

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

A. Tinjauan Pustaka

Keterbatasan energi fosil membuat perlu adanya suatu pemanfaatan sumber daya lain sebagai alternatif energi untuk menunjang pasokan listrik yang semakin banyak digunakan. Berdasarkan topik tugas akhir yang diambil terdapat beberapa referensi penelitian-penelitian yang berkaitan dengan tugas akhir ini, Berikut adalah sebagian contoh penunjang tulisan tugas akhir :

1. Cahya Adijana Nugraha, 2015 *“Analisa Potensi Daya Angin Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) di Pantai Congot, Kulonprogo”* Tugas Akhir, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, menjelaskan tentang analisa pembangkit listrik tenaga bayu memanfaatkan angin pantai congot sebagai energi alternatif penunjang pasokan listrik warga sekitar pantai yang memiliki potensi angin cukup besar.
2. Syamsul Bahari, 2015 *“Analisa Pembangkit Listrik Tenaga Angin di Sekitar Sungai Nibung Kec. Teluk Pakedei Kabupaten Kubu Raya”* Tugas Akhir, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura. Menjelaskan tentang pemanfaatan energi angin sebagai penerangan warga sekitar sungai nibung yang sering kali mengalami kesulitan pasokan listrik PLN.

B. Landasan Teori

1. Proses Terjadinya Angin

Angin merupakan salah satu unsur yang dapat mempengaruhi kondisi cuaca dan iklim. Angin adalah pergerakan udara yang disebabkan adanya perbedaan tekanan udara yang mengakibatkan adanya hembusan atau tiupan disuatu tempat atau daratan. Permukaan bumi senantiasa mengalami pemanasan yang berbeda disetiap tempatnya sehingga kecepatan angin memiliki perbedaan arah dan kecepatannya. Arah angin juga dipengaruhi oleh rotasi bumi, jika bumi tidak berotasi, maka angin akan bergerak di jalur yang lurus dari daerah tekanan tinggi ke tekanan rendah. Arah ini dibelokkan dari jalurnya ke arah lain tepat di belahan bumi utara dan selatan karena bumi berputar pada porosnya (Angga Saputra dkk, 2015).

a. Macam-Macam Angin

Beberapa contoh angin lokal antara lain adalah angin darat, angin laut, dan angin lembah serta angin jatuh

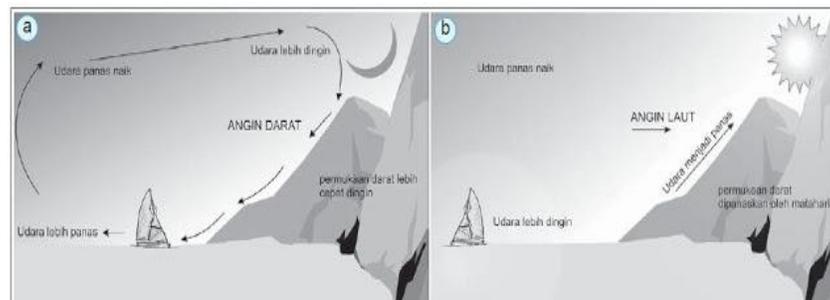
1. Angin Darat dan Angin Laut

Angin darat bertiup dari darat menuju laut sedangkan angin laut bertiup dari laut ke darat. Kedua angin tersebut terjadi karena adanya perbedaan antara daratan dan lautan. Proses terjadinya angin darat dan angin laut:

a). Angin darat terjadi pada malam hari, karena suhu dilaut pada malam sangat tinggi karena air laut dapat menahan panas matahari pada siang hari. udara lebih dingin karena daratan tidak mendapat pemanasan dan

tidak dapat mengikat panas lebih lama dari air. Karena suhu panas tersebut, udara di lautan merenggang sehingga tekanan udara di lautan turun dan menyebabkan udara bergerak dari darat ke lautan.

b). Angin laut terjadi pada siang hari, karena suhu di darat lebih tinggi karena pantulan panas matahari merenggangkan udara di daratan. Karena merenggang, udara di daratan naik sehingga tekanannya turun dan menyebabkan udara bergerak dari lautan ke daratan.



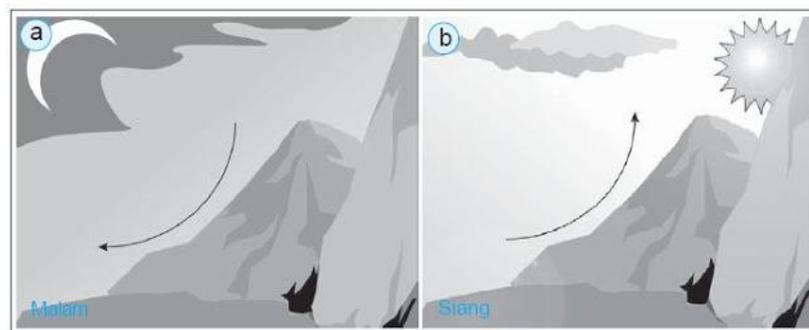
Gambar 2.1 Proses terjadinya angin darat dan angin laut (sumber : <http://assharrefdino.com>)

2. Angin Gunung dan Angin Lembah

Perbedaan pemanasan juga terjadi dikawasan pegunungan dan lembah berikut penjelasannya :

Malam hari pegunungan lebih dulu mendingin sedangkan lembah masih hangat. Udara di lembah pada malam hari lebih renggang, maka tekanan udara di lembah pun menjadi lebih rendah. Rendahnya tekanan udara di lembah menyebabkan udara yang ada di gunung bergerak turun ke lembah

sebagai angin gunung. 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 udara yang ada di lembah bergerak naik ke gunung sebagai angin lembah.



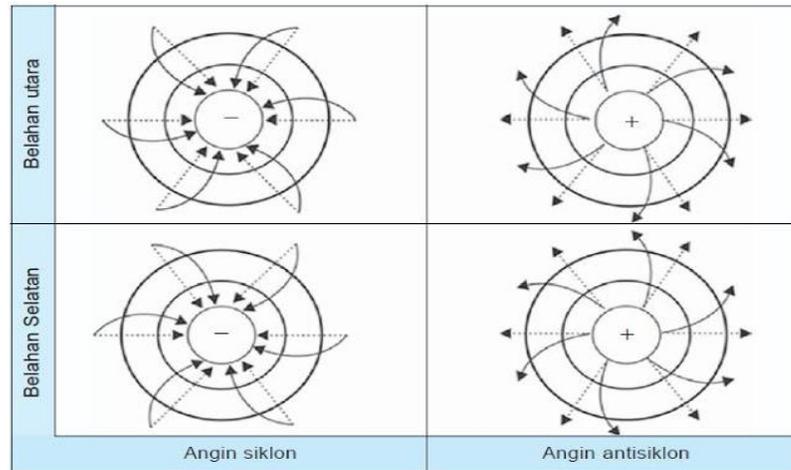
Gambar 2.2 Proses terjadinya angin gunung dan angin lembah (sumber : <http://assharrefdino.com>)

3. Angin Siklon dan Angin Antisiklon

Angin siklon adalah udara yang bergerak dari beberapa daerah bertekanan udara tinggi menuju titik pusat tekanan udara rendah. Gerakan udara ini terlihat berputar dari beberapa daerah bertekanan udara tinggi yang mengelilingi daerah bertekanan udara rendah.

Angin antisiklon bergerak dari suatu daerah sebagai pusat bertekanan udara tinggi menuju daerah bertekanan rendah yang mengelilinginya. Gerakan udara ini terlihat berputar terbagi kedaerah yang lebih rendah.

Belahan bumi selatan dan utara memiliki perbedaan angin siklon dan angin antisiklonnya.



Gambar 2.3 Proses terjadinya angin siklon dan angin antisiklon (sumber :

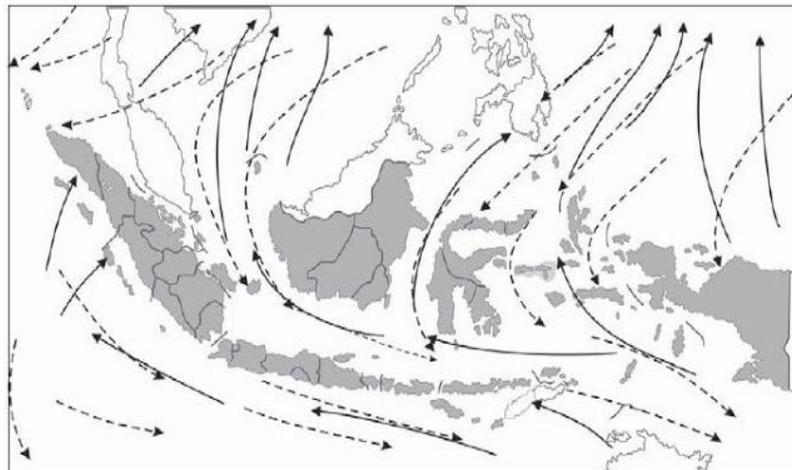
<http://assharrefdino.com>)

4. Angin Fohn

Angin yang turun di lereng pegunungan, bersifat kering dan panas dinamakan angin *fohn*. Angin fohn terjadi karena udara yang turun mendapatkan pemanasan secara dinamis yang diikuti turunnya kelembapan nisbi. Akibatnya udara yang mencapai daratan berupa udara panas dan kering. Angin fohn di setiap daerah memiliki nama yang berbeda-beda. Di Probolinggo dan Pasuruan Jawa Timur dikenal dengan nama angin *gending*. Daerah Tegal, Brebes, dan Cirebon angin fohn dikenal dengan nama angin *kumbang*. Angin brubu dikenal di daerah Makassar, sedangkan di Papua dikenal dengan nama angin wambrau. Adapun di daerah Deli, angin fohn

disebut dengan angin bahorok, yang sering menyebabkan terjadinya kerusakan pada tanaman tembakau. Selain angin lokal, terdapat angin yang bertiup dalam suatu kawasan yang lebih luas, yaitu angin monsun atau angin musim atau angin muson.

Angin monsun yang terjadi di Indonesia ada dua, yaitu monsun barat dan monsun timur. Angin monsun ini disebabkan adanya perbedaan tekanan udara dua benua yang mengapit kepulauan Indonesia, yaitu Benua Asia yang kaya perairan dan Australia yang kering.



Gambar 2.4 Proses terjadinya angin fohn (sumber : <http://assharrefdino.com>)

5. Angin Munson Barat

Angin monsun barat terjadi pada bulan Oktober-April. Bulan-bulan itu kedudukan matahari berada di belahan bumi selatan, akibatnya belahan bumi selatan suhunya lebih tinggi dari pada belahan bumi utara dan angin bertiup dari belahan bumi utara ke belahan bumi selatan

6. Angin Munson Timur

Angin monsoon timur terjadi pada bulan April-Oktober. Saat itu kedudukan matahari berada di belahan bumi utara. Menyebabkan benua Australia mengalami musim dingin sehingga bertekanan tinggi. Sedangkan benua Asia lebih panas, sehingga tekanannya rendah.

7. Syarat Kecepatan Angin

Syarat dan kondisi angin yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik dengan kincir angin sebagai berikut :

Tabel 2.1 Tingkatan kecepatan angin 10 meter di atas permukaan tanah

Kelas	Kecepatan	Kondisi Alam di Daratan
1	0.00 – 0.02	
2	0.3 – 1.5	Angin tenang, asap lurus ke atas
3	1.6 – 3.3	Asap bergerak mengikuti arah angin
4	3.4 – 5.4	Wajah terasa ada angin, daun-daun bergoyang pelan, petunjuk arah angin bergerak
5	5.5 – 7.9	Debu jalan, kertas beterbangan, ranting pohon Bergoyang
6	8.0 – 10.7	Ranting pohon bergoyang, bendera berkibar
7	10.8 – 13.8	Ranting pohon besar bergoyang, air kolam berombak kecil

(Lanjutan) Tabel 2.1 Tingkatan kecepatan angin 10 meter di atas permukaan tanah

8	13.9 – 17.1	Ujung pohon melengkung, hembusan angin terasa di telinga
9	17.2 – 20.7	Dapat mematahkan ranting pohon, jalan berat melawan arah angin
10	20.8 – 24.4	Dapat mematahkan ranting pohon, rumah rubu
11	24.5 – 28.4	Dapat merubuhkan pohon, menimbulkan kerusakan
12	28.5 – 32.6	Menimbulkan kerusakan parah

(Sumber: www.kincirangin.info)

C. Potensi Energi Angin

Indonesia adalah suatu negara yang dikarunia potensi alam yang begitu besar, salah satunya angin. Potensi angin yang dapat dimanfaatkan menjadi sumber energi, mempunyai kecepatan diatas 5 m/detik dan itu berada pada 120 lokasi dan tersebar di wilayah Nusa Tenggara Timur, Nusa Tenggara Barat, Sulawesi Selatan, dan Pantai Selatan Jawa (Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional, 2006).

Menurut Kepala Penelitian dan Pengembangan Daerah Jawa Barat “*Neni Sri Utami, 2012*” Kecepatan angin diindonesia kurang dari 5,9 per meter detik tapi bukan tidak bisa dimanfaatkan. Indramayu memiliki 40 kincir angin yang berdiri di beberapa kota/ kabupaten, dengan kecepatan angin yang hanya 3 meter per detik dapat memompa air 2,7 meter kubik perjamnya dan hanya memerlukan biaya 500 ribu

untuk biaya perawatan setiap tahunnya. Pemanfaatan potensi angin seperti ini yang diharapkan mampu membantu masyarakat untuk menekan biaya perawatan yang mulai sangat mahal di era globalisasi.

Peranan pemerintah juga sangat dibutuhkan untuk mendukung adanya suatu energi terbarukan di wilayah yang memiliki potensi tinggi seperti potensi angin. Di Desa salah satu tempat yang memiliki potensi angin, dengan letak dipinggir pantai kawasan ini memiliki potensi angin yang cukup bagus untuk menggerakkan turbin angin. Kesulitan pasokan listrik menjadi kendala bagi kalangan usaha mikro disana, sehingga saya ingin menganalisa potensi angin untuk membantu usaha mikro sehingga dapat menekan biaya yang dikeluarkan untuk produksi.

Tabel 2.2 Potensi Angin

Kelas	Kec. Angin (m/s)	Daya Spesifik (W/m ²)	Kapasitas (kW)	Lokasi (Wilayah)
Skala Kecil	2,5 – 4,0	<75	s/d 10	Jawa,NTB,NTT, Maluku,Sulawesi
Skala Menengah	4,0 -5,0	75 – 100	10 – 100	NTB,NTT,Sultra
Skala Besar	>5,0	>150	>100	Sulsel,NTB,dan NTT, Pantai Selatan Jawa

(Sumber : LAPAN, 2006)

Energi kinetik yang dihasilkan sekumpulan udara dengan massa m , dengan kecepatan v dengan arah x adalah :

$$U = 1/2mv^2 = 1/2(\rho Ax)v^2 \text{ Joule}$$

seperti terlihat pada rumus dibawah, daya yang dihasilkan angin, P_w , adalah turunan energi kinetic terhadap waktu:

$$P_w = \pi r^2 \frac{dU}{dt} = 1/2 \rho A v^2 \frac{dx}{dt} = 1/2 \rho A v^3$$

Rumus kecepatan udara ρ diperoleh

$$\rho = 3,485 P/T \quad \text{kg/m}^3$$

Dimana :

p = tekanan dalam kPa

T = temperature (Kelvin)

Daya yang dibangkitkan angin menjadi :

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A v^3 = \frac{1,72 p A v^3}{T}$$

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

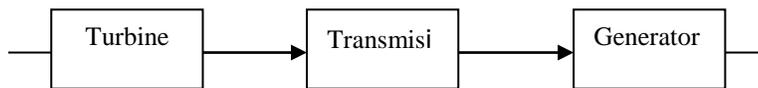
$$P_w = 0,647 A v^3 \text{ Watt}$$

Mula – mula daya angin P_w daya melewati turbin sehingga diperoleh daya mekanik P_m dengan kecepatan sudut ω_m dan daya disuplai ke transmisi. Daya output transmisi P_t , merupakan perkalian daya output P_m dan Efisiensi transmisi.

Daya output mekanik P_m aktual dapat ditulis :

$$P_m = C_p(1/2\rho A^3) = C_p p \quad \text{watt}$$

C_p adalah koefisien performance turbin yang nilainya tidak konstan C_p dipengaruhi kecepatan angin, kecepatan putaran turbin, dan parameter sudu turbin.



Gambar 2.5 Proses sistem kelistrikan tenaga angin (<https://id.wikipedia.org>)

Daya output generator P_e adalah perkalian daya output transmisi dan efisiensi generator η_m

$$P_e = \eta_g P_t \quad \text{watt}$$

Formulasi kecepatan angin

Langkah awal menghitung energi angin adalah mengetahui kecepatan angin rata-rata. Kecepatan angin dapat dihitung:

$$\bar{V} = \frac{\sum_{i=1}^n v_i \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}$$

\bar{V} = kecepatan angin rata rata (m/s)

V_i = kecepatan angin terukur (m/s)

t_i = waktu angin dengan satuan V_i

n = banyak data pengukuran

Kecepatan angin rata-rata untuk tiap satu jam, misalnya kecepatan angin rata-rata untuk jam 0.00 sampai jam 1.0, kecepatan angin ini menggunakan variasi

kecepatan harian. 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 terhadap tanah, makin dekat dengan permukaan tanah. Kecepatan angin di suatu tempat dipengaruhi oleh ketinggian terhadap 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 :

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

Dimana :

V = Kecepatan angin diketinggian H meter di atas tanah (m/s)

V_1 = Kecepatan angin pada ketinggian referensi (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

D. Perkembangan Teknologi Turbin Angin

Teknologi tenaga angin, sumber energi paling cepat berkembang di dunia, sepiantas terlihat sederhana. Selain untuk pembangkitan listrik, turbin angin sangat cocok untuk mendukung kegiatan pertanian dan perikanan, seperti untuk keperluan irigasi, aerasi tambak ikan, dan sebagainya. Tenaga ditransfer melalui baling-baling kadang dioperasikan pada variable kecepatan, lalu ke generator dan menghasilkan energi listrik untuk digunakan (Syamsul Bahari, 2015).

Perkembangan teknologi dalam dua dekade terakhir menghasilkan turbin angin yang modular dan mudah dipasang. Saat ini sebuah turbin angin modern 100 kali lebih kuat dibanding beberapa tahun yang lalu. Pada awal tahun 2004, pemasangan tenaga angin secara global telah mencapai 40.300 MW sehingga tenaga yang dihasilkan cukup untuk memenuhi kebutuhan sekitar 19 juta rumah tangga menengah di Eropa yang berarti sama dengan mendekati 47 juta orang. Dalam 15 tahun terakhir ini, pemanfaatan tenaga angin semakin tinggi seiring dengan turunnya biaya produksi 50% mampu menyaingi PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) dan mampu menandingi pembangkit lainnya untuk pasokan listriknya Sejarah Penggunaan Energi Angin.

Teknologi energi angin sebenarnya bukan merupakan teknologi baru, pengetahuan mengenai energi angin telah lama digunakan. Bangsa Mesir kuno telah mengenal teknologi energi angin, mereka memanfaatkannya untuk menggiling gandum. Proses yang terjadi dalam penggilingan gandum cukup sederhana, mulanya gandum digiling menggunakan tenaga hewan seperti sapi atau keledai yang berjalan

berputar mengelilingi suatu poros vertikal, hewan tersebut mendorong suatu batang kayu yang terhubung pada poros, yang di bawahnya terdapat sebuah batu berbentuk silinder yang ikut berputar, batu tersebut digunakan untuk menggiling gandum.

Tenaga putaran kincir anginlah yang menggantikan tenaga hewan tersebut. Penggunaan teknologi energi angin juga ditemukan di Persia (Iran), mereka menggunakannya untuk menggiling/menumbuk gandum dan biji-bijian lainnya, mereka juga memanfaatkannya untuk memompa air. Perkembangan paling maju terjadi di Belanda dimana mulai banyak dikembangkan beragam bentuk dari kincir angin, oleh sebab itu pula belanda dijuluki negeri kincir angin. Teknologi kincir angin terus berlanjut hingga tahun 1920 di Amerika, di mana kincir tersebut mulai digunakan untuk membangkitkan listrik. Kincir angin yang digunakan untuk membangkitkan energi listrik biasanya disebut dengan turbin angin. Hingga pada tahun 1970 terjadi kenaikan harga minyak yang membuat energi terbarukan mulai banyak diminati.

1. Pengembangan Efisiensi Turbin Angin

Pengembangan efisiensi turbin angin dengan menyempurnakan beberapa aspek dibawah ini (Ary triwibowo, 2013) :

a. Baling-Baling

Baling-baling berukuran panjang bisa menangkap atau mengumpulkan lebih banyak energi dibandingkan dengan yang berukuran pendek. Kelemahannya adalah baling-baling panjang cenderung lebih berat dan lebih

mudah rusak. Fokus penelitian adalah untuk tetap mempertahankan ukuran panjang, kekuatan, ketebalan, tapi dengan berat/bobot lebih ringan.

b. Kontrol

Jika angin semakin kencang, semakin besar pula energi yang dihasilkan. Memang benar tapi tidak semudah itu. Karena baling-baling direncanakan akan berbobot ringan, angin kencang bisa dengan cepat menghancurkannya. Jika tidak ada mekanisme rem atau penurunan kecepatan baling-baling, angin bisa merusak konstruksi baling-baling, bahkan menerbangkannya dengan mudah. Rem merupakan faktor penting dalam pengendalian kecepatan putaran baling-baling itu yang masih terus dipelajari.

2. Manfaat Angin sebagai Energi Alternatif

Di kawasan pesisir di Indonesia, selain digunakan untuk pembangkit tenaga listrik, energi angin juga digunakan sebagai penggerak baling-baling untuk penggerak pompa air. Pompa air ini digunakan para nelayan untuk membudidayakan beberapa komoditas air, seperti ikan kerapu, mutiara dan lainnya. Manfaat angin sebagai energi alternatif juga dapat dirasakan di bidang pertanian. Terbukti pada beberapa kawasan pertanian telah menggunakan energi angin untuk sistem pengairan atau irigasi sawah, sehingga dapat memangkas biaya untuk irigasi. Pemanfaatan energi angin sangat dianjurkan karena energi ini tersedia langsung oleh alam dan tidak dapat habis selama masih ada matahari, air dan udara di bumi. Lalu,

pemanfaatan dari ketersediaan energi angin ini bisa ditemui dimana saja. Sehingga, jika masyarakat mampu memperdayakan energi angin di setiap daerahnya, maka masing-masing daerahnya dapat mendapatkan energi terbarukan untuk kebutuhan sehari-harinya.

E. Mekanisme Turbin Angin

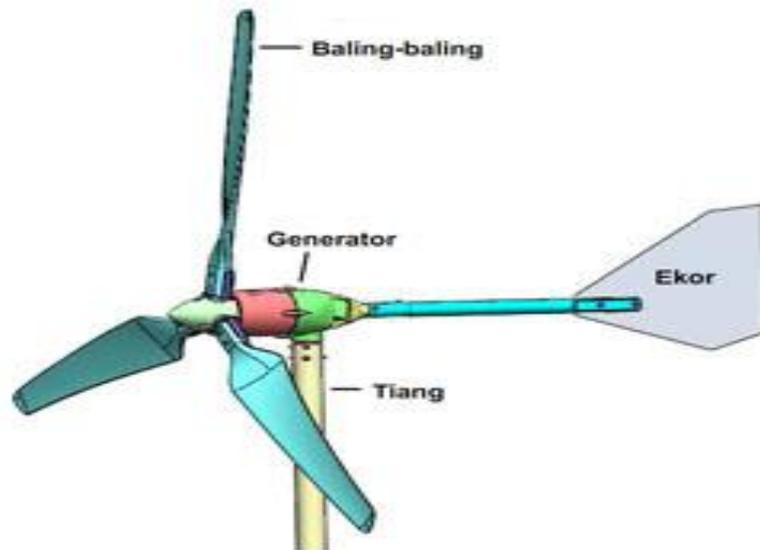
Sebuah pembangkit listrik tenaga angin dapat dibuat dengan menggabungkan beberapa turbin angin sehingga menghasilkan listrik ke unit penyalur listrik. Listrik dialirkan melalui kabel transmisi dan didistribusikan ke rumah-rumah, kantor, sekolah, dan sebagainya. Turbin angin adalah kincir angin yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Turbin angin ini pada awalnya dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi, dll. Turbin angin terdahulu banyak dibangun di Denmark, Belanda, dan negara-negara Eropa lainnya. Angin akan memutar sebuah poros yang dihubungkan dengan generator, lalu menghasilkan listrik

Turbin untuk pemakaian umum berukuran 50-750 kW. Sebuah turbin kecil kapasitas 50kilowatt biasanya digunakan untuk perumahan dan pemompa air. Khusus untuk turbin dengan kapasitas kecil di hindarkan dari pemakaian *gearbox* karena *gearbox* bisa menyebabkan bertambah beratnya turbin sehingga untuk mengubah arah turbin di butuhkan angin yang kencang untuk menerpa ekor yang berfungsi untuk mengarahkan arah turbin ke angin. Selain itu brake juga di hindari karena untuk turbin kapasitas kecil rata-rata di gunakan untuk kecepatan angin yang rendah, jadi

ketika di tambah dengan komponen brake yang memiliki gaya gesekan di brake meskipun dalam keadaan tidak mengerem gaya gesekan tersebut tetap ada, hal ini mengakibatkan putaran turbin semakin berat, Berikut ini adalah jenis turbin angin :

- a. Turbin angin propeller adalah jenis turbin angin dengan poros horizontal seperti baling pesawat terbang pada umumnya. Turbin angin ini harus diarahkan sesuai dengan arah angin yang paling tinggi kecepatannya.
- b. Turbin angin Darrieus merupakan suatu sistem konversi energi angin yang digolongkan dalam jenis turbin angin berporos tegak. Turbin angin ini pertama kali ditemukan oleh GJM Darrieus tahun 1920.

Kini turbin angin lebih banyak digunakan untuk mengakomodasi kebutuhan listrik masyarakat, dengan menggunakan prinsip konversi energi dan menggunakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui yaitu angin. Walaupun sampai saat ini pembangunan turbin angin masih belum dapat menyaingi pembangkit listrik konvensional (Contoh: PLTD, PLTU, dll), turbin angin masih lebih dikembangkan oleh para ilmuwan karena dalam waktu dekat manusia akan dihadapkan dengan masalah kekurangan sumber daya alam tak terbaharui (Contoh : batubara, minyak bumi) sebagai bahan dasar untuk membangkitkan listrik. Berikut ini merupakan komponen dari turbin angin :



Gambar 2.6 Komponen turbin angin (Sumber : mit.ilearning.me)

1. Sudu

Sudu adalah bagian rotor dari turbin angin. Rotor ini menerima energi kinetik dari angin dan dirubah ke dalam energi gerak putar. menggunakan prinsip-prinsip aerodinamika seperti halnya pesawat. Pada prinsipnya gaya-gaya angin yang bekerja pada sudu-sudu kincir sumbu horizontal terdiri atas tiga komponen yaitu:

- a. Gaya aksial(a), yang mempunyai arah sama dengan angin, gaya ini harus ditampung oleh poros dan bantalan
- b. Gaya sentrifugal (s), yang meninggalkan titik tengah. Bila kipas bentuknya simetris, semua gaya sentrifugal s akan saling meniadakan atau resultannya sama dengan nol

- c. Gaya tangensial(t), yang menghasilkan momen, bekerja tegak lurus pada radius dan yang merupakan gaya produktif. Energi kinetik angin diperoleh berdasarkan energi kinetik sebuah benda dengan massa m , kecepatan v .

2. Tower

Tower atau tiang penyangga adalah bagian struktur dari turbin angin horizontal yang memiliki fungsi sebagai struktur utama penopang dari komponen sistem terangkai sudu, poros, dan generator. Bahann tower terbuat dari baja atau beton yang harus kuat untuk menopang kincir angin baik kincir angin besar dan kecil.

3. Ekor

Ekor pada wind turbin berguna untuk mengubah posisi generator dan turbin agar sesuai dengan arah datangnya angin, ekor juga bisa berfungsi untuk melakukan furling atau penggulangan yang berfungsi untuk melambatkan putaran turbin saat terjadi angin yang memiliki batas kecepatan putaran dengan cara menekuk ekor agar arah angin tidak mendarat pada bagian samping turbin hal ini menyebabkan turbin berputar pelan kalena arah angin tidak pas di tengah turbin.

4. Generator

Generator adalah salah satu komponen terpenting dalam pembuatan sistem turbin angin. Generator ini dapat mengubah energi gerak menjadi energi listrik. Prinsip kerjanya dapat dipelajari dengan menggunakan teori medan elektromagnetik. Singkatnya, (mengacu pada salah satu cara kerja generator) poros pada generator dipasang dengan material *ferromagnetic* permanen. Setelah itu di sekeliling poros terdapat stator yang bentuk fisiknya adalah kumparan-kumparan kawat yang membentuk *loop*. Ketika poros generator mulai berputar maka akan terjadi perubahan *fluks* pada stator yang akhirnya karena terjadi perubahan *fluks* ini akan dihasilkan tegangan dan arus listrik tertentu.

Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan ini disalurkan melalui kabel jaringan listrik untuk akhirnya digunakan oleh masyarakat. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh generator ini berupa AC (*alternating current*) yang memiliki bentuk gelombang kurang lebih sinusoidal.

5. Baterai

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

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

Penyimpanan energi ini di akomodasi dengan menggunakan alat penyimpan energi. Contoh sederhana yang dapat dijadikan referensi sebagai alat penyimpan energi listrik adalah aki mobil. Aki mobil memiliki kapasitas penyimpanan energi yang cukup besar. Aki 12 volt, 65 Ah dapat dipakai untuk mencatu rumah tangga (kurang lebih) selama 0.5 jam pada daya 780 watt. Kendala dalam menggunakan alat ini adalah alat ini memerlukan catu daya DC (*Direct Current*) untuk meng-charge/mengisi energi, sedangkan dari generator dihasilkan catu daya AC (*Alternating Current*). Oleh karena itu diperlukan rectifier-inverter untuk mengakomodasi keperluan ini.

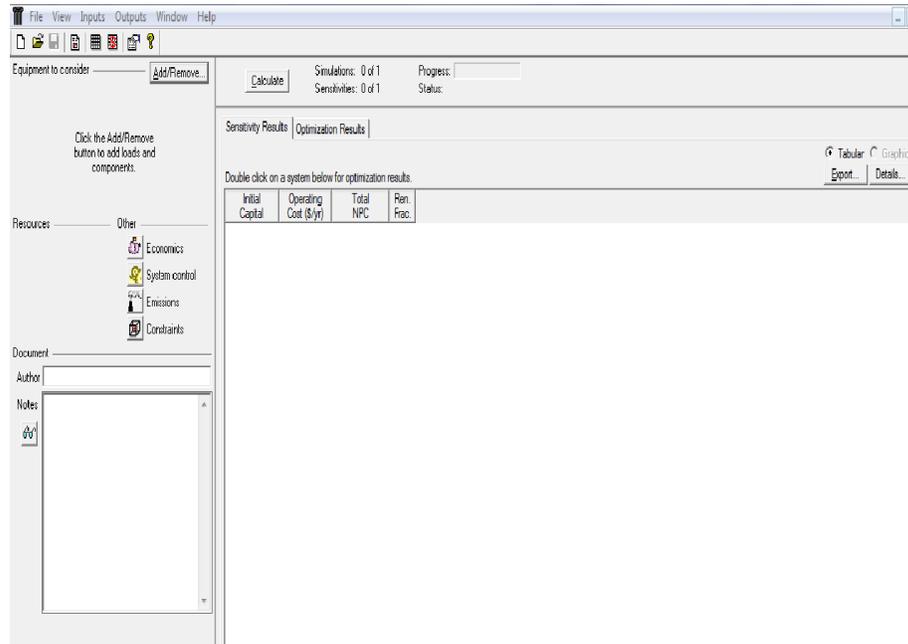
F. HOMER Energy

HOMER adalah perangkat lunak yang digunakan untuk membantu permodelan dari sebuah sistem tenaga listrik dengan menggunakan berbagai pilihan sumber daya terbarukan. Dengan HOMER, dapat diperoleh spesifikasi paling optimal dari sumber energi yang mungkin diterapkan. HOMER adalah singkatan dari *the hybrid optimisation model for electric renewables*, merupakan perangkat lunak yang

digunakan untuk membantu pemodelan dari sebuah sistem tenaga listrik dengan menggunakan berbagai pilihan sumber daya terbarukan dan salah satu *tool populer* untuk desain sistem PLH (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*, *fuel-cell*, baterai, dan penyimpanan hidrogen, melayani beban listrik maupun termal. Dengan HOMER, dapat diperoleh spesifikasi paling optimal dari sumber-sumber energi yang mungkin diterapkan.

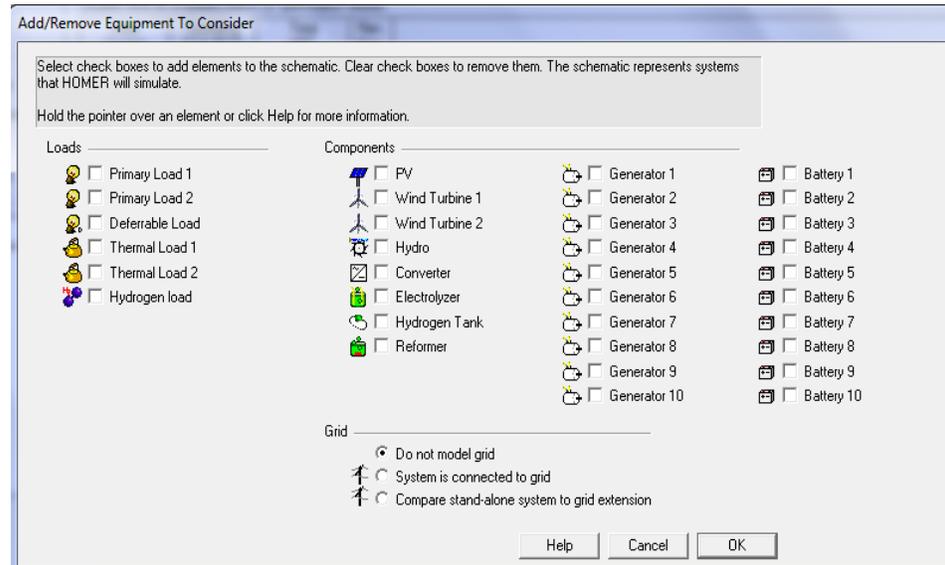
1. Tampilan Awal Homer

Tampilan perangkat lunak HOMER bisa dilihat dibawah ini. Perancang dapat menyusun sistem pembangkit dari berbagai jenis sumber daya, baik sumber daya konvensional maupun yang terbarukan. Proses simulasi pada HOMER dilakukan untuk mengetahui karakteristik atau performansi dari suatu sistem pembangkit.



Gambar 2.7 Tampilan awal HOMER

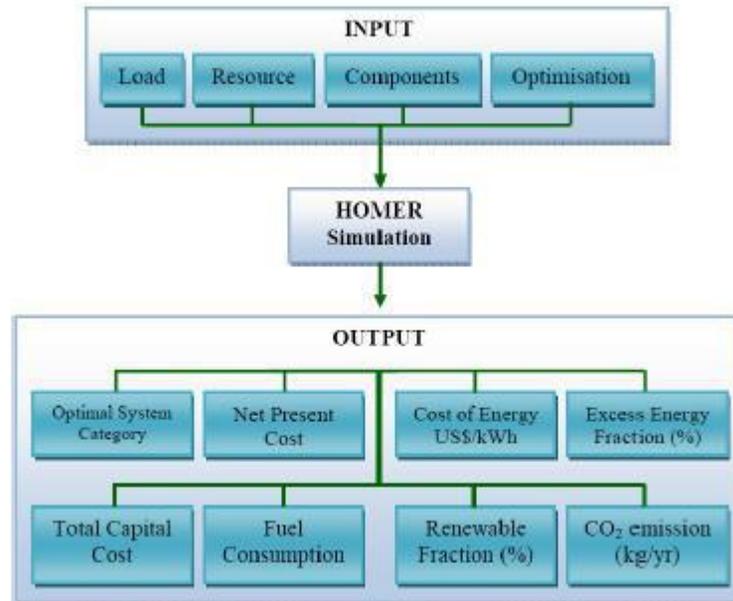
Setelah kita membuka program Homer, maka yang harus kita lakukan adalah memberikan atau menambahkan masukkan *device* pada *system hybrid* yang akan kita buat. Disini, yang harus kita masukkan adalah jenis beban yang akan ditopang dari sistem kita. Homer memberikan pilihan berbagai jenis beban sesuai 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*. Disini juga ada pilihan untuk menyalurkan pembangkit dengan grid PLN atau tidak.



Gambar 2.8 Pemilihan beban dan komponen lainnya pada HOMER.

Setelah menentukan tipe beban dan komponen pembangkit, maka hal yang selanjutnya dilakukan adalah memasukkan data beban tiap jamnya. Disini ada pilihan beban yang kita buat, tipe DC dan AC. Selanjutnya simulasi dari variasi beban tiap waktunya dapat kita simulasikan dengan memasukkan presentase pada *random variability*. Data beban yang telah kita inputkan secara otomatis akan langsung dihitung oleh Homer dan menghasilkan data rata-rata pemakaian, data beban puncak dan load faktor beban

2. Konfigurasi HOMER



Gambar 2.9 Bagian utama arsitektur HOMER.

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