tahun 2008, ketergantungan akan energi fosil yang didominasi oleh minyak bumi dan gas alam mencapai 95, 9%. Cadangan energi fosil yang menipis akibat konsumsi yang terus meningkat 7% setiap tahunnya mendorong pemerintah /instansi terkait untuk lebih mengembangkan energi alternatif baru dan terbarukan.

Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid di kawasan nelayan Pantai Pandansimo Bantul merupakan salah satu pengembangan energi terbarukan untuk menghasilkan listrik dengan mensinergikan energi angin dan matahari di pantai selatan pulau Jawa. Implementasi dari energi hibrid di PLTH Bantul merupakan hasil kerjasama dari pemerintah, swasta, Perguruan Tinggi dan masyarakat sekitarnya.

Pemanfaatan energi angin mempunyai harapan besar dengan listrik yang dihasilkan mampu mengalirkan listrik yang digunakan untuk pembuatan es batu sebagai penyimpanan ikan untuk para nelayan serta nantinya listrik dari energi angin ini dapat bermanfaat untuk penerangan masyarakat sekitar yang mempunyai UMKM seperti warung-warung kuliner yang masih merupakan satu area dengan PLTH Bantul.

Pengujian dilakukan di PLTH Bantul, dengan melakukan pengukuran kecepatan angin, dan pengukuran tegangan dan arus yang dihasilkan pada konfigurasi Turbin Angin 10x1 kW dan Turbin Angin 1x10 kW pada beban 600 W. Data yang diperoleh dari pengukuran dan sumber data dari Lapan dilakukan perbandingan baik dari segi ekonomis dan elektris.

Setelah dilakauka pengujian dilakukan pada masing-masing konfigurasi 10x1 kW dan 1x10 kW, maka diperoleh data berupa kecepatan angin, arus dan tegangan.

Selain data yang diperoleh dari pengujian, penelitian ini juga mengambil data kecepatan angin per tahun dari Lapan. Data – data kecepatan angin dilakukan perhitungan dengan menggunakan *software* microsoft excel dan mensimulasikan dengan *software* baik dari segi ekonomis maupun elektris. Data arus dan tegangan juga dilakukan perhitungan untuk menghitung nilai efisiensi pada masing-masing konfigurasi turbin angin. Selain nilai melakukan perhitungan dan simulasi ekonomis dan elektris juga di lakukan analisis tentang kekontinuan daya yang dihasilkan pada kedua konfigurasi turbin angin.

Kesimpulan yang dapat diperoleh adalah bahwa konfigurasi turbin angin 10x1 kW dilihat dari segi ekonomis dan elektris membutuhkan biaya investasi yang mahal sebesar Rp. 808, 975,300 dengan menghasilkan daya listrik 15.847 kWh/pertahun pada perhitungan dan 15.850 kWh/pertahun pada simulasi Homer. Konfigurasi turbin angin 1x10 kW membutuhkan biaya investasi Rp. 50,657,000 dengan menghasilkan daya listrik 1,368 kWh/pertahun pada perhitungan dan 1,382 kWh/pertahun pada simulasi Homer. Jika dilihat dari kekontinuan daya dan efisiensi, maka konfigurasi 10x1 kW lebih baik dengan nilai efisiensi terbesar sebesar 37 % dan kekontinuan daya yang terdiri dari 10 turbin angin, sehingga jika ada salah satu mengalami gangguan maka turbin angin yang lainnya tidak beroengaruh pada turbin angin yang mengalami gangguan, sehingga ekontinuan dayanya lebih baik dibandingkan dengan konfigurasi turbin angin 1x10 kW.

PRAKATA

Bismillahirrahmanirrohim

Alhamdulillah, Puji syukur kehadirat Allah SWT, yang telah memberikan limpahan nikmat yang sangat luar biasa kepada penulis, dan tidak lupa juga sholawat serta salam kepada Nabi besar Muhammad SAW yang telah membawa kita semua menuju peradaban manusia yang lebih baik. Laporan Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Terselesaikannya Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu disampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Ir. Widyono Hadi, M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Sumardi, S.T.,M.T selaku ketua jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember;
3. H. Syamsul Bachri, S.T.,M.T selaku dosen pembimbing utama dan Dedy Kurnia Setiawan, S.T., M.T selaku dosen pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu dan pikiran serta perhatiannya guna memberikan bimbingan dan pengarahan demi terselesaikannya penulisan laporan Tugas Akhir ini;
4. Dr. Ir.Bambang Sujanarko, M.M. dan Dr. Azmi Saleh, S.T., M.T. selaku Tim penguji Skripsi yang telah meluangkan waktu dan pikiran serta perhatiannya guna memberikan pengarahan demi terselesaikannya penulisan skripsi ini;
5. Kementerian Riset dan Teknologi Republik Indonesia melalui Asisten Deputi Pendayagunaan IKM, Bapak Drs. Sadiyatmo, M.T selaku ketua PLTH Bantul dan Pembimbing lapangan dalam penelitian Tugas Akhir ini.
6. Iqib Prasetyaningsari S.T yang telah memberikan kemudahan dan berbagi ilmu serta dukungan dalam penelitian Tugas Akhir ini.
7. Esa Putra A.Md yang telah membantu baik segi waktu, pikiran dan tenaga demi terselesaikannya penelitian Tugas Akhir ini.

8. Pihak PLTH Bantul seperti bapak Sutarto, bapak Chriswantoro, mas Iwan, mas rio, mas Bagong dan lainnya yang telah membantu penulisan Tugas Akhir ini.
9. Ayahanda Sucipto dan Ibunda Baroroh yang selalu mendoakan dan selalu mendukung baik secara moral dan materi.
10. Adik-adikku seperti Umul, Hanafi dan Iril yang selalu menjadi motivasi penulis untuk menjadi kakak yang baik, bijaksana serta menjadi orang yang sukses.
11. Keluarga besar di Jember seperti om Ahmad Muntaha, om Ma'ruf dan om Rudi yang telah membimbing dan memberikan doa serta menjadi motivasi penulis.
12. Keluarga Besar Fakultas Teknik, khususnya jurusan Teknik Elektro S1 2008 yang berasal dari Sabang sampai Merauke yang telah mendukung dan memberikan motivasi terselesainya tugas akhir ini.
13. Teman Cossami'ers: Rizal, Mirza, Bagus, Wahyu, Qiqul, Yudis, Hemy, Opan, Catur, Rahman, Ipung, Lita, Nayla dan lain-lain yang telah memberikan arti dari sebuah Kebersamaan.
14. Teman Backpacker Seluruh Indonesia, Khususnya temen-temen Lombok Backpacker, Jember Backpacker dan BPI regional lainnya, yang telah memberikan arti dari sebuah perjalanan hidup untuk memaknai hidup serta cara mensyukuri atas ciptaan Allah yang sangat indah di bumi ini.
15. Honda Supra X 2004 (Si Komodo Biru) yang telah menemani saya keliling Pulau Jawa sejak Smp hingga saya lulus kuliah.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
RINGKASAN	ix
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB 1. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Pembahasan	4

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Angin	5
2.2 Profil PLTH Bantul	7
2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Angin	9
2.3.1 Teknologi Turbin Angin	13
2.3.2 Komponen – komponen PLT Angin	19
2.3.3 Kelebihan dan kekurangan PLT Angin	22
2.4 Software Homer	24
2.5 Analisis Ekonomis	26
2.5.1 Analisis Ekonomis berdasarkan perhitungan	26
2.5.2 Analisis Ekonomis berdasarkan <i>software</i> Homer	28
2.6 Analisis Elektris	31
2.6.1 Analisis Elektris berdasarkan perhitungan.....	31
2.6.2 Analisis Elektris berdasarkan <i>software</i> Homer	36

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan waktu penelitian	38
3.2 Alat dan bahan	38
3.3 Flowchart penelitian	42
3.3.1 Pengujian karakteristik Turbin Angin 1 kW dan 10 kW	41
3.3.2 Simulasi karakteristik Turbin Angin dengan <i>software</i>	44
3.3.3 Perbandingan karakteristik Turbin Angin	46

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....

4.1 Data hasil penelitian	48
4.1.1 Data Potensi Angin di Bantul	48
4.1.2 Data hasil pengujian Turbin Angin	49
4.2 Analisis Ekonomis	52
4.2.1 Analisis Ekonomis berdasarkan perhitungan	52

4.1.2 Analisis ekonomis berdasarkan <i>software</i> Homer	56
4.3 Analisis Elektris	57
4.3.1 Analisis Elektris berdasarkan perhitungan	57
4.3.2 Analisis Elektris berdasarkan <i>software</i> Homer	66
4.4 Perbandingan Ekonomis dan Elektris	69
BAB 5. PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	72
5.2 Saran.....	72
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

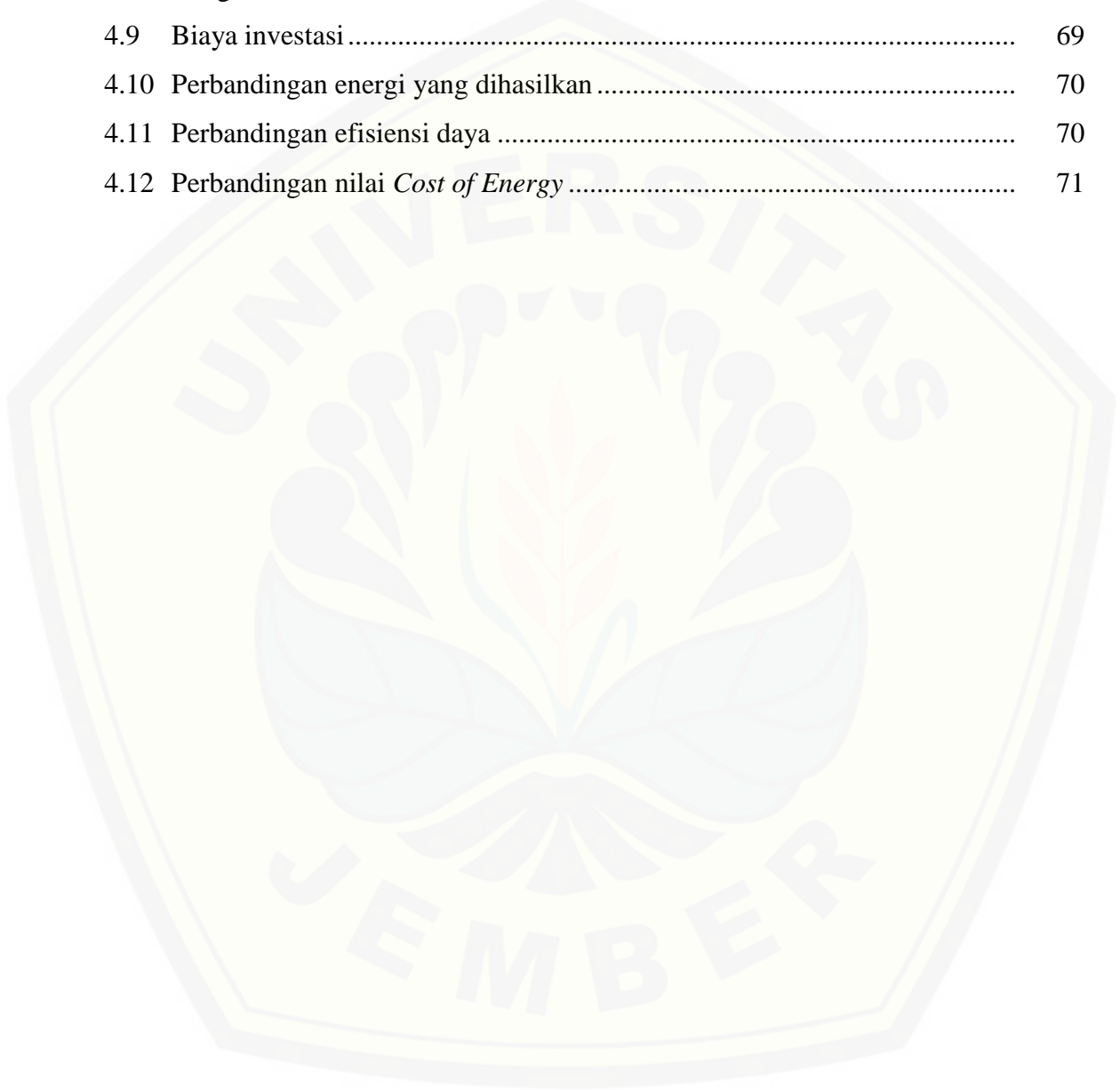
DAFTAR TABEL

	Halaman
3.1 Data – data Penelitian	39
3.2 Spesifikasi Turbin Angin.....	42
4.1 Data rata – rata Kecepatan Angin.....	48
4.2 Karakteristik kecepatan angin terhadap waktu dan daya.....	50
4.3 Hasil lengkap perhitungan ekonomis.....	56
4.4 Hasil Perhitungan Kwh daya kapasitas 1x10 kW	59
4.5 Hasil Perhitungan Kwh daya kapasitas 10x1 kW.....	60
4.6 Hasil lengkap perhitungan efisiensi konfigurasi 10 x 1kW.....	63
4.7 Hasil lengkap perhitungan nilai efisiensi konfigurasi 1x10 kW.....	64

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Energi Angin.....	5
2.2 Skema PLTH Bantul.....	8
2.3 Turbin Angin 3 sudu PLTH Bantul	9
2.4 Bentuk fisik roto dan stator magnet permanen	12
2.5 Turbin Angin Horizontal	15
2.6 Turbin Angin Vertikal	17
2.7 Skema Turbin Angin di PLTH Bantul.....	19
2.8 <i>Software</i> Homer	24
2.9 Sekumpulan udara bergerak dengan kecepatan	33
2.10 sistem kelistrikan tenaga angin	33
3.1 Skema PLT Angin di PLTH Bantul	38
3.2 <i>Flowchart</i> penelitian.....	40
3.3 Konfigurasi Turbin Angin	42
3.4 Jendela baru Homer	44
3.5 Perancangan simulasi pembangkit.....	44
3.6 Nilai masukan pada simulasi	45
3.7 Hasil Simulasi.....	45
3.8 <i>Flowchart</i> analisis Ekonomis	46
3.9 <i>Flowchart</i> analisis Elektris	47
4.1 Karakteristik kecepatan Angin 09 Desember 2012	49
4.2 Karakteristik kec. Angin terhadap daya 10x1 kW	51
4.3 Karakteristik kec. Angin terhadap daya 1x10 kW	52
4.4 Nilai <i>COE</i> pada kedua kapasitas Turbin Angin.....	57
4.5 Perbandingan efisiensi terhadap kec. Angin.....	65

4.6	Kekontinyuan daya pada kedua kapasitas Turbin Angin	65
4.7	Rangkaian simulasi dan hasil simulasi nilai Elektrik 10x1 kW	66
4.8	Rangkaian simulasi dan hasil simulasi nilai Elektrik 1x10 kW	67
4.9	Biaya investasi	69
4.10	Perbandingan energi yang dihasilkan	70
4.11	Perbandingan efisiensi daya	70
4.12	Perbandingan nilai <i>Cost of Energy</i>	71



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Menurut data yang didapat dari Kementerian ESDM pada tahun 2008, ketergantungan akan energi fosil yang didominasi oleh minyak bumi dan gas alam mencapai 95, 9%. Cadangan energi fosil yang menipis akibat konsumsi yang terus meningkat 7% setiap tahunnya mendorong pemerintah /instansi terkait untuk lebih mengembangkan energi alternatif baru dan terbarukan (ESDM, 2008).

Pembangkit listrik tenaga hibrid di kawasan nelayan Pantai Pandansimo Bantul merupakan salah satu pengembangan energi terbarukan untuk menghasilkan listrik dengan mensinergikan energi angin dan matahari di pantai selatan pulau Jawa. Implementasi dari energi hibrid di PLTH Bantul merupakan hasil kerjasama dari pemerintah, swasta, Perguruan Tinggi dan masyarakat sekitarnya.

Pemanfaatan energi angin mempunyai harapan besar dengan listrik yang dihasilkan mampu mengalirkan listrik yang digunakan untuk pembuatan es batu sebagai penyimpanan ikan untuk para nelayan serta nantinya listrik dari energi angin ini dapat bermanfaat untuk penerangan masyarakat sekitar yang mempunyai UMKM seperti warung-warung kuliner yang masih merupakan satu area dengan PLTH Bantul.

Pembangkit listrik tenaga angin di PLTH Bantul di bagi menjadi dua grup yakni grup 1 dan 2. Grup 1 atau grup barat terdiri dari 21 unit kincir angin dengan kapasitas maksimal masing – masing kincir angin 1 kW. Grup 2 atau grup timur terdiri 1 unit kincir angin dengan kapasitas maksimal 10 kW, 6 unit kincir angin dengan kapasitas maksimal per unit 2,5 kW dan 4 unit kincir angin dengan kapasitas maksimal per unit 1 kW.

Dalam kurun waktu dua tahun ini, PLTH Bantul mengalami perkembangan pada Pembangkit listrik tenaga angin dengan menambah turbin angin untuk kapasitas 1x10 kW dan 10 x 1 kW, sejalan dengan kebutuhan daya yang terus bertambah.

Fenomena ini dapat memberikan gambaran bahwa konsistensi keberadaan PLTH Bantul memberikan tren positif bagi energi terbarukan di Indonesia. Sehingga, kedepannya PLTH Bantul dapat melakukan ekspansi teknologi Pembangkit listrik tenaga angin ke beberapa daerah yang mempunyai potensi energi angin yang memenuhi syarat untuk di dirikan Pembangkit listrik tenaga angin. Adapun daerah – daerah yang memiliki potensi energi angin yang besar tersebar di wilayah Indonesia Timur seperti Nusa Tenggara Barat, Nusa Tenggara Timur maupun Sulawesi (PLTH Bantul,2012).

Dari uraian diatas, maka diperlukan analisis mengenai turbin angin 1x10 kW dan 10x1 kW dengan tujuan membandingkan nilai ekonomis dan elektris, yaitu tingkat efisiensi biaya maupun elektrik serta kekontinyuan penyaluran daya. Hal ini ditujukan untuk proses pengembangan atau ekspansi kedepannya.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini yaitu :

1. Bagaimana perbandingan tingkat efisiensi biaya untuk kapasitas 1x10 kW dengan 10x1 kW dengan menggunakan HOMER di PLTH Bantul?
2. Bagaimana perbandingan efektifitas elektrik yaitu tingkat efisiensi energi listrik dan kekontinuan penyaluran daya pada kapasitas 1x10 kW dan 10x1 kW dengan menggunakan Homer di PLTH Bantul?

1.3 Batasan Masalah

Mengingat dalam penelitian ini masih banyak yang dapat dibahas dan merupakan energi terbarukan dalam pembangkit listrik, maka dalam penulisan Tugas Akhir ini permasalahan dibatasi sebagai berikut :

1. Penelitian ini dibatasi dengan menggunakan turbin Angin kapasitas 1 x 10 kW dan 10 x 1 kW.
2. Parameter-parameter yang ditinjau dalam pengolahan data menggunakan perangkat lunak HOMER adalah: batasan ekonomi, daya output, efisiensi, turbin angin.
3. Kecepatan angin dan lokasi PLTH di asumsikan dan turbulensi di abaikan.

1.4 Tujuan dan Manfaat

1.4.1 Tujuan

1. Membandingkan tingkat efisiensi biaya untuk kapasitas 1x10 kW dengan 10x1 kW dengan menggunakan HOMER di PLTH Bantul.
2. Membandingkan efektifitas listrik yaitu tingkat efisiensi energi listrik dan kekontinuan penyaluran daya pada kapasitas 1x10 kW dan 10x1 kW dengan menggunakan Homer di PLTH Bantul.

1.4.2 Manfaat

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberi masukan bagi teknisi/pengelola PLTH Bantul pada khususnya. Masukan tersebut berupa perencanaan pengembangan konfigurasi pembangkit yang efektif baik secara ekonomis, elektrik dan kekontinuan daya dari turbin angin 1 x 10 kW dan 10 x 1 kW. Sehingga, Hasil yang diperoleh dari penelitian ini dapat di jadikan sebagai acuan dalam penelitian selanjutnya yang sejenis.

1.5 Sistematika Pembahasan

Secara garis besar penyusunan proposal skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB 1. PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, tujuan pembahasan, rumusan masalah, batasan masalah, dan sistematika pembahasan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Berisi penjelasan tentang teori yang berhubungan dengan masalah pembangkit listrik tenaga angin, analisis ekonomis dan elektris serta PLTH Bantul.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Menjelaskan tentang metode kajian yang digunakan untuk menyelesaikan skripsi.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi hasil penelitian dan analisa hasil penelitian.

BAB 5 PENUTUP

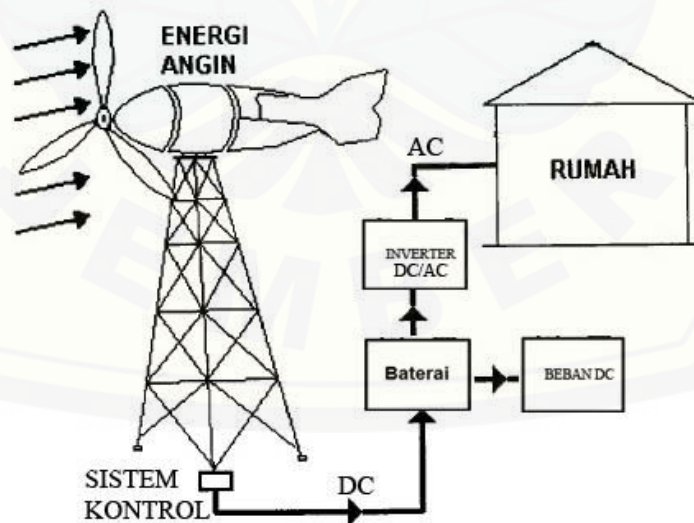
Berisi tentang kesimpulan dan saran dari penulis

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi angin

Angin adalah udara yang bergerak dari tekanan tinggi menuju ke tekanan rendah atau sebaliknya yaitu dari suhu udara yang rendah ke suhu udara yang lebih tinggi. Pada suatu wilayah daerah yang menerima energi panas matahari lebih besar akan mempunyai suhu udara yang lebih panas dan tekanan udara yang cenderung rendah. Sehingga akan terjadi perbedaan suhu dan tekanan udara antara daerah yang menerima energi panas lebih besar dengan daerah lain yang lebih sedikit menerima energi panas, akibatnya akan terjadi aliran udara pada wilayah tersebut.

Peristiwa Bergeraknya udara dalam bentuk angin sama dengan peristiwa Bergeraknya air. Air akan mengalir dari tempat yang lebih tinggi ke tempat yang lebih rendah dan kecepatannya bergantung pada beda ketinggian kedua tempat tersebut. Semakin besar beda ketinggiannya, maka semakin besar pula kecepatan alirannya. Hal yang sama terjadi pula pada proses berhembusnya angin, besarnya kecepatan tergantung pada perbedaan tekanannya, semakin besar pula kecepatan anginnya.



Gambar 2.1 Energi angin

Energi angin dapat dikonversikan menjadi energi mekanik, seperti pada penggilingan biji, pemompaan air untuk irigasi, pengering arau pencacah hasil panen, aerasi tambak ikan / udang, pendingin ikan pada perahu-perahu nelayan dan lain-lain. Pada perkembangannya, energi angin dikonversikan menjadi energi mekanik dan dikonversikan menjadi energi listrik. Proses konversi energi angin dapat di tunjukkan pada gambar 2.1.

Selain itu, pemanfaatan energi angin dapat dilakukan dimana-mana, baik di daerah landai maupun dataran tinggi, bahkan dapat diterapkan di laut, berbeda halnya dengan energi air. Walaupun pemanfaatan energi angin dapat dilakukan di mana saja, daerah-daerah yang memiliki potensi energi angin yang tinggi tetap perlu diidentifikasi agar pemanfaatan energi angin ini lebih kompetitif dibandingkan dengan energi alternatifnya.

Secara garis besar, pemanfaatan tenaga angin di Indonesia memang kurang mendapat perhatian, padahal konfigurasi pembangkitan listrik tenaga angin di dunia telah berkembang pesat dengan laju pertumbuhan kumulatif sampai dengan tahun 2004 melebihi 20 persen per tahun. Sampai tahun 2004, konfigurasi terpasang dari pemanfaatan tenaga angin yang tercatat hanya 0.5 dari 9.29 GW (ESDM, 2005).

Hambatan dalam pengembangan energi angin adalah biaya investasi awal yang untuk implementasi teknologi energi baru terbarukan yang relatif tinggi sehingga energinya mahal yang mengakibatkan tidak dapat bersaing dengan harga konvensional. Teknologi sistem konversi tenaga angin tinggi (SKEA) yang ada masih beroperasi pada kecepatan tinggi, dan umumnya produk luar negeri maka harganya relatif mahal.

Kemudian akses data dan lokasi untuk pembuatan peta potensi energi angin dirasa cukup sulit dan memerlukan kemampuan yang cukup tinggi untuk dapat mengakses berbagai sumber data, dimana data yang masih terkumpul masih relatif sedikit dibandingkan dengan luas wilayah Indonesia.

Hambatan yang tidak kalah penting adalah kurangnya minat swasta khususnya bidang teknologi anergi angin karena menunggu pasar yang masih terbatas. Selain itu,

dari faktor lokasi secara umum, kadangkala ditemukan lokasi yang potensial energi tetapi tidak ada pengguna atau daerah miskin.

Untuk mendukung program diversifikasi energi dan *kebijakan* energi hijau nasional (Pengembangan energi terbarukan dan konversi energi), sudah semestinya kajian-kajian pengembangan sumber-sumber energi alternatif khususnya energi terbarukan lebih disemarakkan untuk berbagai kepentingan. Pemanfaatan energi angin ini dapat mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil.

2.2 Profil PLTH Bantul Yogyakarta

Pembangunan sistem hibrid ini dilakukan di pantai Baru Pandansimo yang terletak di dukuh Ngentak, desa Poncosari, kecamatan Srandakan, Bantul, Yogyakarta. Dalam perancangannya biaya yang dikeluarkan pemerintah terutama Kementerian negara riset dan teknologi mencapai miliaran ditambah dari Kementerian kelautan dan perikanan, kementerian koperasi dan usaha kecil menengah, Pemerintah kabupaten Bantul, UGM Yogyakarta, serta masyarakat ilmuwan dan teknologi Indonesia.

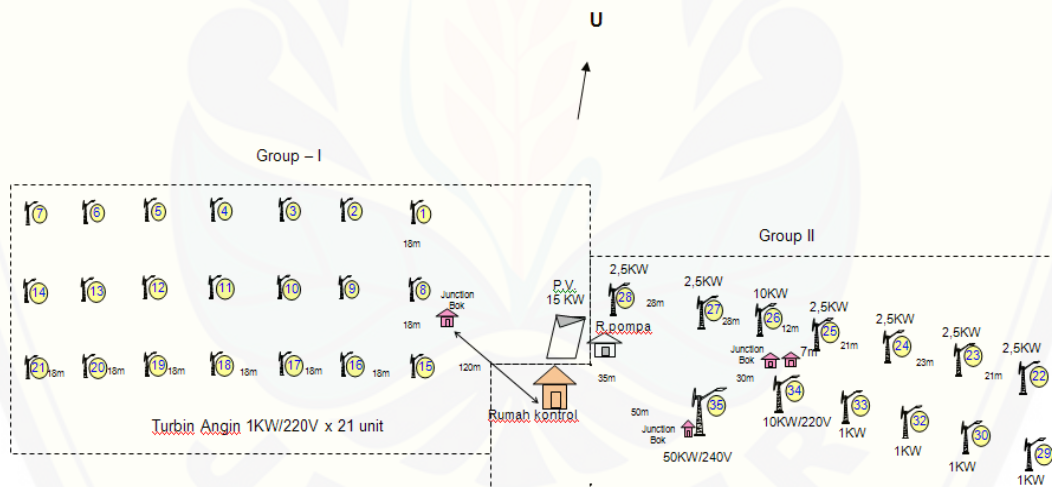
Perancangan PLTH di pantai Pandansimo ini dibagi menjadi dua kelompok yakni grup 1 dan 2. grup 1 atau grup barat terdiri dari 21 unit kincir angin dengan konfigurasi maksimal masing – masing kincir angin 1 kW dan panel surya dengan konfigurasi 15 kW. Grup 2 atau grup timur terdiri 1 unit kincir angin dengan konfigurasi maksimal 10 kW, 6 unit kincir angin dengan kapasitas maksimal per unit 2,5 kW dan 4 unit kincir angin kincir angin dengan konfigurasi maksimal per unit 1 kW, sedangkan untuk panel surya yang dipasang di grup 2 adalah total kapasitas 2 kW.

Sistem elektrik dari kedua grup tersebut diintegrasikan menjadi satu sistem. Keluaran PV dan kincir angin pada grup 1 dan 2 diubah menjadi tegangan DC oleh sistem kontrol untuk dimasukkan ke baterai. namun untuk PV yang di grup 2, memiliki baterai dan inverter sendiri, sehingga terpisah dari sistem utama. Sistem utama memiliki baterai dan inverter yang menerima pasokan dari grup 1 yakni angin konfigurasi total 21 kW dan PV konfigurasi total 15 kW serta grup 2 dari angin

dengan konfigurasi, berupa 1 x 10, 6x2,5 kW dan 4 x 1 kW tenaga angin dan PV dengan konfigurasi 2 kW.

Energi listrik dari sistem hibrid yang dibangun di kampung nelayan pantai Pandansimo ini, di harapkan mampu memenuhi kebutuhan masyarakat setempat, yaitu kebutuahn memproduksi 1.000 kilogram produk es balok per hari serta untuk air sumur renteng untuk kebutuhan petani di pesisir pantai, terutama pada musim kemarau. selain itu, energi listrik yang dihasilkan juga bisa untuk penerangan jalan umum dan warga yng tinggal di sekitar pantai.

Gambar 2.2 menunjukkan skema pembangkit listrik tenaga hibrid Bantul yang ada terdiri dari 34 kincir.

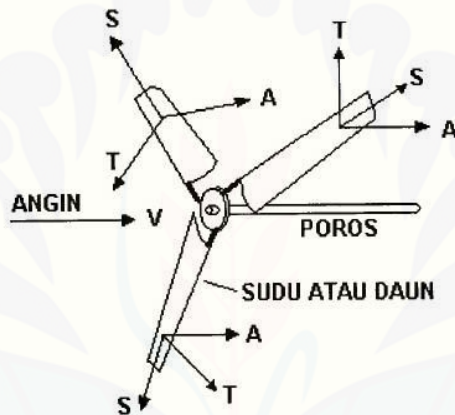


Gambar 2.2 Skema PLTH Bantul

2.3 Pembangkit listrik tenaga angin

Angin adalah salah satu bentuk energi yang tersedia di alam, Pembangkit listrik tenaga angin mengkonversikan energi angin menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin atau kincir angin. Pembangkit listrik tenaga angin adalah pembangkit yang memanfaatkan hembusan angin sebagai sumber penghasil listrik.

Pada pembangkit listrik tenaga angin di PLTH Bantul menggunakan turbin angin sumbu Horizontal. Pada umumnya, menggunakan tiga sudu dengan menggunakan generator *permanent magnet generator* (PMG), sehingga eksitasi sendiri untuk menghasilkan listrik.



Gambar 2.3 Turbin angin 3 sudu d PLTH Bantul

Gambar 2.3 memperlihatkan sebuah kincir dengan tiga sudu dengan gaya a, t dan s yang bekerja pada daun – daun sudu. Gaya tersebut dapat dihitung dan dirumuskan sebagai berikut:

$$a = 0,00142 v^2 R^2 \quad \text{dalam Kg}$$

$$s = 367 RP/v1v \quad \text{dalam Kg}$$

$$t = 0,00219 Wv v^2 / R1 \quad \text{dalam Kg m}$$

dengan $p = \text{daya} \quad (\text{Kw})$

$r = \text{radius daun motor} \quad (\text{m})$

R1= radius hingga titik berat daun (m)

V= kecepatan angin (m/det)

W = berat daun (Kg)

V1 = kecepatan relatif ujung sudu terhadap v

V2 = kecepatan relatif titik berat terhadap v

A = gaya aksial

S = gaya sentrifugal

T = momen tangensial

Menurut ilmu fisika klasik energi kinetik dari sebuah benda dengan massa m kecepatan angin v adalah $E = 0,5 m \cdot v^2$ tidak mendekati cahaya. Rumus tersebut diatas berlaku juga untuk menghitung energi kinetik yang diakibatkan oleh gerakan angin. Sehingga kita bisa menuliskan sebagai berikut:

$$E = 0,5 m \cdot v^2 \dots\dots\dots(2.1)$$

E = energi (Joule)

m = massa udara (Kg)

v = kecepatan angin (m/det)

bila suatu blok udara yang mempunyai penampang $A \text{ m}^2$, dan penggerak dengan kecepatan v m/detik, maka jumlah massa yang melewati sesuatu tempat adalah:

$$m = A \cdot v \cdot \rho \dots\dots\dots(2.2)$$

A = Penampang (m^2)

v = kecepatan angin (m/det)

$$q = \text{kepadatan udara (Kg/ m}^2\text{)}$$

dengan melihat persamaan 2.1 dan 2.2 , kita bisa menghitung daya yang dihasilkan energi angin, sebagai berikut:

$$p = \text{energi per satuan waktu}$$

$$= 0,5 q.A. m. v^3 \dots\dots\dots(2.3)$$

dengan $p = \text{daya (W)}$

$$q = \text{kepadatan penampang (kg/.m}^3\text{)}$$

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

$$V = \text{kecepatan angin (m/det)}$$

Untuk keperluan praktis sering dipergunakan rumus aproksimasi yang sederhana, yaitu dengan memperlihatkan besaran angin dan luas penampang sudu, maka didapatkan rumus sebagai berikut:

$$P = k.A. v^3 \dots\dots\dots(2.4)$$

$$P = \text{daya (kW)}$$

$$k = \text{konstanta (m}^3\text{)}$$

$$v = \text{kecepatan angin (Km/jam)}$$

Dari rumus besaran k dan A digambarkan sebagai konstanta. Pada prinsipnya besaran k mewakili suatu faktor seperti geseran dan efisiensi sstem, yang juga tergantung dari kecepatan angin v. luas penampang sudu A tergantung dari bentuk sudu.

Permanent magnet generator (PMG) yang terdapat pada PLTH Bantul konstruksinya hampir sama dengan generator sinkron arus bolak – balik, kumparan jangkar diletakkan pada bagian stator dan kumparan medan digantikan oleh magnet permanen yang diletakkan dipermukaan atau ditanam dibagian rotor sehingga tidak memerlukan sumber eksitasi. Magnet yang diletakkan dipermukaan rotor dan generator dioperasikan pada kecepatan tinggi maka diperlukan alat penopang yang terbuat dari kumparan campuran baja dan fiber carbon yang menahan magnet permanen. Secara umum, komponen magnet permanen generator dari stator, rotor dan magnet permanen. Contoh bentuk fisik dari permanent magnet generator dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 bentuk fisik rotor dan stator generator PMG

(Sumber: <http://www.morleymotors.com>)

2.3.1 Teknologi turbin angin

Meski awalnya kincir angin hanyalah sebuah teknologi yang digunakan manusia untuk menumbuk biji-bijian atau memompa air, namun teknologi penggunaan kincir angin terus dikembangkan oleh manusia sebagai salah satu energi hijau yang ramah lingkungan. Saat ini, kincir angin modern mulai banyak digunakan untuk menghasilkan energi listrik, dan pada umumnya kincir angin untuk menghasilkan energi listrik ini disebut turbin angin.

Konversi energi angin menjadi energi listrik dimulai dengan tangan angin yang bertiup melewati sudu-sudu dan menimbulkan gaya untuk memutar kincir. Poros kincir yang dihubungkan dengan rotor generator akan menyebabkan rotor ikut berputar seiring berputarnya kincir. Proses berputarnya rotor inilah yang mengubah energi gerak dari putaran kincir menjadi energi listrik sebagai keluaran generator.

Dalam perkembangan teknologi turbin angin, umumnya dikenal dua jenis turbin angin, yaitu turbin angin propeller dan turbin Darrieus. Saat ini kedua jenis turbin angin inilah yang sering mendapat perhatian besar untuk dikembangkan.

Turbin angin Propeller adalah jenis turbin angin dengan poros horizontal, berbentuk seperti baling-baling pesawat terbang pada umumnya. Dalam penggunaannya, turbin angin ini memerlukan penyesuaian dengan arah angin untuk bisa mendapatkan kecepatan angin yang paling tinggi.

Turbin angin Darrieus pertama ditemukan oleh GJM Darrieus pada tahun 1920. Turbin angin ini memiliki poros tegak, sehingga tidak memerlukan mekanisme penyesuaian dengan arah angin karena konstruksi sudu-nya dirancang untuk dapat menerima dan memanfaatkan angin dari berbagai arah.

Oleh karena perkembangan dua jenis turbin diatas, kemudian mulai dikenal penggolongan turbin angin menurut arah sumbernya yaitu:

a. Turbin angin sumbu horizontal (TASH)

Turbin angin dengan sumbu horizontal (TASH) mempunyai sudu yang berputar dalam bidang vertikal seperti hanya propeler pesawat terbang. Pada umumnya, generator listrik diletakkan di bagian atas tower untuk terhubung langsung dengan sumbu kincir angin yang berputar.

Turbin angin bisaanya mempunyai sudu dengan bentuk irisan melintang khusus dimana aliran udara pada salah satu sisinya dapat bergerak lebih cepat dari aliran udara disisi yang lain ketika angin melewatinya. Fenomena ini menimbulkan daerah tekanan rendah pada belakang sudu dan daerah tekanan tinggi pada daerah di depan sudu. Perbedaan tekanan ini membentuk gaya yang menyebabkan sudu berputar. Kebanyakan sudu turbin menghadap kearah angin yang datang untuk menghindari turbulensi akibat terhalang oleh tower turbin.

Beberapa keuntungan dari turbin angin sumbu horizontal adalah stabilitas yang baik karena pusat gravitasnya di samping sudu, kemampuannya untuk mengatur sudu sehingga sudut kemiringan sudu yang terbaik dapat diperoleh.

Gambar 2.5 memperlihatkan jenis turbin horizontal. Pada turbin angin konfigurasi kecil dan dengan kecepatan angin yang rendah, bisaa digunakan jenis turbin dengan tiga sudu yang dapat diarahkan dengan sistem secara komersial sebagai pembangkit listrik tenaga angin. Kelebihan turbin angin horizontal dengan tiga sudu terletak pada minimnya beban pada sudu, gangguan pada menara yang rendah dan memiliki karakter *start up* yang baik.



Gambar 2.5 Turbin Angin Sumbu Horizontal

(sumber: <http://www.top-alternative-energi-sources.com>)

1. Keunggulan TASH

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

2. Kelemahan TASH

- a. Menara yang tinggi serta bilah panjangnya bisa mencapai 90 meter sulit diangkut.
- b. Diperkirakan biaya transportasi bisa mencapai 20% dari seluruh biaya peralatan turbin.
- c. TASH yang tinggi sulit dipasang, membutuhkan derek yang sangat tinggi dan mahal serta para operator yang terampil.

- d. Kontruksi menara yang besar dibuthkan untuk menyangga bilah-bilah yang berat, gearbox, dan generator.
- e. TASH yang tinggi bisa mempengaruhi radar airport.
- f. Ukurannya yang tinggi merintanggi jangkauan pandangan dan mengganggu penampilan pemandangan.
- g. Berbagai varian *downwind* menderita kerusakan struktur yang disebabkan oleh turbulensi.
- h. TASH membutuhkan mekanisme kontrol yaw tambahan untuk membelokkan kincir ke arah angin.

b. Turbin angin sumbu vertikal (TASV)

Turbin angin dengan sumbu vertikal bekerja dengan prinsip yang sama seperti halnya kelompok horizontal. Namun, sudunya berputar dalam bidang yang tegak lurus dengan tanah. Kelebihan utama turbin angin sumbu vertikal ini adalah turbin tidak harus disesuaikan dengan arah angin, mampu memanfaatkan energi angin dari segala arah untuk memutar turbinnya, sehingga sangat berperan ketika menghadapi lokasi-lokasi dengan potensi angin yang memiliki karakteristik arah angin berubah-ubah.

Dengan sumbu yang vertikal, generator serta mekanisme *gearbox* yang bisaa melengkapi sebuah turbin angin, dapat diletakkan di dekat tanah, jadi menara tidak perlu menyokongnya dan lebih memudahkan akses dan proses pemeliharaan.

Gambar 2.6 memperlihatkan berbagai jenis turbin angin vertikal, jenis Darrieus dan Savonius adalah yang paling sering dikembangkan dan digunakan dalam sistem konversi energi angin pada umumnya.



a.



b.

Gambar 2.6 Turbin angin sumbu vertikal, a. (Savonius) ; b (Darrieus)

(Sumber,a.:<http://www.blog.odnawialne-firmy.pl/>)dan (Sumberb: <http://www.conserve-energi-.com/>)

Setiap jenis turbin angin memiliki ukuran dan efisiensi yang berbeda. Untuk memilih jenis turbin angin yang tepat untuk suatu kegunaan diperlukan tidak hanya sekedar pengetahuan tetapi juga pengalaman.

Pada umumnya turbin angin yang mempunyai jumlah sudu banyak (soliditas tinggi) akan mempunyai torsi yang besar. Turbin angin jenis ini banyak digunakan untuk keperluan mekanikal seperti pemompaan air, pengolahan hasil pertanian dan aerasi tambak. Sedangkan turbin angin dengan jumlah sudu sedikit, misalnya dua atau tiga, digunakan untuk keperluan pembangkitan listrik. Turbin angin jenis ini mempunyai torsi rendah tetapi putaran rotor yang tinggi.

1. Keunggulan TASV

- a. Tidak membutuhkan struktur menara yang besar.
- b. Karena bilah-bilah rotornya vertikal, tidak dibutuhkan mekanisme yaw.
- c. Sebuah TASV bisa diletakkan lebih dekat ke tanah, membuat pemeliharaan bagian-bagiannya yang bergerak jadi lebih mudah.
- d. TASV memiliki sudut airfoil (bentuk bilah sebuah baling-baling yang terlihat secara melintang) yang lebih tinggi, memberikan keaerodinamisan yang tinggi sembari mengurangi drag pada tekanan yang lebih rendah.

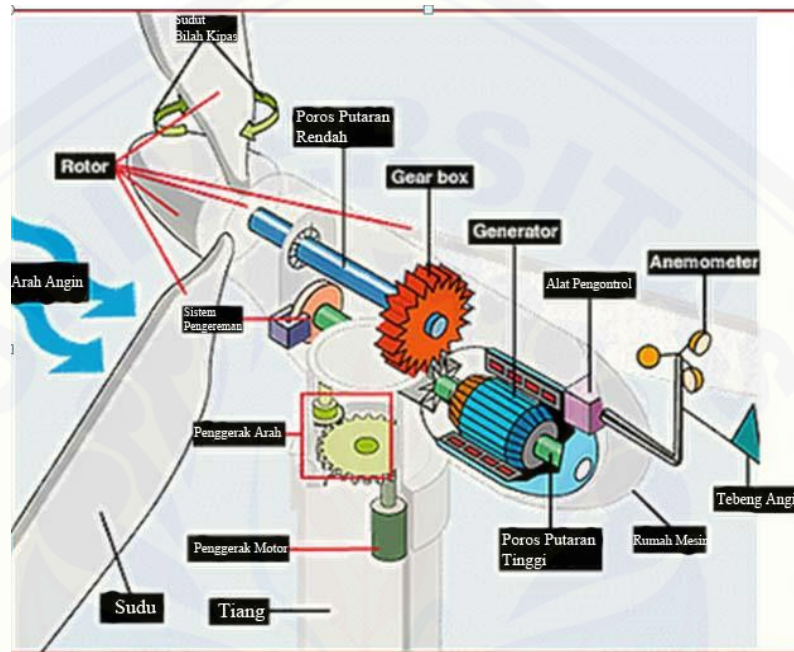
- e. Desain TASV berbilah lurus dengan potonga melintang berbentuk kotakempat persegi panjang memiliki wilayah tiupan yang lebih besar untuk diameter tertentu daripada wilayah tiupan berbentuk lingkarannya TASH.
- f. TASV memiliki kecepatan awal dingin yang lebih rendah daripada TASH. Bisaanya TASV mulai menghasilkan listrik pada 10 km/jam (6.m.p.h).
- g. TASV bisaanya memiliki tip speed ratio (perbandingan antara kecepatan putaran dari ujung sebuah bilah dengan laju sebenarnya angin) yang lebih rendah sehingga lebih kecil kemungkinannya rusak disaat angin berhembus sangat kencang.
- h. TASV bisa didirikan pada lokasi-lokasi dimana struktur yang lebih tinggi dilarang dibangun.
- i. TASV yang ditempatkan didekat tanah bisa mengambil keuntungan dari berbagai lokasi yang menyalurkan angin serta meningkatkan laju angin seperti gunung atau bukit yang puncaknya datar dan puncak bukit.
- j. TASV tidak harus diubah posisinya jika arah angin berubah.
- k. Kincir pada TASV mudah dilihat dan dihindari burung.

2. Kelemahan TASV

- a. Kebanyakan TASV memproduksi energi hanya 50% dari efisiensi TASH karena drag tambahan yang dimilikinya saat kincir berputar.
- b. TASV tidak mengambil keuntungan dari angin yang melaju lebih kencang di elevensi yang lebih tinggi.
- c. Kebanyakan TASV mempunyai torsi awal yang rendah, dan membutuhkan energi untuk mulai berputar.
- d. Sebuah TASV yang menggunakan kabel untuk menyanggahnya member tekanan pada bantalan dasar karena semua berat rotor dibebankan pada bantalan. Kabel yang dikaitkan ke puncak bantalan meningkatkan daya dorong ke bawah saat angin bertiup.

2.2.2 Komponen – komponen pembangkit listrik tenaga angin

Komponen – komponen pembangkit listrik tenaga angin dari ukuran besar, pada umumnya dapat dilihat dalam gambar 2.7 berikut, sedangkan untuk ukuran kecil biasanya tidak semua komponen ada seperti yang terlihat dalam gambar 2.7.



Gambar 2.7 Skema turbin angin di PLTH Bantul

(Sumber: www1.eere.energi.gov)

a. Anemometer

Mengukur kecepatan angin, dan mengirim data angin ini ke alat pengontrol.

b. *Blades* (Bilah kipas)

Kebanyakan turbin mempunyai 2 atau 3 lebih bilah kipas, angin yang menghembus menyebabkan turbin tersebut berputar.

c. Sistem pengereman (*Brake*)

Digunakan untuk menjaga putaran pada poros setelah *gearbox* agar bekerja pada titik aman saat terdapat angin yang besar. Alat ini perlu dipasang karena generator memiliki titik kerja aman dalam perngoperasiannya, kehadiran angin diluar batas kemampuannya akan menyebabkan kerusakan pada

generator. Dampak dari kerusakan akibat putaran berlebih yaitu *overheat* rotor *breakdown*, kawat pada generator putus, karena tidak dapat menahan arus yang cukup besar

d. *Controller* (Alat pengontrol)

Alat pengontrol ini mulai menstart turbin pada kecepatan angin kira – kira 12 – 25 km/jam, dan mematkannya pada kecepatan 90 km/jam. Turbin tidak beroperasi di atas 90 km/jam, karena angin terlalu kencang dan dapat merusaknya.

e. *Gearbox* (Roda gigi)

Alat ini berfungsi untuk mengubah putaran rendah pada kincir angin menjadi putaran tinggi. Biasanya *gearbox* yang digunakan sekitar 1:60 rpm menjadi kira – kira 1000 – 1800 rpm yaitu putaran yang biasanya disyaratkan untuk memutar generator listrik.

f. *High – speed shaft* (Poros putaran tinggi)

Berfungsi untuk menggerakkan generator.

g. *Low – speed shaft* (Poros putaran rendah)

Poros turbin yang berputar kira – kira 30 – 60 rpm.

h. Sudu

Alat yang berfungsi untuk menangkap angin dan merubahnya menjadi putaran yang diteruskan ke generator.

i. Generator

Generator adalah devais utama dalam pembuatan sistem turbin angin. Generator berfungsi untuk mengubah energi gerak menjadi energi listrik.

Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh generator ini berupa yang memiliki bentuk gelombang, kurang lebih sinusoidal.

j. *Nacelle* (Rumah mesin)

Rumah mesin ini terletak di atas menara. Di dalamnya berisi *gearbox*, poros putaran tinggi/rendah, generator, alat pengontrol dan alat pengereman.

k. *Pitch* (Sudut bilah kipas)

Bilah kipas bisa diatur sudutnya untuk mengatur kecepatan rotor yang dikehendaki, tergantung angin terlalu rendah atau terlalu kencang.

l. Rotor

Bilah kipas bersama porosnya dinamakan rotor.

m. Tower

Konstruksi yang digunakan sebagai penyangga komponen turbin bagian atas seperti rotor, tail, transmisi dan generator. Menara bisa dibuat dari pipa baja, beton, rangka besi. Karena kencangnya angin bertambah ketinggian, maka makin tinggi menara makin besar tenaga yang didapat.

n. *Tail*

Alat ini berfungsi untuk mengarahkan kincir angin ke arah datangnya angin sehingga memperoleh daya angin maksimal.

o. *Wind Vane* (Tebeng angin)

Mengukur arah angin, berhubungan dengan penggerak arah yang memutar arah turbin disesuaikan dengan arah angin.

p. *Yaw Drive* (penggerak arah)

Penggerak arah memutar turbin ke arah angin untuk desain turbin yang menghadap angin. Untuk desain turbin yang mendapat hembusan angin dari belakang tak memerlukan alat ini.

q. *Yaw Motor* (Motor penggerak arah)

Motor listrik yang menggerakkan penggerak arah.

r. Transmisi

Transmisi yang dimaksudkan disini adalah peralatan yang meneruskan energi gerak rotasi dari sumbu kincir angin ke generator.

s. *Battery Charge Controller*

Digunakan untuk menjaga daya arus listrik yang masuk pada aki agar tidak melewati beban yang mampu diterima oleh aki.

t. Penyimpanan energi

Karena angin tidak bertiup sepanjang hari, diperlukan alat untuk menyimpan daya listrik yang sudah dihasilkan oleh turbin angin. Dengan menggunakan aki sebagai alat penyimpan energi, maka masalah keterbatasan dan ketidak – kontinyuan dari energi dapat diatasi.

u. *Inverter*

Inverter banyak digunakan dalam aplikasi turbin angin yang umumnya digunakan sebagai supply AC. Dengan inverter, tegangan DC dari aki akan dikonversi menjadi tegangan AC yang siap digunakan.

2.2.3 Kelebihan dan kekurangan pembangkit listrik tenaga angin

Kelebihan dan kekurangan pembangkit listrik tenaga angin antara lain:

a. Keuntungan

- a. Secara prinsip disebabkan karena sifatnya yang terbarukan. Eksploitasi sumber energi ini tidak akan membuat sumber daya angin berkurang seperti halnya penggunaan bahan bakar fosil.
- b. Dapat berkontribusi dalam ketahanan energi dunia di masa depan.
- c. Merupakan sumber energi yang ramah lingkungan.
- d. Tidak mengakibatkan emisi gas buang atau polusi yang berarti lingkungan. Emisi karbon yang dihasilkan hanya seperseratus jika dibandingkan dengan pembangkit listrik dengan batubara. Selain CO₂, juga dihasilkan SO₂, NO polutan atmosfer yang lebih sedikit dibandingkan dengan pembangkit listrik yang menggunakan batubara ataupun gas.

b. Kekurangan (dampak terhadap lingkungan)

1. Dampak visual

Penggunaan lading angin sebagai pembangkit listrik membutuhkan lahan yang luas dan tidak dapat disembunyikan. Penempatan lading angin juga menjadi persoalan bagi penduduk setempat. Selain mengganggu pandangan pemasangan berisan pembangkit angin dapat mengurangi lahan pertanian serta pemukiman. Sehingga membuat pembangkitan tenaga angin di daratan menjadi terbatas.

2. Derau suara

Putaran dari sudu –sudu turbin angin dengan frekuensi konstan lebih mengganggu dari pada suara angin pada ranting pohon. Selain derau dari sudu-sudu turbin, penggunaan gearbox serta generator dapat menyebabkan derau suara mekanis dan juga derau suara listrik.

Derau mekanik yang terjadi disebabkan oleh operasi mekanis elemen-elemen yang berada dalam nacelle atau rumah pembangkit listrik tenaga angin. Dalam keadaan tertentu turbin angin dapat juga menyebabkan interferensi elektromagnetik, mengganggu penerimaan sinyal televisi atau transmisi gelombang mikro untuk perkomunikasian.

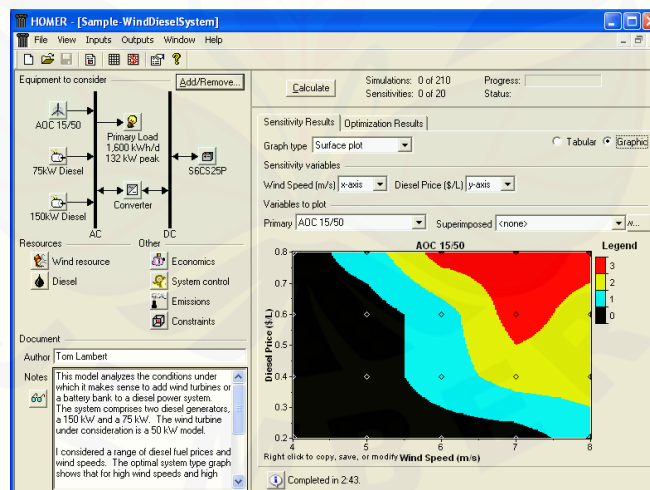
3. Masalah ekologi

Pengaruh ekologi yang terjadi akibat penggunaan pembangkit tenaga angin adalah terhadap populasi burung dan kelelawar. Burung dan kelelawar dapat terluka atau bahkan mati akibat terbang melewati sudu-sudu yang sedang berputar. Adanya pembangkit listrik tenaga angin ini dapat mengganggu migrasi populasi burung dan kelelawar. Pembangunan pembangkit juga dapat menyebabkan rusaknya lahan di daerah tersebut.

2.4 Software HOMER

HOMER adalah kepanjangan dari *the hybrid optimization model for electric renewables*, salah satu *tool* populer untuk desain sistem pembangkit listrik hybrid menggunakan energi terbarukan. HOMER mensimulasikan dan mengoptimalkan sistem pembangkit listrik baik *stand-alone* maupun *grid-connected* yang dapat terdiri dari kombinasi turbin angin, photovoltaic, mikrohidro, biomassa, generator (diesel/bensin), microturbine *fuell-cells*, baterai dan penyimpanan *hydrogen*, melayani beban listrik maupun termal.

HOMER mensimulasikan operasi sistem dengan menyediakan perhitungan energi balance untuk setiap 8.760 jam dalam setahun. Jika sistem mengandung baterai dan generator diesel/bensin, HOMER juga dapat memutuskan, untuk setiap jam, apakah baterai diisi atau dikosongkan. Selanjutnya HOMER menentukan konfigurasi terbaik sistem dan kemudian memperkirakan komponen-komponen, biaya *O & M*, biaya bahan bakar, dan lain-lain.



Gambar 2.8 Program software HOMER
(Sumber: <http://www.nrel.gov/homer>)

Saat melakukan simulasi, HOMER menentukan semua konfigurasi sistem yang mungkin, kemudian ditampilkan berurutan menurut *net percent cost (NPC)* atau *life cycle costs*. Jika analisa sensitivitas diperlukan, HOMER akan mengulangi proses untuk setiap variabel yang ditetapkan.

Perangkat lunak ini bekerja berdasarkan tiga langkah utama, yaitu simulasi, optimasi dan analisis sensitivitas.

a. Simulasi

Perangkat lunak ini akan mensimulasikan pengoperasian sistem pembangkit listrik tenaga hibrida dengan membuat perhitungan keseimbangan energi selama 8.760 jam dalam satu tahun. Dalam studi ini yang akan dibahas yaitu sistem pembangkit listrik tenaga angin. Untuk setiap jam, HOMER membandingkan kebutuhan listrik ke sistem energi yang dapat memasok dalam jam tersebut, dan menghitung energi yang mengalir dari dan ke setiap komponen dari sistem.

b. Optimasi

Setelah simulasi tahapan selanjutnya adalah mengoptimasi semua kemungkinan sistem konfigurasi kemudian diurutkan berdasarkan tinggi rendahnya nilai sekarang Bersih (*Net Present Value*) yang dapat digunakan untuk membandingkan desain pilihan dan *Levelled Cost of Energi (COE)*.

c. Analisis sensitivitas

Ketika variable sensitivitas ditambahkan, HOMER mengulangi proses optimasi untuk setiap sensitivitas *variable* yang telah ditentukan sebelumnya. Misalnya, jika ditetapkan kecepatan angin sebagai sensitivitas *variable*, HOMER akan mensimulasikan konfigurasi untuk berbagai kecepatan angin yang telah ditetapkan.

Kelebihan perangkat lunak ini adalah penggunaannya mudah, bisa mensimulasi, mengoptimasi suatu model kemudian secara otomatis bisa menemukan konfigurasi sistem optimum yang bisa mensuplai beban dengan biaya sekarang (*NPC*) terendah, dan bisa menggunakan parameter sensitivitas untuk hasil bagus dan akurat.

Sedangkan kelemahannya adalah perangkat ini keluaran utamanya berupa parameter ekonomi (*NPC, COE*) bukan model sistem yang terperinci, dan beberapa teknologi energi terbarukan masih belum bisa disimulasikan dengan perangkat lunak ini.

2.5 Analisis ekonomis

Analisis ekonomi adalah proses dimana kekuatan dan kelemahan suatu ekonomi dianalisis. Analisis ekonomi adalah penting untuk memahami kondisi ekonomi yang tepat. Hal ini dapat mencakup sejumlah isu-isu ekonomi penting yang terus *cropping up* dalam ekonomi tertentu, yang sedang dianalisis. Pada penelitian ini, parameter nya adalah Biaya investasi dan biaya produksi energi (*Cost of Energi-CoE*).

2.5.1 Berdasarkan perhitungan

a. Biaya investasi

Biaya investasi merupakan biaya awal untuk membangun pembangkit listrik tenaga angin. Pada penelitian ini dibahas mengenai biaya investasi seperti biaya turbin angin, biaya mekanik, biaya elektrik. Baterai, Inverter maupun biaya investasi lainnya seperti Junction Box, Ruang Kontrol dan ruang baterai tidak di bahas dalam penelitian ini.

Perhitungan pada biaya investasi menggunakan software microsoft Excel, dengan menghitung jumlah dari turbin angin, biaya mekanik dan biaya elektrik.

b. Biaya produksi energi (*Cost of Energi-CoE*)

Untuk mendapatkan besaran biaya produksi energi turbin angin, beberapa komponen biaya yang mempengaruhi adalah sebagai berikut :

1. Biaya tetap tahunan (*Fixed Charge Rate-FCR*)

FCR adalah biaya tahunan dalam bentuk persentase yang proposional terhadap total biaya investasi. Komponen *FCR* meliputi pengembalian hutang dan ekuitas (yang digunakan untuk pembiayaan konstruksi, pembayaran *fee*, pajak barang masuk, pajak bumi dan bangunan), depresiasi dan amortisasi serta asuransi. Nilai *FCR* yang digunakan oleh *National Renewable Energi Laboratory (NREL)* adalah 11,58%.

2. Biaya operasional tahunan (*Annual Operation Expenses-AOE*)

Biaya *AOE* terdiri dari beberapa komponen biaya yaitu:

a). Levelisasi biaya operasional dan perawatan (*Levelized Operational & Maintenance Cost-LO&M*).

Biaya operasional dan perawatan mencakup kegiatan operasional dan perawatan harian baik yang terjadwal maupun tidak terjadwal termasuk biaya tenaga kerja dan administrasi yang berhubungan dengan hal tersebut. *LO&M* diekspresikan dalam \$/kWh dan NREL menggunakan nilai 0,007 USD/kWh.

b). Levelisasi biaya penggantian komponen turbin angin (*Levelized Replacement Cost-LRC*)

Yang dimaksud dengan penggantian komponen adalah penggantian terhadap komponen turbin angin yang sudah melewati masa pakai atau masa ekonomisnya. *LRC* diekspresikan dengan \$/kW *rating* pada *name plate* turbin angin dimana *NREL* menentukan 10,7 USD/kW.

c). Biaya sewa lahan (*Land Lease Cost-LLC*)

Di negara-negara yang telah membangun dan menggunakan turbin angin seperti di Eropa dan Amerika, masalah lahan merupakan hal sensitif karena berhubungan langsung dengan masyarakat dimana pada lahan atau area tersebut berpotensi untuk dibangun suatu turbin angin. *LLC* diekspresikan dengan \$/kWh.

Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai *CoE* adalah sebagai berikut :

$$CoE(Rp/kWh) = \frac{(FCR \times TIC) + AOE}{AEP_{net}} \dots\dots\dots(2.6)$$

dengan;

TIC= Total biaya investasi (USD). Sedangkan untuk mendapatkan nilai *AOE* menggunakan persamaan:

$$AOE(Rp) = \frac{LLC + (O\&M + LRC)}{AEP_{net}} \dots\dots\dots(2.7)$$

2.5.2 Berdasarkan *software* Homer

Simulasi menggunakan *software* Homer, parameter yang di gunakan merupakan suatu investasi diantaranya adalah Biaya produksi energi *Cost of Energi – CoE*).

a. Biaya produksi energi (*Cost of Energi-CoE*)

Untuk mendapatkan besaran biaya produksi energi turbin angin, beberapa komponen biaya yang mempengaruhi adalah sebagai berikut :

1. Energi produksi tahunan turbin angin (*Annual Energi Production-AEP*)

Energi listrik yang dihasilkan oleh turbin angin dalam setahun sesuai dengan potensi angin yang ada dilokasi (*Weibull*) dapat diperkirakan dengan menggunakan persamaan :

$$E_E = 8,760 \times 10^{-3} \int_{V_{cut-in}}^{V_{cut-out}} P_e(v) f(v) dv \quad (GWh/tahun) \dots\dots\dots(2.8)$$

dengan;

$P_e(v)$: sesuai model kurva daya turbin angin

$f(v)$: distribusi *Weibull* pada lokasi

Sedangkan nilai *AEP* nominal dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$E_w = 8760 \text{ jam} \times \text{konfigurasi nominal turbin angin (GWh/tahun)} \dots\dots\dots(2.9)$$

2. Biaya tetap tahunan (*Fixed Charge Rate-FCR*)

FCR adalah biaya tahunan dalam bentuk persentase yang proposional terhadap total biaya investasi. Komponen *FCR* meliputi pengembalian hutang dan ekuitas (yang digunakan untuk pembiayaan konstruksi, pembayaran *fee*, pajak barang masuk, pajak bumi dan bangunan), depresiasi dan amortisasi serta asuransi. Nilai *FCR* yang digunakan oleh *National Renewable Energi Laboratory (NREL)* adalah 11,58%.

Pengembalian hutang dan ekuitas dari suatu investasi dengan periode waktu pengembalian tertentu dan nilai *Return on Equity (ROE)* yang diinginkan disebut dengan *Average Weighted Cost of Capital (AWCC)* dimana nilai ini digunakan juga sebagai nilai *discount rate* untuk menghitung nilai *NPV*. *AWCC* dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan :

$$AWCC_{nominal} = (Eq \times ROE) + (Debt \times Int.Debt) \dots\dots\dots(2.10)$$

dengan:

<i>Eq</i>	= ekuitas (%)
<i>ROE</i>	= <i>Return of Equity</i> (%)
<i>Debt</i>	= jumlah pinjaman (%)
<i>Int.Debt</i>	= bunga pinjaman (%)

Nilai *AWCC* pada persamaan (2.10) belum mempertimbangkan inflasi. Jika nilai inflasi dimasukkan kedalam perhitungan *AWCC* maka persamaan menjadi.

$$AWCC_{real} = (AWCC_{nominal} - inflasi)/(1 + inflasi) \dots\dots\dots(2.11)$$

Depresiasi, amortisasi dan perpajakan untuk pemanfaatan sumber energi terbarukan telah diatur oleh pemerintah Indonesia. Kementerian Keuangan Indonesia telah mengeluarkan peraturan guna mendukung pemanfaatan energi terbarukan di Indonesia melalui PerMenKeu No.21/PMK.011/2010 tentang Pemberian Fasilitas Perpajakan dan Kepabeanan Untuk Kegiatan Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan.

3. . Biaya operasional tahunan (*Annual Operation Expenses-AOE*)

Biaya *AOE* terdiri dari beberapa komponen biaya yaitu:

- a). Levelisasi biaya operasional dan perawatan (*Levelized Operational & Maintenance Cost-LO&M*).

Biaya operasional dan perawatan mencakup kegiatan operasional dan perawatan harian baik yang terjadwal maupun tidak terjadwal termasuk biaya tenaga kerja dan administrasi yang berhubungan dengan hal tersebut. *LO&M* diekspresikan dalam \$/kWh dan *NREL* menggunakan nilai 0,007 USD/kWh.

- b). Levelisasi biaya penggantian komponen turbin angin (*Levelized Replacement Cost-LRC*)

Yang dimaksud dengan penggantian komponen adalah penggantian terhadap komponen turbin angin yang sudah melewati masa pakai atau masa ekonomisnya. *LRC* diekspresikan dengan \$/kW rating pada *name plate* turbin angin dimana *NREL* menentukan 10,7 USD/kW.

- c). Biaya sewa lahan (*Land Lease Cost-LLC*)

Di negara-negara yang telah membangun dan menggunakan *turbin angin* seperti di Eropa dan Amerika, masalah lahan merupakan hal sensitif karena berhubungan langsung dengan masyarakat dimana pada lahan atau area tersebut berpotensi untuk dibangun suatu *turbin angin*. *LLC* diekspresikan dengan \$/kWh.

Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai CoE adalah sebagai berikut :

$$CoE(Rp/kWh) = \frac{(FCR \times TIC) + AOE}{AEP_{net}} \dots\dots\dots(2.12)$$

dengan;

TIC = Total biaya investasi (USD). Sedangkan untuk mendapatkan nilai AOE menggunakan persamaan:

$$AOE(Rp) = \frac{LLC + (O\&M + LRC)}{AEP_{net}} \dots\dots\dots(2.13)$$

2.6 Analisis Elektris

Analisis Elektris pada penelitian ini menggunakan parameter – parameter pada perhitungan seperti metoda weibull, efisiensi daya serta parameter pada simulasi seperti input .

2.6.1 Berdasarkan perhitungan

Perhitungan elektris menggunakan parameter seperti (*Capacity Factor- CF*), Energi produksi tahunan turbin angin (*Annual Energi Production-AEP*) dan koefisiensi turbin angin.

a. Data angin per tahun

Data angin per tahun di dapat dari data Lapan pada tahun 2012. Data angin tahunan berupa data angin per jam, per hari, per minggu , perbulandalam jangka satu tahun dan metoda weibul menjadi inputan pada simulasi elektrik Homer.

c. Metoda Weibul

Pada metoda distribusi *Weibull* terdapat 2 parameter yakni parameter bentuk k (tanpa dimensi) dan parameter skala c (m/s). Nilai parameter k diperoleh dengan nilai yang berdasarkan data-data kecepatan angin aktual dilapangan sehingga cukup representatif untuk mengetahui distribusi dari sejumlah data kecepatan angin yang bervariasi. Untuk menentukan nilai parameter bentuk k , jika nilai tengah dan variannya telah diketahui dapat menggunakan persamaan :

$$k = \left(\frac{\sigma}{\bar{u}}\right)^{-1.086} \dots\dots\dots(2.14)$$

dengan:

- σ = nilai standar deviasi kecepatan angin
- \bar{u} = kecepatan angin rata-rata (m/s)

Variasi kecepatan angin sangat dipengaruhi oleh besar kecilnya nilai parameter k dimana, semakin besar nilai parameter k maka kecepatan angin bervariasi sedikit dan sebaliknya semakin kecil nilai parameter k maka semakin besar variasi kecepatan anginnya.

Sedangkan untuk mendapatkan nilai dari parameter skala c dengan menggunakan persamaan (2.23) :

$$c = 1,12\bar{u} \quad (\text{m/s}) \quad 1,5 \leq k \leq 4 \dots\dots\dots(2.15)$$

semakin kecil nilai parameter c maka kurva akan bergeser ke arah kecepatan angin yang lebih rendah demikian juga sebaliknya, jika nilai c besar maka, kurva akan bergeser ke arah kecepatan angin yang lebih tinggi.

Fungsi distribusi dari probabilitas distribusi *Weibull* $f(u)$ didefinisikan dengan persamaan (2.6) :

$$f(u) = \frac{k}{c} \left(\frac{u}{c}\right)^{k-1} \exp \left[-\left(\frac{u}{c}\right)^k \right] \quad (k > 0, u > 0, c > 1) \dots\dots\dots(2.16)$$

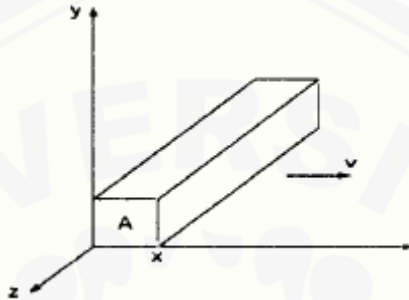
Untuk mengetahui durasi terjadinya kecepatan angin dalam satu tahun dapat menggunakan persamaan (2.17):

$$Durasi = f(u) \times 8760 \text{ (jam/tahun)} \dots\dots\dots(2.17)$$

dimana; 8760 = jumlah jam per tahun.

c. Efisiensi

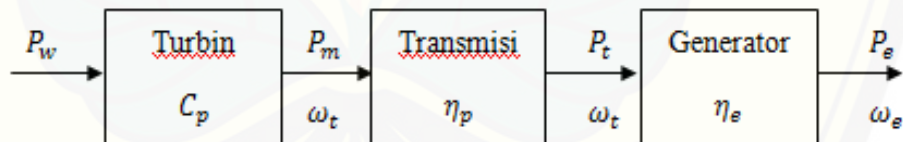
Besarnya daya yang dapat dihasilkan oleh angin (potensi angin) adalah turunan dari energi kinetik terhadap waktu dan sebanding dengan rapat massa udara yang mengalir melalui permukaan tertentu dan kecepatan angin yang melalui bidang sapuan rotor.



Gambar 2.9 Sekumpulan udara bergerak dengan kecepatan v (Kadir, 1995)

Energi kinetik yang dihasilkan sekumpulan udara dengan massa m, dengan kecepatan v dengan arah x, sekumpulan udara bergerak dapat dilihat pada Gambar 2.9 adalah:

$$U = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} (\rho Ax)v^2 \dots\dots\dots(2.18)$$



Gambar 2.10 Sistem kelistrikan tenaga angin (Kadir,1995)

Seperti yang terlihat pada Gambar 2.10, daya yang dihasilkan angin, Pw adalah turunan energi kinetik terhadap waktu :

$$P_w = \frac{dU}{dt} = \frac{1}{2} \rho Av^2 \frac{dx}{dt} = \frac{1}{2} \rho Av^3 \dots\dots\dots(2.19)$$

Dalam rumus ini, padahal tekanan dalam kPa dan T adalah temperatur dalam Kelvin. Daya yang dibangkitkan angin menjadi:

$$P_w = \frac{1}{2} pAv^3 = \frac{1.72pAv^3}{T} \dots\dots\dots(2.20)$$

Dimana A merupakan luas area dalam m^2 dan v adalah kecepatan angin dalam m/s. untuk kondisi udara standar, 101,3 kPa dan 273 K, sehingga diperoleh persamaan:

$$P_w = 0.647 Av^3 \dots\dots\dots(2.21)$$

Dasar Sistem kelistrikan tenaga angin dapat dilihat pada gambar 4.10. mula – mulanya daya angin P_w = daya melewati turbin angin sehingga diperoleh daya mekanik P_m dengan kecepatan sudut ω_m yang mana daya disuplai ke transmisi. Daya output P_t merupakan perkalian daya output P_m dan efisiensi transmisi η_m .

$$P_t = \eta_m P_m \dots\dots\dots(2.23)$$

Daya output mekanik P_m aktual dapat ditulis:

$$P_m = C_p \left(\frac{1}{2} pAv^2 \right) = C_p P \dots\dots\dots(2.24)$$

Dimana C_p adalah coefisien performa turbin angin yang nilainya tidak konstan, dipengaruhi kecepatan angin, kecepatan putaran turbin, dan parameter sudu turbin. Maka di dapat persamaan sebagai berikut:

$$P_e = \eta_g \cdot P_t \dots\dots\dots(2.25)$$

Dengan:

P_e = daya listrik yang dihasilkan

η_g = efisiensi generator

P_t = daya transmisi

Namun dalam penelitian ini, hanya kecepatan angin dan daya elektrik yang diketahui sedangkan C_p tidak diketahui, maka daya angin sama dengan daya daya mekanik, sehingga untuk mendapatkan nilai efisiensi menggunakan persamaan seperti dibawah ini:

$$\eta = \frac{P_e}{P_m} \dots\dots\dots(2.26)$$

dengan:

η = efisiensi (%)

P_e = daya elektrik (W)

P_m = daya mekanik (W)

2.6.2 Berdasarkan *software* Homer

Simulasi elektris merupakan simulasi menggunakan *software* Homer, adapun untuk menghasilkan elektrik menggunakan parameter seperti data angin dan metoda weibul.

a. Data angin per tahun

Data angin per tahun di dapat dari data Lapan pada tahun 2012. Data angin tahunan berupa data angin per jam, per hari, per minggu, perbulandalam jangka satu tahun dan metoda weibul menjadi inputan pada simulasi elektrik Homer.

b. Metoda *Weibul*

Pada metoda distribusi *Weibull* terdapat 2 parameter yakni parameter bentuk k (tanpa dimensi) dan parameter skala c (m/s). Nilai parameter k diperoleh dengan nilai yang berdasarkan data-data kecepatan angin aktual dilapangan sehingga cukup representatif untuk mengetahui distribusi dari sejumlah data kecepatan angin yang bervariasi. Untuk menentukan nilai parameter bentuk k , jika nilai tengah dan variannya telah diketahui dapat menggunakan persamaan :

$$k = \left(\frac{\sigma}{\bar{u}} \right)^{-1.086} \dots\dots\dots(2.27)$$

dengan:

- σ = nilai standar deviasi kecepatan angin
- \bar{u} = kecepatan angin rata-rata (m/s)

Variasi kecepatan angin sangat dipengaruhi oleh besar kecilnya nilai parameter k dimana, semakin besar nilai parameter k maka kecepatan angin bervariasi sedikit dan sebaliknya semakin kecil nilai parameter k maka semakin besar variasi kecepatan anginnya.

Sedangkan untuk mendapatkan nilai dari parameter skala c dengan menggunakan persamaan (2.28) :

$$c = 1,12\bar{u} \quad (\text{m/s}) \quad 1,5 \leq k \leq 4 \quad \dots\dots\dots(2.28)$$

semakin kecil nilai parameter c maka kurva akan bergeser kearah kecepatan angin yang lebih rendah demikian juga sebaliknya, jika nilai c besar maka, kurva akan bergeser ke arah kecepatan angin yang lebih tinggi.

Fungsi distribusi dari probabilitas distribusi *Weibull* $f(u)$ didefinisikan dengan persamaan (2.29) :

$$f(u) = \frac{k}{c} \left(\frac{u}{c}\right)^{k-1} \exp \left[- \left(\frac{u}{c}\right)^k \right] \quad (k > 0, u > 0, c > 1) \dots\dots\dots(2.29)$$

Untuk mengetahui durasi terjadinya kecepatan angin dalam satu tahun dapat menggunakan persamaan (2.30):

$$Durasi = f(u) \times 8760 \quad (\text{jam/tahun}) \dots\dots\dots(2.30)$$

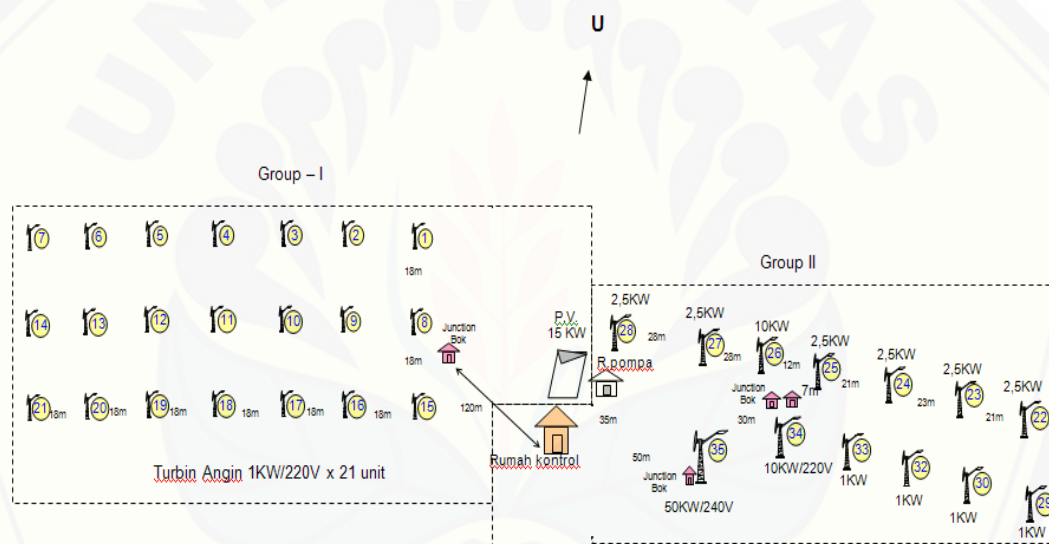
dimana; 8760 = jumlah jam per tahun.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan waktu penelitian

Penelitian ini dilakukan di PLTH pantai Baru Pandansimo, dukuh Ngentak, desa Poncosari, kecamatan Srandakan, Bantul, Yogyakarta.

Pada PLTH Bantul sendiri terbagi menjadi dua grup yaitu grup timur dan grup barat. Objek penelitian ini tertuju pada turbin angin yang ada di grup timur dengan kapasitas 1 kW dan 10 kW, seperti yang di gambarkan pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Skema PLT angin di PLTH Bantul

3.2 Alat dan bahan

Dalam penelitian ini, alat yang di perlukan pada pengujian dan simulasi dapat diuraikan sebagai berikut:

a. Pengukuran turbin angin

Turbin angin merupakan objek dan penghasil energi listrik yang diukur dalam penelitian ini.

b. *Multimeter*

Untuk mengukur tegangan baik AC maupun DC yang di hasilkan oleh turbin angin pada saat pengambilan data.

c. *Anemometer*

Alat ini berfungsi untuk mengetahui kecepatan angin yang ada di *wind tunnel*

d. *Data Logger*

Data logger merupakan alat bantu monitoring dan pencatatan data yang diperlukan.

e. *Sistem kontrol*

Sistem kontrol merupakan sistem yang mengontrol keluaran listrik yang dihasilkan oleh turbin angin serta sebagai pengaman jika terjadi gangguan pada turbin angin.

f. *Beban*

beban pengujian menggunakan elemen pemanas 600 watt satu buah.

g. *Pengaman*

pengaman pada pengujian menggunakan *mini circuit breaker* (MCB) 10 A sebagai pengaman.

Data yang di perlukan dalam penelitian ini berupa data-data pengujian di tampilkan pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Data – data hasil pengujian

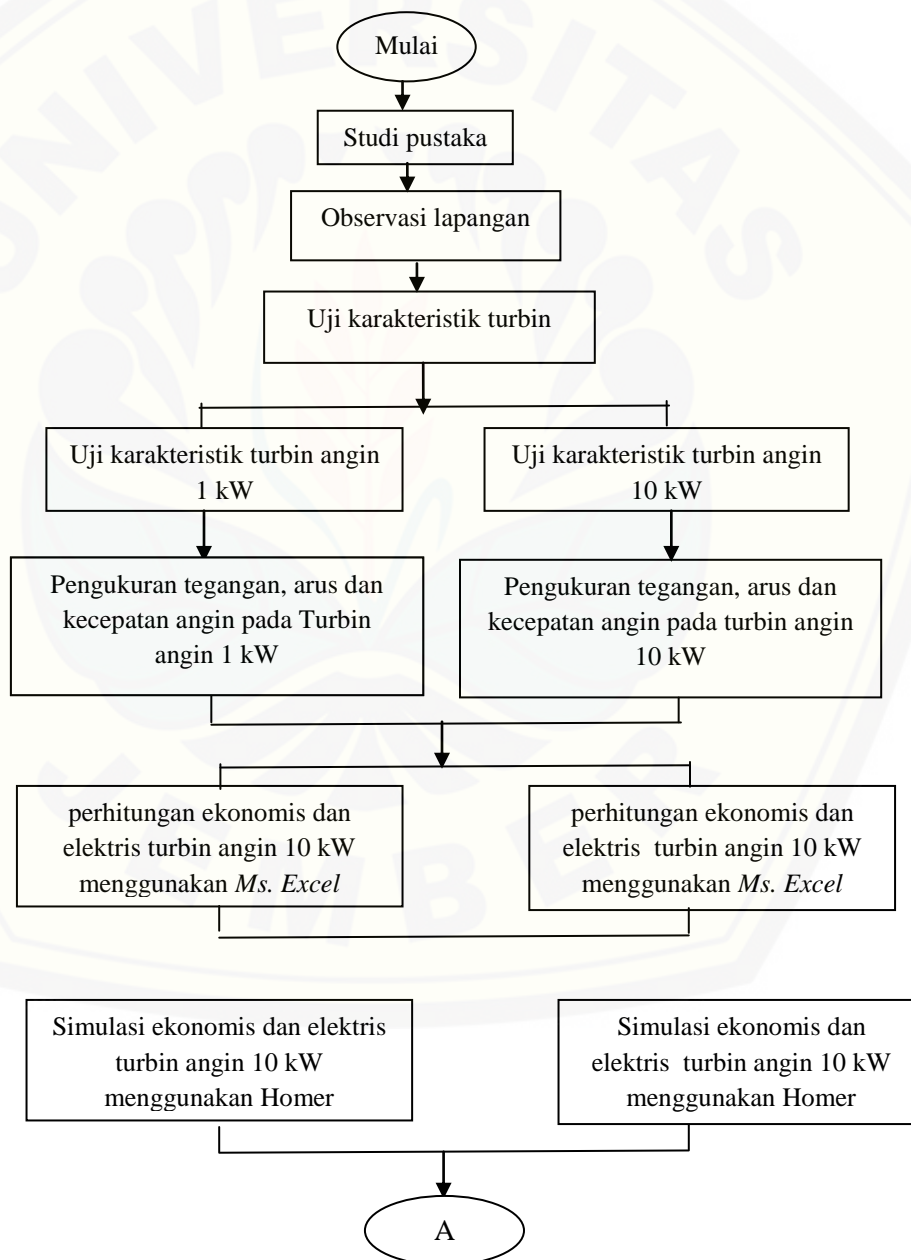
No	Nama variabel	Jenis variabel
1	Data kecepatan angin	Data primer & sekunder
2	Data tegangan output turbin angin	Data primer
3	Data arus output turbin angin	Data primer
4	Data spesifikasi turbin angin	Data primer

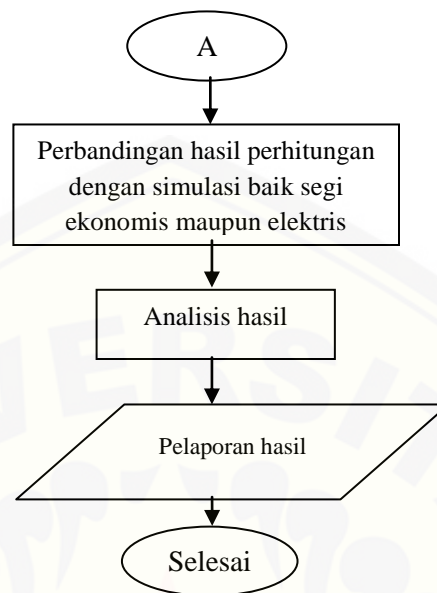
3.3 Flowchart penelitian

Alur penelitian secara umum adalah sebagai berikut:

1. Melakukan pengujian terhadap kareakteristik turbin angin 1 kw dan 10 kw.
2. Melakukan perhitungan dan simulasi Homer dari segi elektris dan ekonomis.
3. Melakukan perbandingan baik secara perhitungan manual dan simulasi homer dari segi elektris maupun ekonomis.

Langkah – langkah ini dapat di jabarkan melalui *flowchart* yang terdapat pada gambar 3.2.





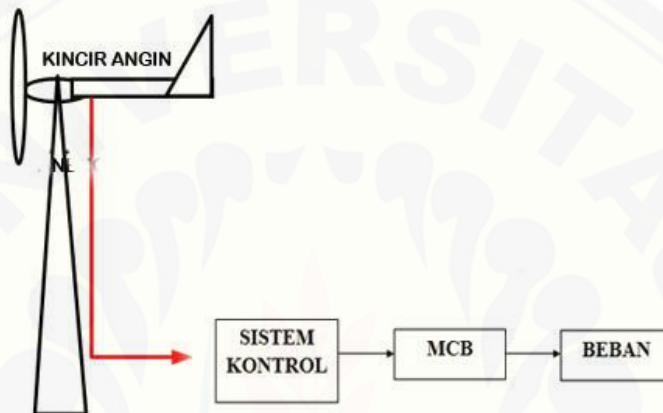
Gambar 3.2 Flowchart penelitian

3.3.1 Pengujian karakteristik turbin angin 1 kW dan 10 kW.

Adapun untuk langkah-langkah pengujian karakteristik turbin angin adalah sebagai berikut :

- Turbin angin 1 kW dan 10 kW dipastikan dalam keadaan *ready* dan tidak ada kerusakan pada sudu maupun generatornya.
- Beban dilepaskan pada turbin angin yang akan di uji dengan beban *Hybrid* dari PLTH.
- Dua buah elemen panas (beban) dihubungkan secara seri pada masing – masing beban turbin angin sehingga beban menjadi berkonfigurasi 600 W/220 V.
- Beban pemanas dihubungkan pada sistem kontrol turbin angin sebagai pengganti beban *Hybrid* dari PLTH.
- MCB antara beban (elemen pemanas) dihubungkan dengan sistem kontrol, MCB disini sebagai pengaman jika ada tegangan lebih (*over voltage*).

- f) Sistem kontrol dihubungkan dengan turbin angin
- g) Tunggu beberapa saat hingga turbin angin berputar
- h) Mengukur dan catat tegangan dan arus yang terbaca pada *display* multimeter setiap lima menit. Sedangkan di tempat lain, Mengukur kecepatan angin menggunakan *data logger*, dengan mendownload menggunakan laptop dan *software* khusus untuk pengambilan data kecepatan angin .



Gambar 3.3 Konfigurasi pengujian turbin angin

Pembangkit listrik tenaga angin yang digunakan pada PLTH Bantul menggunakan turbin angin sumbu horizontal. Secara umum kinerja sumbu horizontal maupun sumbu menggunakan aerodinamik (*aerodynamics forces*) yang dihasilkan oleh aerofoil sudu turbin. Dalam penelitian ini spesifikasi turbin angin 1 kW dan 10 kW, merek *Foshan Ouyad*, China, dapat dilihat pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Spesifikasi turbin angin

No	Model	FD3.0-1000	FD8.0-10000
1	Rated power	1 kW	10 kW
2	Rated voltage	240 V	240 V
3	Blade diameter	4,8	8
4	Start-up wind speed	2 m/s	3
5	Rated wind speed	12 m/s	12 m/s
6	Security wind speed	35 m/s	60 m/s

7	Furling type	Mechanism	Electronic
8	Rated rotating rate	400	185
9	Generator work away	magnetic saturation	Magnetic saturation
10	Generator material	casted iron	Steel
11	Blade material	fiber glass	Fiber glass
12	Blade quantity	3	3
13	Tower height	12 m	12 m
14	Tower diameter	114 mm	325 mm
15	Suggested battery capacity	12V200AH40pcs	12V200AH40pcs
16	Matched inverter type	Sinewave	Sinewave

Teknik pengumpulan data yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Observasi

Dalam teknik ini, penulis terjun langsung ke lokasi sistem pembangkit listrik tenaga angin yang telah terpasang di PLTH Bantul. Teknik ini digunakan untuk mengenai gambaran umum dan informasi – informasi aktual mengenai pembangkit listrik tenaga angin.

2. Studi literatur

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan dasar teori yang menunjang dalam penulisan Tugas akhir. dasar teori dapat diambil dari buku-buku, jurnal dan artikel-artikel di internet.

3. Pengumpulan data yang diperlukan

Metode pengambilan data dilakukan dengan mengambil data hasil pengukuran kecepatan angin dan pengujian turbin angin di PLTH Bantul.

4. Melakukan analisis

- a. Melakukan perhitungan dari segi ekonomis maupun listrik menggunakan *ms. excel*.
- b. Melakukan simulasi baik dari segi ekonomis maupun listrik menggunakan *software HOMER*.

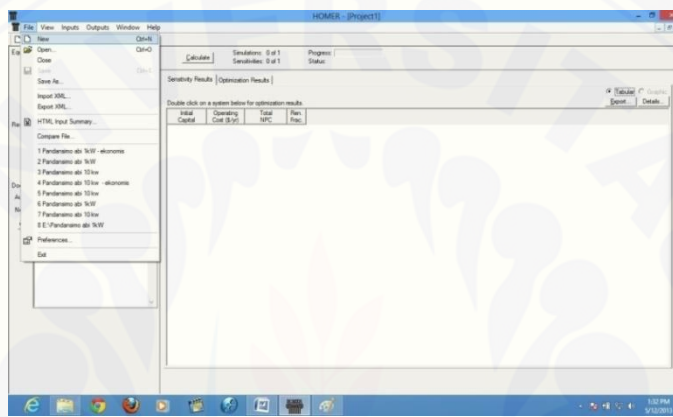
- c. Membandingkan hasil analisis ekonomis dan elektrik dari perhitungan dan simulasi HOMER.

3.3.2 Simulasi karakteristik turbin angin dengan simulasi Homer

a. Merancang sistem Pembangkit dengan Homer

1. Membuka jendela baru Homer

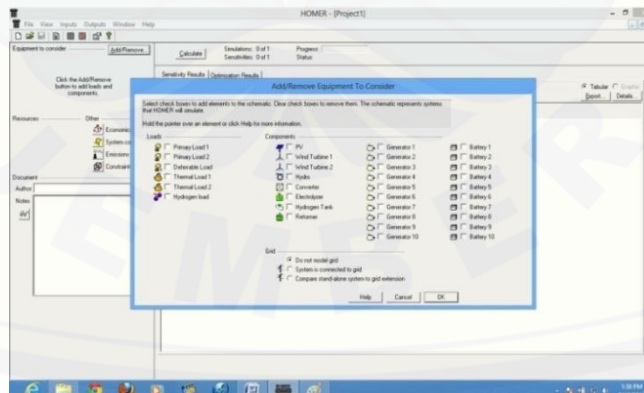
Pada saat membuka jendela Homer untuk memulai *project* simulasi pembangkit yaitu, Klik *file* kemudian Klik *new* pada *toolbar* Homer.



Gambar 3.4 Jendela baru Homer

b. Membuat simulasi pembangkit

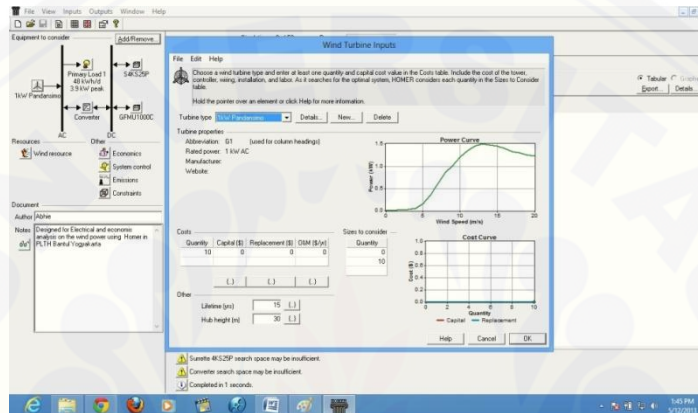
Merancang pembangkit pada Homer, yaitu klik *add/remove* pada *equipment consider*, kemudian tambahkan pembangkit sesuai yang dibutuhkan



Gambar 3.5 Perancangan simulasi pembangkit

c. Memberi nilai masukan pada masing-masing pembangkit.

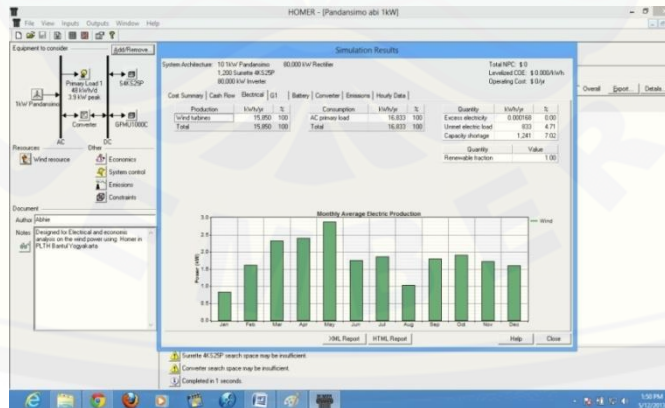
Nilai masukan berupa, jumlah pembangkit serta data yang diperoleh dari sumber maupun dari data lapangan. Pada penelitian ini, dengan jumlah kapasitas pembangkit angin 10 unit untuk kapasitas 1 kW, sedangkan di Homer hanya terdapat dua unit yang dapat disimulasikan. Maka kita klik satu pembangkit saja berupa kapasitas 1 kW. Kemudian isi *Quantity* pada *Size to Consider* dengan sepuluh unit.



Gambar 3.6 Nilai masukan pada simulasi

d. Simulasi

Untuk simulasi yaitu dengan klik *calculate*, setelah *calculate* berjalan maka akan di dapatkan hasil dari simulasi tersebut.

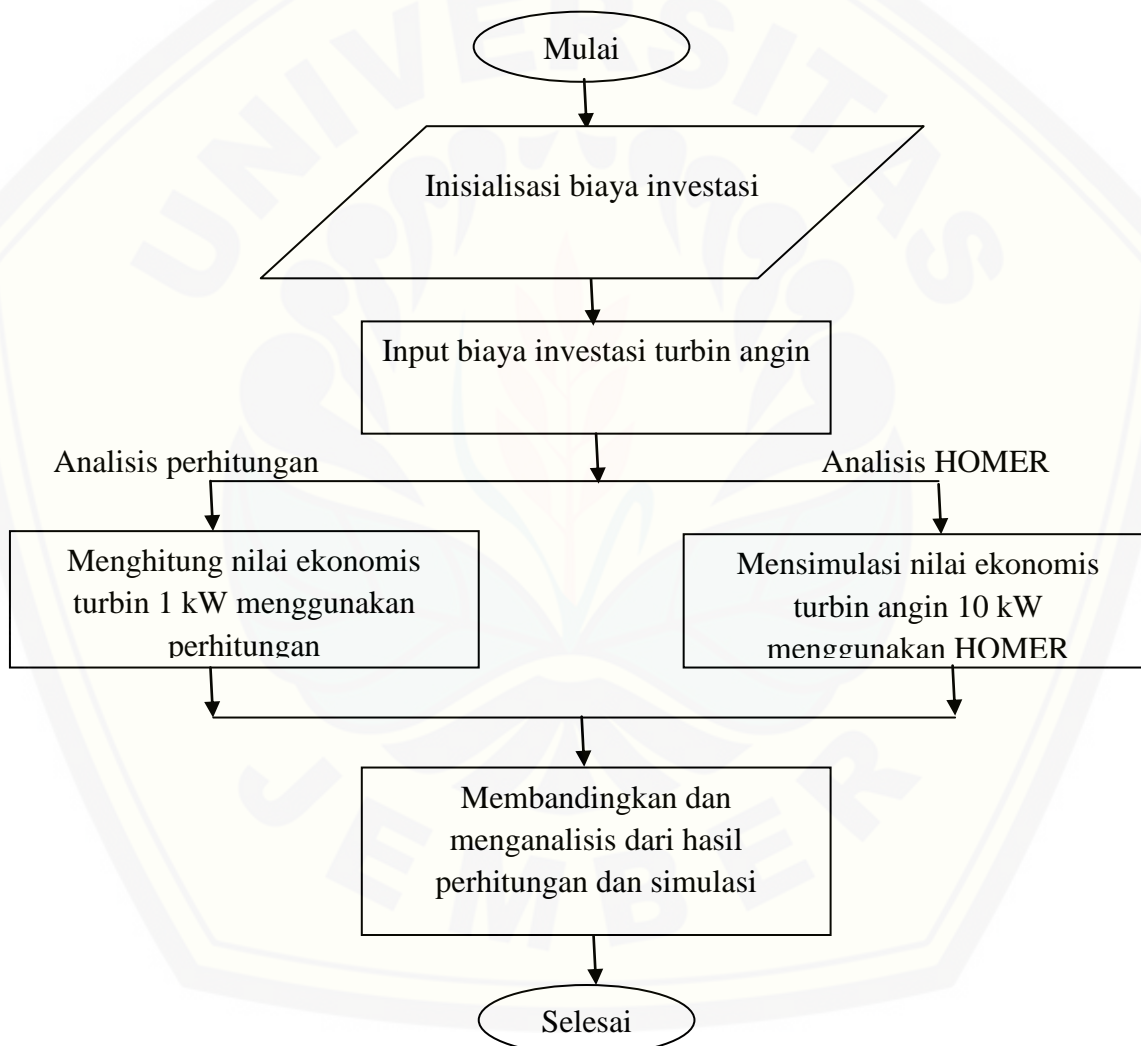


Gambar 3.7 Hasil simulasi

3.3.3 Perbandingan karakteristik turbin angin dari segi ekonomis dan elektris

a. Analisis ekonomis

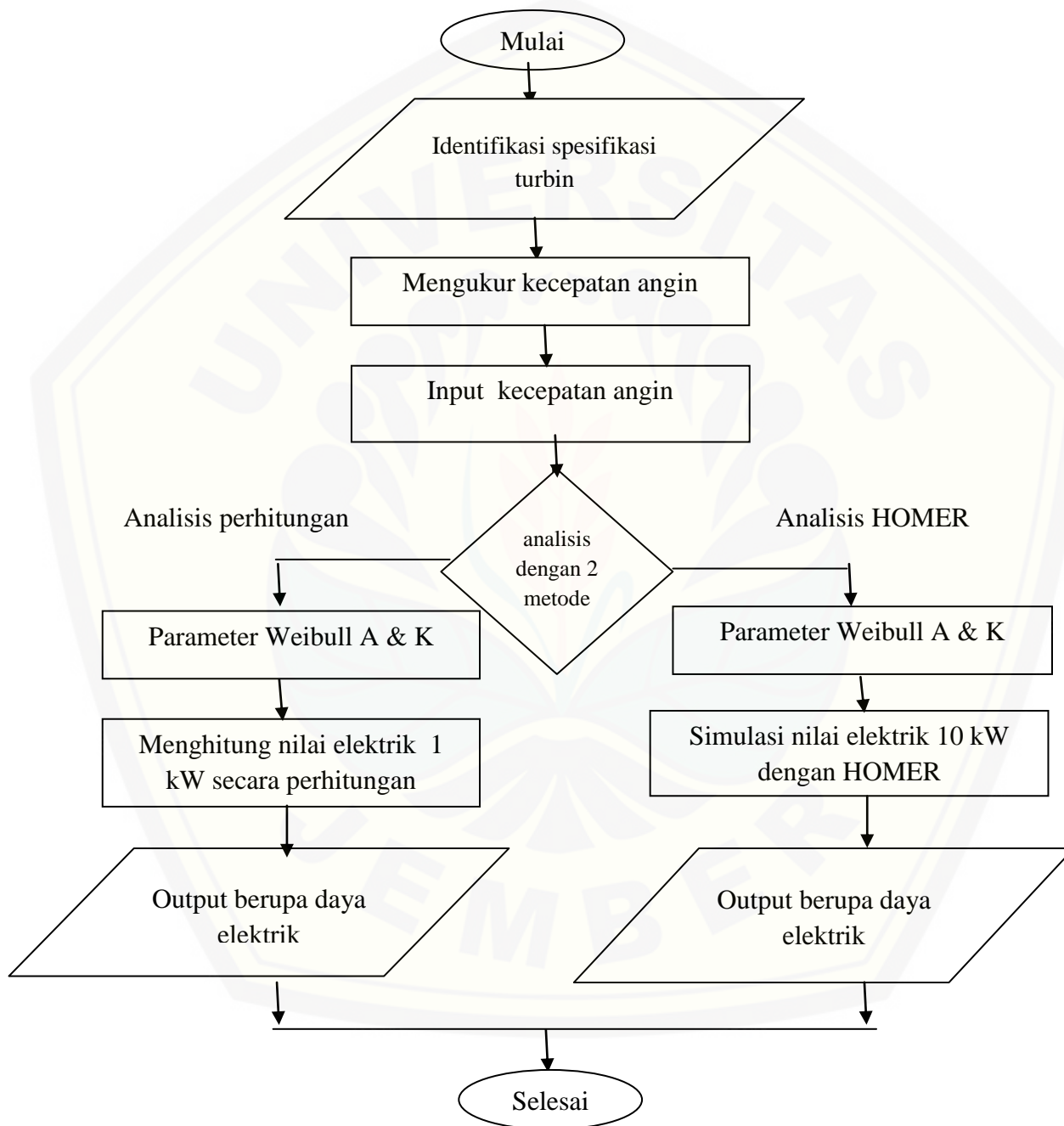
Pada analisis ekonomis atau menghitung biaya dari investasi turbin angin, langkah pertama yaitu terlebih dahulu mengetahui harga turbin angin di internet, Turbin angin 1 kW didapat harga per turbin angin \$8.199, dan kapasitas 10 kW dengan harga \$52.759. harga turbin angin diakses di internet pada tanggal 11 February 2013.



Gambar 3.8 Flowchart analisis ekonomis

b. Analisis elektris

Sebelum melakukan perhitungan elektris, terlebih dahulu diketahui spesifikasi turbin seperti pada tabel 3.1 kemudian dari parameter pada tabel 3.1 dilakukan perhitungan dan simulasi yang di tunjukkan pada gambar 3.9.



Gambar 3.9 Flowchart analisis elektris