

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Energi Alternatif dan Terbarukan

Energi alternatif merupakan pengganti dari energi berbahan konvensional. Energi terbarukan merupakan energi yang tidak dikhawatirkan jumlahnya karena energi ini berasal dari alam yang berkelanjutan. Semakin berkurangnya bahan bakar konvensional di masa kini tentu saja energi terbarukan dan energi alternatif sangat diperlukan. Sementara itu meningkatnya kebutuhan energi semakin melonjak. Dengan semakin berkurangnya jumlah yang berasal dari minyak ataupun batu bara, muncul berbagai alternatif sebagai substitusi dari energi minyak ataupun batu bara tersebut. Energi alternatif meliputi energi surya, energi air, energi panas bumi, energi ombak, dan energi angin.

Menurut Aris Sudarto dan Budiman Saragih 2010, potensi energi angin yang cukup besar dapat dimanfaatkan sebagai penyediaan energi listrik di Indonesia. Wilayah Nusa Tenggara Barat maupun Timur, wilayah Sulawesi Selatan dan Pantai Selatan Jawa memiliki energi angin yang cukup besar yang dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif dan terbarukan.

Meskipun pemanfaatan energi angin dapat dilakukan dimana saja, tetapi daerah-daerah yang memiliki potensi energi angin yang besar tetap perlu diidentifikasi lebih lanjut. Hal ini agar pemanfaatan energi angin bisa lebih kompetitif dibandingkan energi alternatif lainnya. Oleh karena itu, studi potensi pemanfaatan energi angin ini sangat tepat dilakukan untuk mengidentifikasi daerah-daerah yang memiliki potensi untuk direncanakan sebuah pembangkit listrik bertenaga angin kedepannya. (Y. Daryanto, 2007).

Berdasarkan topik dan pembahasan, terdapat banyak referensi dari penelitian-penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan skripsi ini dan beberapa diantaranya penulis gunakan sebagai acuan dalam pembuatannya.

1. Cahya Adijana Nugraha, 2015 “*Analisa Potensi Daya Angin Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) di Pantai Congot, Kulonprogo*” Skripsi, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik,

Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, menjelaskan tentang analisa pembangkit listrik tenaga bayu dengan memanfaatkan energi angin di Pantai Congot sebagai energi alternatif penunjang pasokan listrik warga sekitar yang memiliki potensi angin cukup besar. Metode pengukuran kecepatan angin rata-rata dengan penggunaan aplikasi Homer. Penelitian ini tercatat menghasilkan daya listrik sebesar 4.419.966 kWh/tahun.

2. Muhammad Gaji Gymnastiar, 2017 “*Analisis Potensi Sumber Daya Angin sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Bayu dan Energi alternatif dalam Penyediaan Energi Listrik di Provinsi Jawa Barat*” Skripsi, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, menjelaskan tentang analisa potensi sumber daya angin sebagai energi alternatif dan sumber energi PLTB di Provinsi Jawa Barat. Menggunakan aplikasi LEAP sebagai metode penelitian dan mengukur kecepatan angin. Hasil dari penelitian ini tercatat potensi angin yang didapatkan mencapai 18 MW.
3. Fachreza Noor Bagaskara, 2017 “*Analisis Potensi Sumber Daya Angin sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Bayu dan Energi alternatif dalam Penyediaan Energi Listrik di Pantai Samas Bantul*” Skripsi, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, menjelaskan tentang analisa potensi sumber daya angin yang ada di Pantai Samas sebagai PLTB. Menggunakan aplikasi Homer sebagai metode penelitian mengukur kecepatan angin dan penentuan turbin, sehingga menghasilkan daya yang keluar dari turbin sebesar 85,466 kWh/tahun.
4. Danang Dwi Anggoro, 2016 “*Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Angin Dalam Penyediaan Industri Mikro*” Skripsi, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, menjelaskan tentang kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Angin sebagai penyuplai energi listrik alternatif industri mikro di pesisir Pantai Setro Jenar, Kecamatan Bulus Pesantren, Kabupaten

Kebumen. Menggunakan aplikasi Homer sebagai metode penelitian mengukur kecepatan angin. Penelitian ini tercatat menghasilkan daya total 8,042 kWh/tahun.

5. Ramadoni Syahputra, 2017 “*Model Pembangkit Listrik Tenaga Angin*” Jurnal, Dosen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Metode pembuatan model pengendalian DFIG pada pembangkit listrik tenaga angin menggunakan tehnik neoru-fuzzy dalam perangkat lunak Matlab Simulink. Hasil penelitian memberikan pengendalian kecepatan sehingga walaupun kecepatan angin yang menerpa angin sangat minim, tetapi putaran generator induksi sebagai pembangkit energi listrik masih dapat normal dan masih dapat menghasilkan energi listrik.

2.2 Angin Sebagai Sumber Daya Energi

2.2.1 Definisi Angin

Angin merupakan energi yang terjadi dikarenakan adanya perbedaan suhu antara udara dingin dan panas yang mengalir. (Kadir, 1995) Angin adalah udara yang bergerak sehingga memiliki kecepatan, tenaga, dan arah. Penyebab dari pergerakan ini adalah pemanasan bumi oleh radiasi matahari. Pergerakan angin ini memiliki energi kinetik, oleh karena itu energi angin dapat dikonversi menjadi energi lainnya seperti energi listrik dengan menggunakan kincir angin atau turbin angin.

Angin seperti fluida yang lain pada umumnya mempunyai profil geseran atau profil kecepatan ketika mengalir melewati benda padat, misalnya permukaan bumi. Pada tepat di permukaan bumi, kecepatan relatif angin terhadap permukaan bumi sama dengan nol. Kemudian kecepatan ini menjadi semakin tinggi sebanding ketinggian dari permukaan bumi. Ada dua jenis profil geseran angin yang biasa digunakan untuk menghitung energi, yaitu profil geseran angin eksponensial (*exponential wind shear profile*) dan profil geseran angin kekasaran permukaan (*surface roughness wind shear stress*) (Y. Daryanto, 2007).

2.2.2 Proses Terjadinya Angin

Angin merupakan salah satu unsur yang dapat mempengaruhi kondisi cuaca dan iklim. Terjadinya angin akibat adanya perbedaan tekanan udara atau perbedaan tekanan suhu pada suatu daerah. Penyebab dari perbedaan ini adalah pemanasan bumi oleh radiasi matahari, karena udara di atas permukaan bumi tidak hanya dipanaskan oleh matahari secara langsung. Bumi tidak homogen, maka jumlah energi matahari yang diserap dan dipancarkan kembali oleh bumi berdasarkan tempat dan waktu adalah bervariasi. Hal ini menyebabkan perbedaan temperatur pada atmosfer sehingga terjadinya perbedaan kerapatan dan tekanan atmosfer. Udara memiliki sifat untuk selalu mencapai keseimbangan tekanan. Oleh karena itu, perbedaan kecepatan dan tekanan atmosfer ini menyebabkan udara bergerak dari daerah yang bertekanan tinggi ke daerah yang bertekanan rendah.

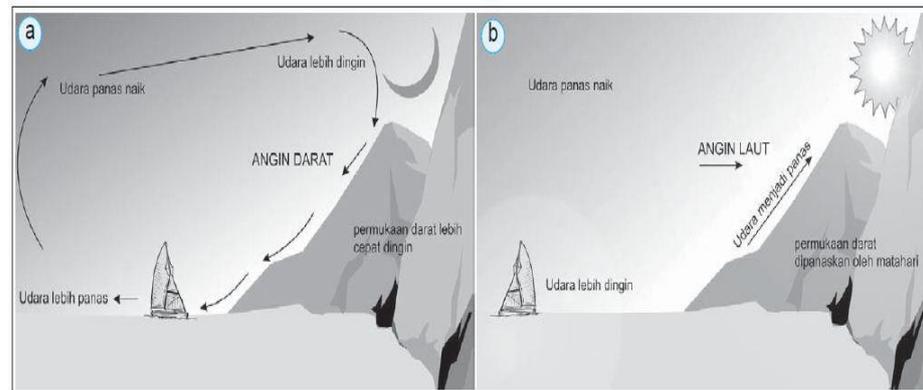
Pada daerah yang relatif panas partikel udara mendapat energi sehingga udara memuai dan menyebabkan tekanan udara di daerah itu naik. Tetapi disisi lain kerapatan udara berkurang sehingga berat jenis udara ditempat itu menjadi relatif kecil. Akibatnya udara berekspansi ke atas dan menyebabkan terjadinya penurunan tekanan di daerah yang ditinggalkannya. Daerah yang ditinggalkan ini lalu akan diisi oleh udara dari daerah sekelilingnya yang memiliki tekanan udara dan massa jenis yang lebih tinggi. Udara yang berekspansi keatas selanjutnya mengalami penurunan suhu, sehingga terjadi penyusutan dan massa jenisnya kembali naik. Udara ini akan turun kembali ketempat yang memiliki tekanan lebih rendah. Hal ini berlangsung secara terus menerus sepanjang waktu, sehingga pergerakan udara terus berlangsung.

2.2.3 Jenis-Jenis Angin

Pada umumnya angin dibagi menjadi dua jenis, yaitu angin musim dan angin lokal. Angin darat, angin laut dan angin lembah merupakan beberapa jenis angin lokal. Berikut merupakan perbedaan beberapa jenis angin dan teori proses terjadinya.

1. Angin Laut dan Angin Darat

Angin laut bertiup dari laut menuju darat, sebaliknya angin darat bertiup dari darat menuju laut. Perbedaan sifat antara lautan dan daratan adalah penyebab terjadinya angin laut dan angin darat. Malam hari merupakan waktu dimana terjadinya angin darat, dikarenakan daratan melepas energi panas yang diserap dari permukaan bumi lebih cepat yang mengakibatkan suhu udara menjadi dingin. Sedangkan energi panas di lautan sedang mengalami proses pelepasan energi ke udara. Udara yang naik dari lautan ke atas digantikan oleh udara dingin yang bergerak dari daratan, sehingga hal ini merupakan penyebab terjadinya aliran udara dari daratan menuju ke lautan. Pada malam hari hingga dini hari merupakan waktu terjadinya angin darat. Sedangkan pada waktu pagi hingga sore merupakan waktu terjadinya angin laut, karena energi panas yang ada di daratan diserap lebih cepat dari pada energi panas yang diserap di lautan, sehingga udara lebih panas terjadi di daratan dari pada di lautan. Udara dingin dari lautan akan naik dan menggantikan udara panas di daratan.

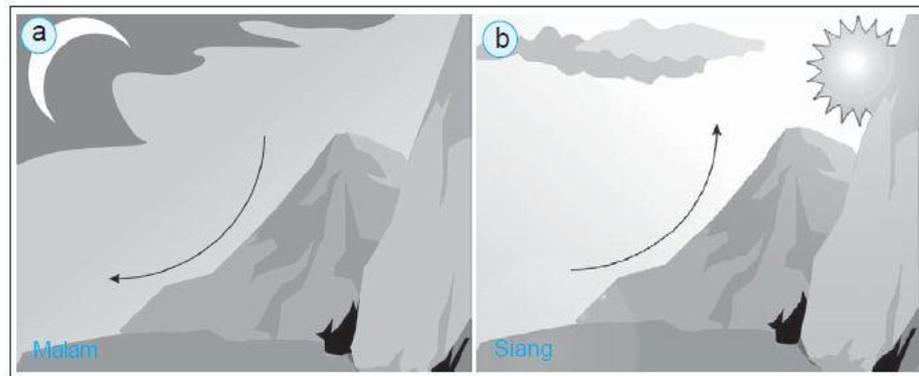


Gambar 2.1 Proses Terjadinya Angin Laut dan Angin Darat

2. Angin Gunung dan Angin Lembah

Prinsip terjadinya angin gunung dan angin lembah hampir sama dengan angin laut dan angin darat. Yaitu terjadi akibat adanya perbedaan suhu antara lembah dan puncak gunung. Malam hari saat

lembah masih sangat hangat pegunungan sudah lebih dulu mendingin. Hal ini yang menyebabkan udara di lembah pada malam hari lebih renggang, sehingga tekanan udara dilembah menjadi lebih rendah. Rendahnya tekanan udara di lembah membuat udara yang ada di gunung bergerak turun ke lembah sebagai angin gunung. Pada siang hari pegunungan lebih dulu mendapat pemanasan dibandingkan lembah. Udara di gunung pada siang hari lebih renggang, maka tekanan udara di gunung menjadi lebih rendah. Rendahnya tekanan udara di gunung menyebabkan udara yang ada di lembah bergerak naik ke gunung sebagai angin lembah.



Gambar 2.2 Proses Terjadinya Angin Gunung dan Angin Lembah

3. Angin Ribut dan Angin Puyuh

Angin ribut atau angin puyuh biasa juga disebut sebagai angin puyuh atau angin kencang yang datang secara tiba-tiba. Angin puyuh memiliki pusat gerak seperti spiral hingga menyentuh bumi dan kemudian hilang dalam waktu cepat 3-5 menit dengan kecepatan rata-rata sekitar 30-40 knots. Angin yang berasal dari awan *comulonimbus* atau awan berwarna abu-abu gelap ini tidak semua dapat menyebabkan angin puting beliung. Puting beliung bisa terjadi dimana saja, didarat maupun dilaut. Tetapi saat terjadi dilaut durasinya akan lebih lama ketimbang didarat. Angin ribut atau angin puyuh biasanya sering terjadi pada siang atau sore hari dan lebih sering terjadi pada peralihan musim (pancaroba).



Gambar 2.3 Terjadinya Angin Puyuh Dari Awan *Cumulonimbus*

4. Angin Musim

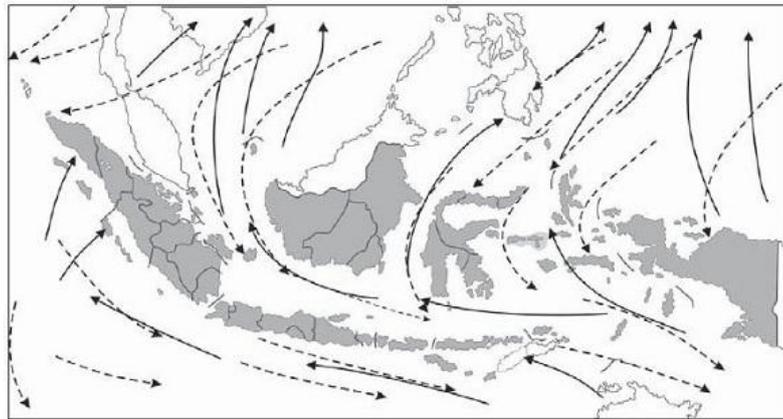
Angin musim atau angin muson dibedakan menjadi dua, yaitu angin musim barat dan angin musim timur. Angin muson barat adalah angin yang mengalir dari Benua Asia (musim dingin) ke Benua Australia (musim panas). Saat terjadinya angin muson barat di Indonesia mengalami musim hujan, karena belahan bumi bagian selatan (Benua Australia) tepat berada di bawah matahari, yang mengakibatkan suhu pada belahan bumi bagian selatan lebih tinggi dibandingkan dengan suhu bumi bagian utara (Benua Asia). Siklus terjadinya angin muson barat antara pada bulan Oktober hingga April. Angin muson timur adalah angin yang mengalir dari Benua Australia (musim dingin) ke Benua Asia (musim panas). Saat itu bumi bagian utara berkedudukan tepat dibawah matahari, yang menyebabkan suhu pada belahan bumi bagian selatan bertekanan rendah sedangkan Benua Asia lebih panas, sehingga tekanannya tinggi. Angin ini menyebabkan Indonesia mengalami musim kemarau. Siklus terjadinya angin muson timur biasanya pada bulan April hingga Oktober.



Gambar 2.4 Angin Musim Barat dan Musim Timur

5. Angin Fohn

Angin fohn adalah angin bersifat kering dan panas yang turun dari lereng pegunungan. Angin ini terjadi karena turunnya kelembaban udara yang mendapatkan pemanasan secara dinamis. Sehingga udara panas dan keringlah yang mengalir ke daratan. Selain angin lokal, angin jenis lainnya merupakan angin yang bertiup pada kawasan yang lebih luas, seperti angin musim.



Gambar 2.5 Proses Terjadinya Angin Fohn

2.3 Potensi Energi Angin

Berdasarkan data dari GWEC, potensi sumber angin dunia diperkirakan sebesar 50.000 TWh/tahun. Total potensial ini dihitung pada daratan dengan kecepatan angin rata-rata diatas 5,1 m/s dan pada ketinggian 10 meter. Data ini setelah direduksi sebesar 10% sebagai toleransi yang dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti kepadatan penduduk dan lain-lain.

2.3.1 Potensi Energi Angin Di Indonesia

Pada dasarnya energi angin terjadi karena ada perbedaan suhu antara udara panas dan udara dingin. Indonesia yang dilewati khatulistiwa merupakan daerah yang panas, maka udara yang panas dan mengembang menjadi ringan sehingga udara tersebut bergerak ke arah kutub yang memiliki suhu lebih dingin. Begitu pula yang terjadi didaerah kutub, udaranya menjadi dingin, padat dan turun ke bawah. Sehingga terjadilah perputaran udara berupa perpindahan dari kutub

utara ke garis khatulistiwa dan sebaliknya. Pada prinsipnya bahwa angin terjadi karena adanya perbedaan suhu udara pada beberapa tempat di muka bumi (A. Kadir UI-Press, 2013, hal. 216-217).

Menurut Kepala Penelitian dan Pengembangan Daerah Jawa Barat “Neni Sri Utami, 2012” Kecepatan angin di Indonesia kurang dari 5,9 per meter detik tapi bukan tidak bisa dimanfaatkan. Pemanfaatan potensi angin seperti ini diharapkan mampu membantu masyarakat untuk menekan dalam hal biaya yang mulai sangat mahal di era globalisasi.

Tabel 2.1 Potensi Energi Angin dan Lokasi Potensi (LAPAN, 2006)

Kelas	Kec. Angin (m/s)	Daya Spesifik (W/m ²)	Kapasitas (kW)	Lokasi (Wilayah)
Skala kecil	2,5-4,0	<75	0-10	Jawa, NTT, NTB, Maluku, Sulawesi
Skala menengah	4,0-5,0	75-100	10-100	NTT, NTB, Sultra
Skala besar	>5,0	>150	>100	Sulsel, NTT, NTB dan pantai selatan pulau Jawa

2.3.2 Kecepatan Angin Rata-Rata

Kecepatan rata-rata angin dapat dihitung menggunakan rumus:

$$\bar{V} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i} \dots\dots\dots (2.1)$$

- V = Kecepatan angin rata-rata (m/s)
- V_i = Kecepatan angin yang terukur (m/s)
- T_i = Lama angin bertiup dengan kecepatan V_i (jam)
- N = Banyaknya data pengukuran

Kecepatan angin rata- rata untuk setiap jam, misal kecepatan angin saat pukul 00.00 hingga 01.00. Dengan mengetahui variasi harian dari kecepatan angin, dapat diketahui saat-saat dimana angin bertiup kencang dalam satu hari, sehingga dapat digunakan untuk menentukan berapa jam dalam sehari semalam

energi angin di daerah tersebut dapat menggunakan penggerak turbin angin. Kecepatan angin disuatu tempat dapat dipengaruhi oleh ketinggian dari tanah, makin dekat dengan permukaan tanah, kecepatan angin makin kecil (Cahya Adijana Nugraha, 2015).

Adapun hubungan antara kecepatan angin disuatu ketinggian dengan kecepatan angin lainnya dinyatakan dengan persamaan:

$$\frac{V}{V_r} = \left[\frac{H}{H_r} \right]^\alpha \dots\dots\dots (2.2)$$

- V = kecepatan angin diketinggian H meter diatas tanah (m/s)
- V_r = kecepatan angin pada ketinggian referensi (m/s)
- H = ketinggian yang kecepatannya akan dihitung (m)
- H_r = ketinggian referensi (m)
- α = kekerasan permukaan, biasanya dipilih 1/7

2.4 Perkembangan Teknologi Turbin Angin

Menurut James Manwell tahun 2009, Pada 200 tahun lalu sebelum masehi bangsa Persia telah menggunakan teknologi kincir angin. Kincir angin sumbu vertikal merupakan kincir angin pertama yang tercatat dalam sejarah, pada abad ke-7 kincir angin ini dibangun pada perbatasan antara Iran, Afganistan dan Pakistan. Bangsa Persia dulunya menggunakan teknologi energi angin untuk menggiling atau menumbuk gandum dan biji-bijian lainnya, dan mereka juga memanfaatkannya untuk memompa air. Perkembangan yang paling maju terjadi di Belanda dimana mulai banyak dikembangkannya bentuk dari kincir angin. Pada tahun 1920 di Amerika, teknologi kincir angin mulai digunakan untuk membangkitkan listrik, dimana kincir angin digunakan untuk membangkitkan listrik yang dikenal dengan nama turbin angin (Syamsul Bahari, 2015).

Turbin angin pertama yang digunakan sebagai pembangkit adalah sebuah kincir angin tradisional yang dibuat oleh Poul La Cour di Denmark lebih dari 100 tahun lalu. Kemudian diawal abad ke-20 mesin eksperimental mulai ada pada turbin angin. Pengembangan selanjutnya baru dilakukan saat terjadinya krisis

minyak di era 1970-an, dimana saat itu pemerintah dari berbagai penjuru mulai berinvestasi dana untuk meriset dan mengembangkan sumber energi alternatif. Awal tahun 1980-an, mulai terlihat pertama dilakukannya pengembangan turbin di California ketika pembangunan ladang pembangkit listrik tenaga angin dengan ratusan turbin berukuran kecil. Sampai akhir dekade tahun 2000 sudah terbangun 15.000 turbin angin dengan total kapasitas pembangkit sebesar 1.500 MW di daerah tersebut (Ackermann & Ser, 2000). Namun waktu yang bersamaan di era 80-an harga minyak dunia makin stabil yang diikuti dengan pemangkasan subsidi pemerintah untuk dana pengembangan turbin angin, sehingga menyebabkan banyak perusahaan turbin angin terpaksa gulung tikar. Tetapi hal ini tidak terjadi di Denmark, karena pemerintah setempat tetap mendukung secara kontinyu serta mengawal pengembangan teknologi turbin angin. Diawal tahun 90-an, banyak perusahaan yang bergerak dalam bidang ini mampu bergerak dengan cepat karena pasar energi angin kembali meningkat, sehingga Denmark sangat berhasil mendominasi pasar sampai saat ini.

Teknologi energi angin bukanlah teknologi yang terbilang baru. Pengetahuan tentang energi angin telah lama digunakan di beberapa negara maju di Eropa. Hingga saat ini sudah banyak konsep desain turbin angin yang terus dikembangkan. Dalam dua dekade belakangan perkembangan teknologi sudah menghasilkan turbin angin yang modular dan lebih mudah saat dipasang. Dibandingkan beberapa tahun yang lalu, saat ini turbin angin modern 100 kali lebih kuat dari sebelumnya. Awal tahun 2004 tercatat jumlah pemasangan turbin angin secara global sudah mencapai hingga 40.300 MW, sehingga jumlah tenaga tersebut dapat memenuhi kebutuhan listrik lebih dari 19 juta rumah tangga menengah yang ada di Eropa atau setara dengan kebutuhan 47 juta penduduk.

Pemanfaatan tenaga angin 15 tahun terakhir semakin tinggi seiring dengan turunnya biaya produksi sekitar 50% yang mampu menyaingi PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) dan mampu menandingi pembangkit lainnya untuk pasokan listriknya. Pada tahun 2005 tercatat peningkatan pesat hingga mencapai 30-50 kW untuk turbin dengan diameter rotor rata-rata 80 meter, bahkan bisa mencapai 5.000 kW untuk diameter rotor rata-rata 115 meter.

2.5 Turbin Angin

James Manwell menyatakan pada tahun 2009 bahwa awalnya turbin angin merupakan alat bantu yang digunakan dalam bidang pertanian. Meski terlihat sederhana, teknologi turbin angin merupakan teknologi sumber daya energi yang paling cepat perkembangannya di dunia. Selain untuk pembangkit listrik, turbin angin juga bisa digunakan dalam mendukung kegiatan pertanian dan perikanan, seperti aerasi tambak ikan, keperluan irigasi, dan sebagainya. (Syamsul Bahari, 2015).

Saat ini turbin angin mulai banyak digunakan untuk mengakomodasikan kebutuhan listrik dengan menggunakan konversi energi dan sumber daya alam yang dapat diperbarui, yaitu angin. Walaupun untuk saat ini pembangunan turbin angin belum mampu untuk menyaingi pembangkit energi konvensional (PLTU, PLTD, dan lain-lain). Turbin angin dikembangkan oleh ilmuwan karena dalam waktu dekat akan terjadi kekurangan sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui seperti batu bara dan minyak bumi sebagai bahan utama pembangkit listrik saat ini. Umumnya sebuah turbin angin hanya dapat menerima daya efektif sebesar 20-30% (Ary Triwibowo, 2013).

2.5.1 Keluaran Daya Turbin Angin

Menurut Djodjodiharjo dan Jans Peter pada tahun 1983, daya angin yang dihasilkan pada suatu wilayah tertentu dipengaruhi oleh jenis dan karakteristik angin di wilayah tersebut dan dari jenis turbin angin yang dipasang, selain itu karakteristik lanskap suatu wilayah juga dapat berpengaruh. Turbin angin yang dipasang harus memperhatikan karakteristik berikut ini:

- a. Kecepatan *cut in*
- b. Kecepatan nominal
- c. Kecepatan *shutdown*

Turbin angin mulai mampu menghasilkan daya listrik dengan kecepatan awal yang ditentukan merupakan kecepatan *cut in*. Turbin angin tidak akan menghasilkan daya listrik jika kecepatan angin tidak dapat mencapai ketentuan nilai kecepatan *cut in* yang dibutuhkan. Suatu nilai kecepatan yang dapat diterima

oleh turbin angin telah melampaui batas dari nilai kecepatan *cut in* adalah kecepatan nominal. Kecepatan *shutdown* merupakan kecepatan angin dimana kecepatan tersebut menjadi lebih besar dari kecepatan nominal yang diterima pada rotor sebuah turbin angin. sehingga mekanisme *shutdown* dilaksanakan guna mencegah terjadinya kerusakan pada turbin angin.

Menurut referensi dari *Wind Energy System*, parameter-parameter yang digunakan untuk menentukan kecepatan turbin angin adalah sebagai berikut:

- a. Kecepatan *cut in* = 0.7 x *V* rata-rata
- b. Kecepatan nominal = 1,5 x *V* rata-rata hingga 2 x *V* rata-rata
- c. Kecepatan *shutdown* = 3 x *V* rata-rata atau lebih

Dengan Perhitungan daya listrik yang dapat dihasilkan oleh sebuah turbin angin adalah:

$$P = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 v^3 \dots\dots\dots (2.3)$$

- ρ = Kerapatan angin
- v = Kecepatan angin rata-rata (m/s)
- R = Radius blade turbin (meter)

2.5.2 Mekanisme Turbin Angin

Untuk menghasilkan listrik ke unit penyalur listrik sebuah sistem PLTB dapat dibuat dengan menggabungkan beberapa turbin angin. Listrik kemudian dialirkan dan didistribusikan ke rumah, kantor, sekolah, industri, dan sebagainya melalui kabel transmisi. Umumnya turbin angin memiliki dua bilah, tetapi terdapat juga turbin yang memiliki tiga bilah. Jika kipas angin membutuhkan listrik untuk menghasilkan energi angin, maka sebaliknya turbin angin digunakan untuk membangkitkan listrik dari energi mekanis angin. Energi angin dapat menggerakkan turbin yang kemudian putaran turbin digunakan untuk memutar generator sehingga dapat menghasilkan listrik.

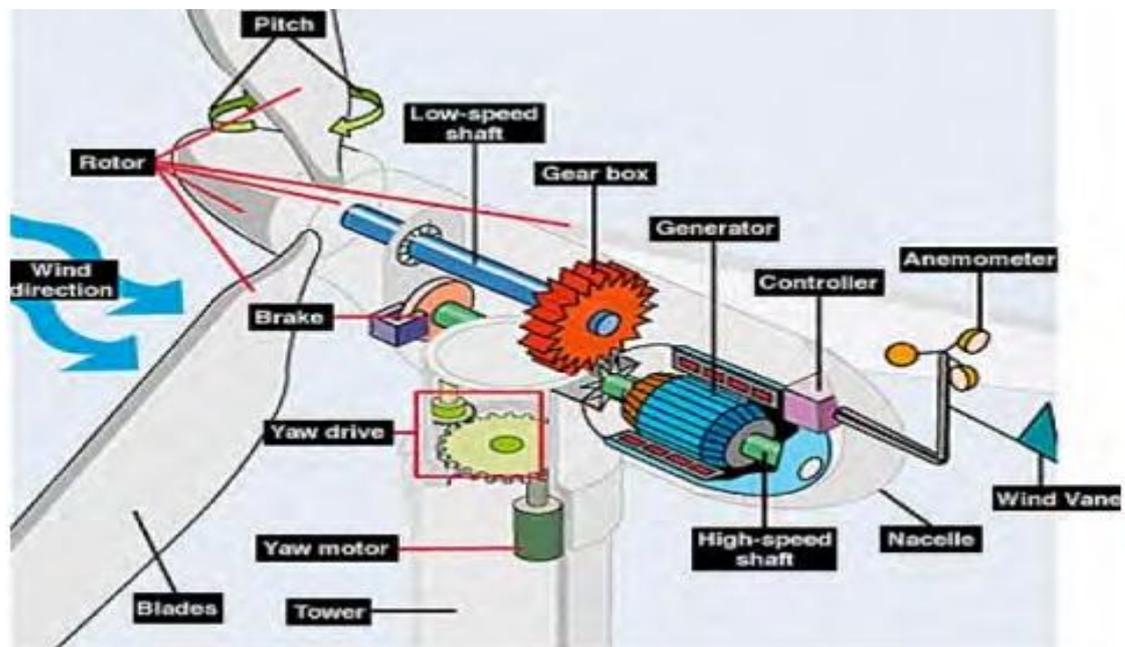
Untuk pemakaian umum turbin angin yang digunakan biasanya berukuran 50-750 kW. Turbin dengan kapasitas 50 kW atau skala kecil biasa digunakan untuk perumahan, piringan parabola atau pompa air. Secara umum turbin angin

sumbu horizontal (propeler) terbagi menjadi *upwind* dan *downwind*. Biasanya jenis turbin angin dengan poros horizontal seperti baling-baling pesawat terbang pada umumnya. Turbin angin ini harus diarahkan sesuai arah angin yang paling tinggi kecepatannya. Sementara turbin angin sumbu vertikal terbagi menjadi menjadi *Darrieus* dan *Savonius* (Fachreza Noor, 2013). Berikut adalah jenis-jenis dari turbin angin:

1. Turbin angin jenis *upwind* memiliki rotor yang menghadap ke arah angin. Keuntungan dari desain ini adalah rotor tidak terkena *wind shade* dari bagian belakang menara. Kerugian dari desain ini adalah rotor menjadi lebih tidak fleksibel dan diletakkan dengan jarak tertentu dari puncak menara. Desain ini juga memerlukan mekanisme *yaw* agar rotor terus menghadap arah angin.
2. Turbin angin jenis *downwind* memiliki rotor yang tidak menghadap arah angin. Keuntungannya adalah desain ini tidak memerlukan mekanisme *yaw*. Rotor juga dapat dibuat lebih fleksibel dan beratnya menjadi lebih ringan secara keseluruhan. Kerugiannya adalah fluktuasi dari energi angin yang terjadi dapat memberikan lebih pada menara.
3. Turbin angin *darrieus* merupakan salah satu sistem konversi energi angin yang digolongkan dalam beberapa jenis turbin angin berporos tegak. Keuntungan dari turbin angin jenis *darrieus* ini tidak memerlukannya mekanisme orientasi pada arah angin seperti turbin angin *propeller*.
4. Turbin angin *Savonius* karakteristik desainnya berbentuk S pada bilah rotornya dan memiliki 2-3 atau lebih cekungan untuk menangkap angin. Desain turbin ini tidak dapat berputar lebih cepat dari kecepatan angin. Keuntungan desain ini memiliki sumbu vertikal yang dapat bekerja secara efektif bahkan ketika arah angin berubah dan bekerja dengan baik pada kecepatan angin rendah atau tidak diperlukan lokasi tinggi untuk meletakkannya. Kerugiannya adalah sistem cekungan pada bilah rotor tidak se-efisien dengan penggunaan bilah rotor konvensional, sehingga menghasilkan energi yang lebih sedikit.

2.5.3 Desain dan Komponen Turbin Angin

Pada sistem pembangkit listrik tenaga angin (PLTB) umumnya terdapat mesin pembangkit listrik serta komponen-komponennya yang mempunyai bagian penting. Terdapat 3 komponen utama pada turbin angin horizontal, yaitu komponen rotor, komponen generator dan komponen *structural*. Gambar 2.6 berikut merupakan gambar desain dan komponen-komponen turbin angin pada umumnya.



Gambar 2.6 Desain dan Komponen Turbin Angin

Untuk mendukung kinerja turbin angin dalam mengkonversikan energi mekanis menjadi energi listrik terdapat beberapa komponen penting didalamnya. Berikut merupakan komponen yang terdapat pada turbin angin dan fungsinya masing-masing berdasarkan gambar 2.6.

1. **Blades** atau bilah, pada turbin bilah berfungsi untuk memberi gerak rotasi dari angin yang bertiup melalui turbin ke generator.
2. **Rotor** adalah hubungan antara turbin dan bilah turbin.
3. **Pitch** berfungsi untuk mengendalikan kecepatan rotor dan mempertahankan rotor dari perubahan arah putaran karena adanya fluktuasi pada kecepatan dan arah angin.

4. **Brake** merupakan cakram yang dapat digunakan secara mekanik, dengan listrik, maupun hidrolis, untuk menghentikan rotor pada keadaan darurat.
5. **High dan low speed shaft** berfungsi untuk mendistribusikan gerakan rotasi dari bilah turbin atau pusat kegiatan baling-baling yang berputar ke *gearbox* dan dari *gearbox* ke dalam generator.
6. **Gearbox** merupakan penghubung shaft antara kecepatan rendah, dengan yang berkecepatan tinggi yang berfungsi sebagai peningkat kecepatan hingga generator dapat menghasilkan daya listrik. *Gearbox* pada turbin angin menggunakan suatu roda gigi dengan sistem perplanetan.
7. **Generator** berfungsi untuk membangkitkan listrik atau mengkonversi kecepatan putar menjadi energi listrik.
8. **Controller** berfungsi untuk menjalankan mesin pada kecepatan tertentu, misal 16mil/jam akan menyala, dan akan mematikan mesin ketika kecepatan melebihi 55mil/jam. Pengontrol poros yang berkomunikasi secara langsung dengan pengontrol agar *nacelle* lebih presisi dalam memonitor aktivasi baling-baling.
9. **Anemometer** merupakan alat pengukur kecepatan angin serta sebagai penyimpan data kecepatan angin ke sistem controller.
10. **Wind vane** memiliki fungsi untuk menentukan arah angin dan memiliki koneksi dengan *yaw drive* untuk menentukan orientasi turbin.
11. **Nacelle** adalah bagian body turbin yang berfungsi untuk melindungi komponen lainnya.
12. **Yaw drive** digunakan untuk mempertahankan posisi rotor agar tetap menghadap mengikuti arah angin. *Yaw drive* memutar baling-baling 90° dibawah angin kencang untuk mengurangi tekanan pada komponen internal dan menghindari kondisi *over speed*
13. **Yaw motor** adalah rotor yang berfungsi guna memberi tenaga pada *yaw drive*.

14. **Tower** atau tiang penyangga merupakan struktur turbin angin horizontal dan struktur utama dari turbin angin yang memiliki fungsi sebagai penopang. Tower terbuat dari baja atau beton untuk menopang keseluruhan komponen turbin angin.

2.6 Software Untuk Energy Planning

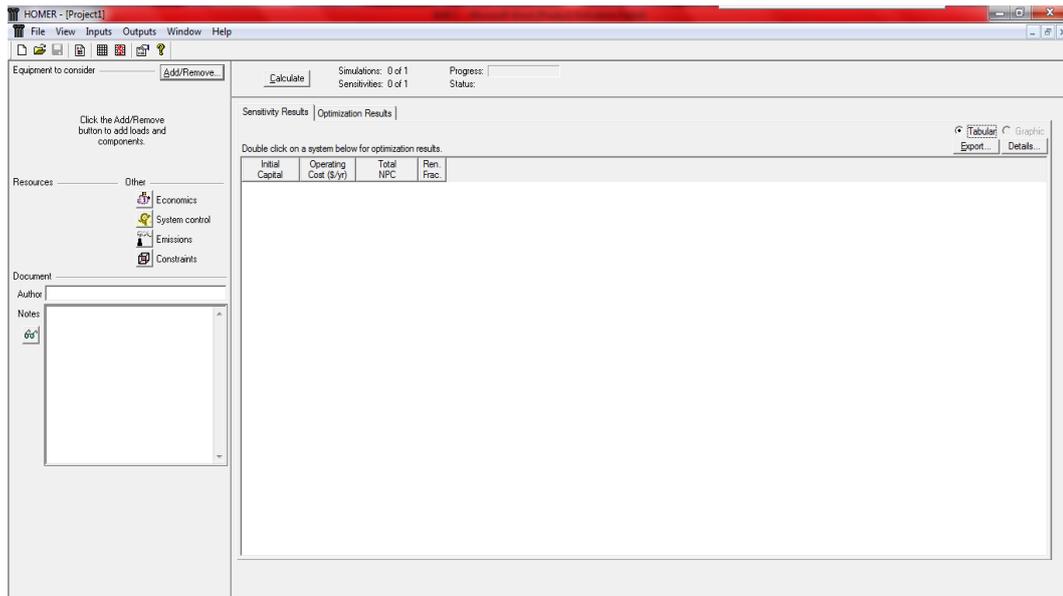
Dalam perencanaan sebuah sistem pembangkit perlu adanya tinjauan dan analisis terhadap energi yang akan digunakan sebagai sumber pembangkit. Ada beberapa metode yang digunakan dalam pengujian potensi energi yang akan dikembangkan, baik penggunaan alat untuk mendeteksi secara langsung atau menggunakan aplikasi (*software*) untuk perhitungan otomatis yang berkaitan dengan hitung-hitungan sesuai dengan rumus yang ada. Pada perencanaan PLTB, anemometer merupakan alat yang sering digunakan untuk mengetahui kecepatan angin dan potensi angin sebagai sumber energi di lokasi tertentu. Ada beberapa aplikasi (*software*) juga yang biasa digunakan untuk mendeteksi dan mendapatkan kecepatan angin di lokasi yang akan dijadikan perencanaan PLTB, seperti HOMER dan LEAP.

2.6.1 HOMER Energy

HOMER adalah singkatan dari *Hybrid Optimization Model For Electric Renewable*. HOMER merupakan salah satu perangkat lunak yang sering digunakan untuk membantu pemodelan dari sebuah sistem pembangkit listrik dengan menggunakan pilihan sumber daya terbarukan. Dalam perangkat lunak ini, kita dapat memperoleh spesifikasi paling optimal dari berbagai sumber daya energi terbarukan yang bisa saja diterapkan. Sistem paling optimal yang disimulasikan merupakan konfigurasi dengan biaya investasi paling kecil atau termurah. Jika analisa sensitivitas diperlukan, HOMER akan mengulangi proses simulasi untuk setiap variabel sensitivitas yang diterapkan.

HOMER akan mensimulasikan sistem pembangkit listrik baik itu sistem *Off-Grid* atau *On-Grid* yang dapat terdiri dari kombinasi panel surya, turbin angin, mikrohidro, biomassa, generator, microturbin, *fuel-cell*, baterai dan

penyimpanan hidrogen. HOMER memberikan pilihan berbagai jenis beban sesuai dengan kebutuhan pengguna. Begitu juga pada pilihan komponen yang akan kita buat. Komponen pembangkit energi yang disediakan HOMER yaitu, *PV, Wind Turbine, Hydro, Converter, Electrolyzer, Hydrogen Tank, Reformer, generator dan system battery.*

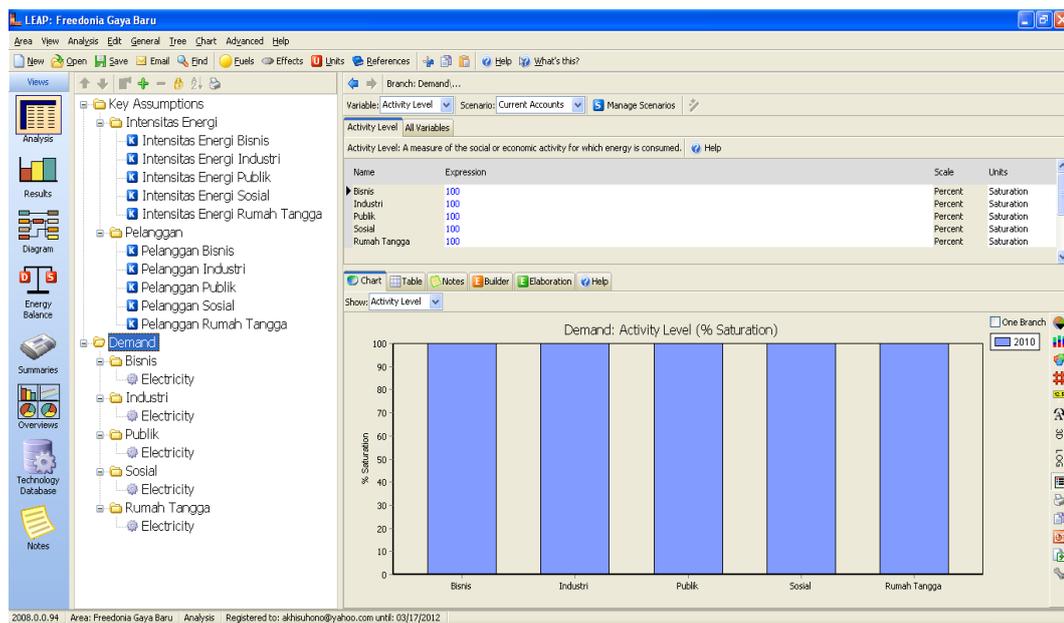


Gambar 2.7 Penampakan Tampilan Dalam Aplikasi HOMER

2.6.2 LEAP

LEAP atau singkatan dari *The Long-range Energy Alternatives Planning* merupakan sebuah perangkat lunak yang dapat digunakan sebagai alat bantu dalam perencanaan atau pemodelan energi lingkungan. LEAP bekerja berdasarkan asumsi skenario yang diinginkan oleh penggunanya. Skenario tersebut didasarkan pada perhitungan dari proses pengkonversian bahan bakar menjadi energi hingga proses energi tersebut dikonsumsi oleh masyarakat. LEAP merupakan model yang mempertimbangkan penggunaan akhir energi, sehingga memiliki kemampuan untuk memasukkan berbagai macam teknologi dalam penggunaan energi. Keunggulan LEAP dibanding perangkat lunak perencanaan atau pemodelan energi lingkungan yang lain adalah tersedianya sistem antarmuka (*interface*) yang menarik dan memberikan kemudahan dalam penggunaannya. Software LEAP juga tersedia secara cuma-cuma (*freeware*) bagi masyarakat negara berkembang.

Dalam perkembangannya, LEAP sudah dapat dianggap sebagai model hybrid yang menggabungkan antara optimasi, simulasi dan accounting. Untuk dapat berfungsi sebagai model hybrid, LEAP beroperasi pada dua tahapan, yaitu relasi dasar accounting sebagai fasilitas *built-in* dan pengguna LEAP dapat menambahkan model simulasi tersebut dari hasil yang diperoleh LEAP. Fasilitas perhitungan optimasi saat ini masih dikembangkan di dalam LEAP.



Gambar 2.8 Penampakan Tampilan Dalam Aplikasi LEAP