BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Hasnawiyan hasan, Universitas Hasanudin (2012)melakukan analisis teknik dan ekonomis system pembangkit listrik tenaga surya dipulau saugi,makasar,sulawesi selatan .Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa kebutuhan daya 2.600 watt hour dan di butuhkan 6 panel surya, kebutuhan batre dengan pertimbangan dapat melayani kebutuhan 3 hari tampa sinar matahari membutuhkan 13 baterai 100 Ah. Menurut Hasnawiya hasan, teknologi PV adalah teknologi yang memanfaatkan energi surya untuk dikonversikan ke energi listrik dengan menggunakan peralatan yang terbentuk dari bahan semikonduktor (umumnya silikon), Instalasi teknologi PV terhitung mudah dan efisien, walaupun membutuhkan investasi awal yang tinggi, disebabkan bahannya masih didatangkan dari luar negeri. Namun apabila dihitung untuk pemakaian jangka panjang maka teknologi PV merupakan teknologi yang lebih murah dibandingkan dengan pemakaian generator.

M.Najib habibie,Achmad Sasmito, Roni kurniawan (2011) melakuan Penelitian tentang penentuan daerah-daerah yang memiliki potensi sumber energi angin di wilayah Sulawesi (Toli-toli, Kayuwatu, Majene, Makassar,Gorontalo, Kendari, Naha) dan Maluku (Tual, Saumlaki, Bandanaeira, Ambon, Ternate) dengan menggunakan data arah dan kecepatan angin harian periode tahun 2003-2008. Dari hasil kajian dapat direkomendasikan 4 (empat) lokasi yang potensial untuk pembangunan pembangkit listrik tenaga angin yaitu di Tual, Naha, Saumlaki, dan Bandaneira dengan potensi energi angin yaitu berkisar antara 3455,8 s/d11861,4 watt day/tahun. Dari keempat lokasi tersebut, Tual merupakan lokasi yang paling berpotensi untuk pembangunan pembangkit listrik tenaga angin.

Ditto Adi Permana,Unggul Wibawa,Teguh Utomo(2013) melakukan analisis dengan menggunakan softwore Homer yang berlokasi di pulau karimun jawa sehingga Didapat konfigurasi PLTHybrid dengan penggabungan tipe cycle

charge/battery storage dengan satu buah generator diesel 400 kW dan 72 turbin angin 800 W dengan melakukan pembagian suplai daya dan pola operasi generator guna mengurangi pemakaian BBM. Besar nilai Net Present Cost (NPC) yang menurun sebesar 56,91% dari PLTD existing. Tetapi konfigurasi ini memiliki Capital Cost sebesar $3563 serta dalam pengadaan komponen PLTHybrid dan biaya perawatan sebesar $213.326 per tahunnya. Konfigurasi ini pun juga dapat mengurangi pemakaian BBM sebesar 67,69 % dari PLTD existing. Didapat konfigurasi PLTHybrid dengan penggabungan tipe cycle charge/battery storage dengan satu buah generator diesel 400 kW dan 72 turbin angin 800 W dengan melakukan pembagian suplai daya dan pola operasi generator guna mengurangi pemakaian BBM. Besar nilai Net Present Cost (NPC) yang menurun sebesar 56,91% dari PLTD existing. Tetapi konfigurasi ini memiliki Capital Cost sebesar $3563 serta dalam pengadaan komponen PLTHybrid dan biaya perawatan sebesar $213.326 per tahunnya. Konfigurasi ini pun juga dapat mengurangi pemakaian BBM sebesar 67,69 % dari PLTD existing.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Propil Pulau Panjang

PULAU Panjang adalah satu-satunya pulau yang berpenghuni di Kabupaten Pasaman barat ,sumatra barat,indonesia Pulau yang memiliki luas 128,62 hektare dengan penduduk sebanyak 981 jiwa ini, merupakan salah satu jorong di Nagari Airbangis, Kecamatan Sungaiberemas, Pasaman barat ,sumatra barat . Sebelah barat pulau ini berbatasan dengan Pulau Tamiang, sebelah timur dengan perairan Teluk Airbangis, sebelah utara dengan Pulau Harimau dan sebelah selatan dengan Pulau Pigago, Pulau Panjang ini harus menempuh jalan darat sejauh 90 kilometer dari Simpang empat, ibu kota Pasaman barat,sumatra barat. Kemudian jalur laut melalui Teluk Airbangis. Jaraknya 7,2 km.(Pasaman barat.com)

2.3 Potensi Energi Terbarukan di Indonesia

Indonesia memiliki Potensi Energi Baru Terbarukan (EBT) yang cukup seperti yang terlihat pada Tabel 2.1. Saat ini pengembangan EBT mengacu kepada Perpres No. 5 tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional. Langkah yang diambil pemerintah adalah meningkatkan kapasitas pembangkit listrik menggunakan sumber energi terbarukan (ESDM, 2011)

Tabel 2.1 Potensi dan pemanfaatan energi terbarukan di Indonesia

Jenis EBT	Potensi		Pemanfaatan		Target Kementrian ESDM	
	Jumlah	Tahun	Jumlah	Tahun	Pemanfaatan	Tahun
AIR(PLTA)	75.000 MW	2009	5.711,29MW	2010	10.490 MW	2025
Panas Bumi	29.177 MW	2011	1.226 MW	2011	12,332MW	2025
Surya	4,8Kwh/m2/hari	2009	13,5 MW	2010	870 MW	2024
Bayu/Angin	9.300 MW	2009	1,96 MW	2010	970 MW	2025
Mini/Mikro /Piko Hidro	450 MW	2010	228,79 MW	2010	2.846 MW	2025
Biomass	50.000 MW	2010	1.618 MW	2011	1.800 MW	2020
Nuklir	3.000 MW	2010	-	-	420 MW	2024

Sumber :Data Statistik ESDM 2012

Total investasi yang diserahkan pemgembangan EBT sampai tahun 2025 diproyeksikan sebesar 13,197 juta USD. Upaya yang dilakukan untuk mengembangkan biomasa adalah mendorong pemenfaatan limbah industry pertanian dan kehutanan sebagai sumber energi secara terintegrasi dengan ekonomi masyarakat, mendorong pabrikasi teknologi konversi energi biomasa dan usaha penunjang, dan meningkatkan penelitian dan pengembangan pemanfaatan limbah termasuk sampah kota untuk energi (ESDM,2012)

Upaya untuk mengembangkan energi angin untuk listrik dan non listrik (pemompaan air untuk irigasi dan air bersih),Pengembangan teknologi energi angina yang sederhana untuk skala kecil (10 kW) dan skala menengah (50-100 kW) (ESDM, 2012).

Pengembangan energi surya mencakup pemanfaatan PLTS di pedesaan dan perkotaan, mendorong komersialisasi PLTS dengan memaksimalkan keterlibatan swasta , mengembangkan industry PLTS dalam negeri, dan mendorong terciptanya system dan pola pendanaan yang efisiens dengan melibatkan dunia perbankan.

Untuk mendukung upaya dan program pengembangan EBT,pemerintah sudah menerbitkan serangkaia Kebijakan Energi Nasional, Undang-Undang No. 30/2007 tentang Energi,Undang–Undang No.15/1985 tentang Ketenagalistrikan ,PP No.10/1989 sebagaimana yang telah diubah dengan PP No. 03/2005 Tentang Perubahan Peraturan Pemerintah No. 26/2006 tentang Penyedian & Pemanfaatan Tenaga listrik,permen ESDM No.002/2006 tentang Pengusahaan Pembangkit Listrik Tenaga Energi Baru Terbarukan yang berisi pengaturan kewajiban penyediaan dan pemafaatan energi baru dan energi terbarukan dan pemberian kemudahan serta insentif .(ESDM 2012)

2.3.1 Pembangkit ListrikTenaga Surya (PLTS)

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) adalah suatu pembangkit yang mengkonversikan energi foton dari surya menjadi energi listrik. Konversi ini terjadi pada panel surya yang terdiri dari sel-sel surya.

PLTS memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik DC (*Direct Current*), yang dapat diubah menjadi listrik AC apabila diperlukan. PLTS pada dasarnya adalah pencatu daya dan dapat dirancang untuk mencatu kebutuhan listrik dari yang kecil sampai dengan yang besar, baik secara mandiri maupun *hybrid*.

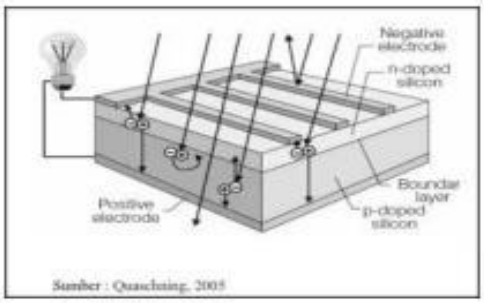
2.3.2 Potensi Tenaga Surya

Potensi tenaga surya di dunia sangat besar. Energi yang dikeluarkan oleh sinar matahari diterima permukaan bumi sebesar 69% dari total energi pancaran 3×1024 joule pertahun. Jumlah energi tersebut adalah 104 kali konsumsi energi di seluruh dunia. bumi. Dengan menutup 0,1% permukaan bumi dengan sel surya yang memiliki efisiensi 10% telah mampu menutupi kebutuhan energi di seluruh dunia., energi ini setara dengan 2×1017 watt.

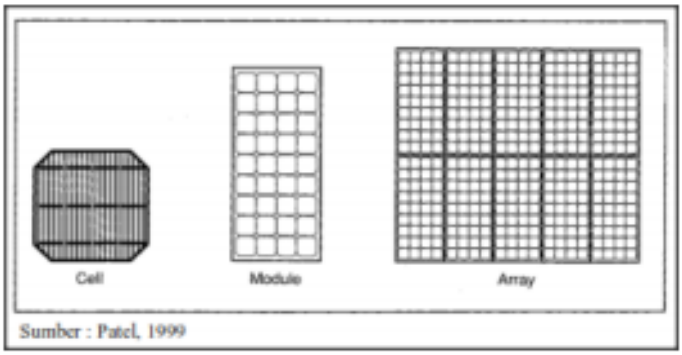
Sebagai negara tropis, Indonesia mempunyai potensi energi surya yang cukup besar. Berdasarkan data penyinaran matahari yang dihimpun dari 18 lokasi di Indonesia, radiasi surya di Indonesia dapat diklasifikasikan berturut-turut sebagai berikut: untuk kawasan barat dan timur Indonesia dengan distribusi penyinaran di Kawasan Barat Indonesia (KBI) sekitar 4,5 kWh/m2 hari dengan variasi bulanan sekitar 10% ; dan di Kawasan Timur Indonesia (KTI) sekitar 5, 1 kWh/m2 /hari dengan variasi bulanan sekitar 9%. Dengan demikian, potensi sel surya rata-rata Indonesia sekitar 4,8 kWh/m2 /hari dengan variasi bulanan sekitar 9%.

2.3.3 Sel Surya

Sel surya tersusun dari dua lapisan semikonduktor dengan muatan yang berbeda. Lapisan atas sel surya bermuatan negatif, sedangkan lapisan bawah bermuatan positif. Silikon adalah bahan semikonduktor yang paling umum digunakan untuk sel surya. Ketika cahaya mengenai permukaan sel surya, beberapa foton dari cahaya diserap oleh atom semikinduktor untuk membebaskan elekttron dari ikatan atomnya, sehingga menjadi electron yang bebas bergerak. Adanya perpindahan electron inilah yang menyebabkan terjadinya arus listrik. (Quaschning, 2005) Gambar 2.1 menunjukkan struktur sel surya



Gambar 2.1 Struktur Sel Surya



Gambar 2.2 Hubungan Sel Surya, Panel Surya dan Array

Gabunga dari beberapa sel surya disebutkan panel surya. Sebuah panas surya umumnya terdiri dari 32-40 sel surya, tergantung ukuran panel (Quaschning, 2005). Gabungan dari panel-panel ini akan membentuk suatu "*array*".

2.3.4 Jenis Sel Surya

- Monokristal

Sel surya yang terdiri atas p-n *Junction* monokristal silicon atau yang disebut juga *monocrystalline PV*, mempunyai kemurnian yang tinggi yaitu 99,999%. Efisiensi sel fotovoltaik jenis silicon monokristal mempunyai efisiensi konversi yang cukup tinggi yaitu sekitar 16 sampai 17%. Berikut contoh modul fotovoltaik (PV) jenis monokristal seperti yang terlihat pada gambar 2.3

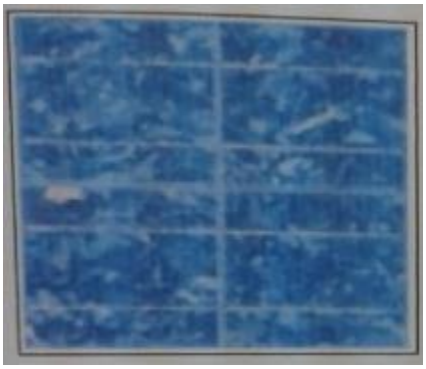
(a) Sel fotovoltaik (b) Modul fotovoltaik

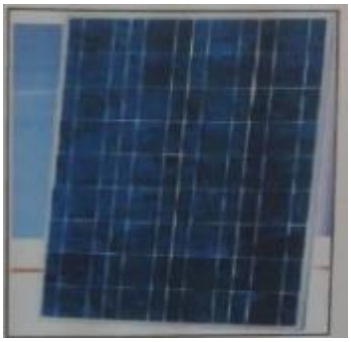
(Sumber: Laporan Kerja Praktek Ega dan Pandu di PT Surya Utama Putra)

Gambar 2.3 Sel dan Modul fotofoltaik (PV) Jenis Monokristal

- Polikristal

Polikristal PV atau sel surya yang bermateri polokristal dikembangkan atas alasan mahalnya materi monokristal per kilogram. Efisiensi konversi sel surya jenis silicon polikristal berkisar antara 12% hingga 15%. Berikut contoh modul fotovoltaik jenis polikristal seperti yang terlihat pada gambar 2.4

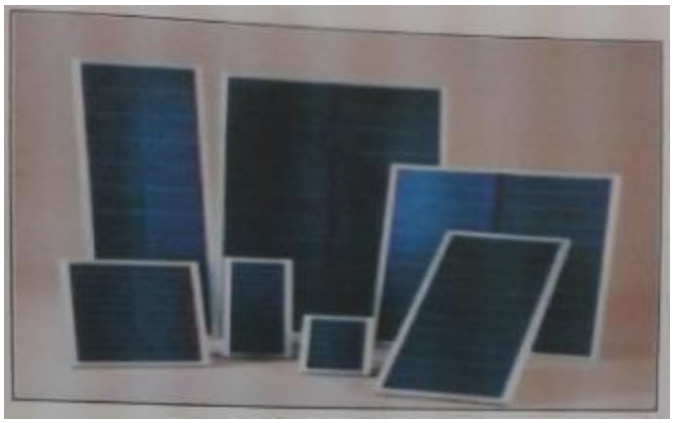




(a) Sel Fotovoltaik (b) Modul Fotovoltaik
(Sumber : Laporan Kerja Praktek Ega dan Pandu di PT Surya Utama Putra)
Gambar 2.4 Sel dan Modul Sel Surya Jenis Polikristal

- Amorfous

Sel surya bermateri *Amorphous Silicon* merupakan teknologi fotovoltaik dengan lapisan tipis atau *thin film*. Ketebalannya sekitar 10μm (micron) dalam bentuk modul surya. Efisiensi sel dengan silicon amorfous berkisar 6% sampai dengan 9%. Berikut contoh fotovoltaik jenis amorfous seperti yang terlihat pada gambar 2.5

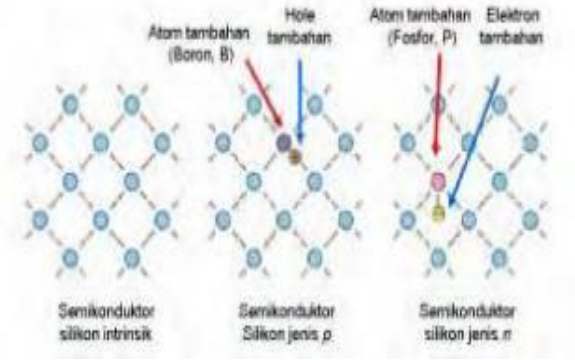


(Sumber Laporan Kerja Praktek Ega dan Pandu di PT Surya Utama Putra)
Gambar 2.5 Mod ul Fotovoltaik Jenis Amorfous

2.3.5 Prinsip Kerja Sel Surya

Sel surya tersusun atas dua jenis semikonduktor, yakni jenis *n* dan jenis *p*. Semikonduktor jenis *n* merupakan semikonduktor yang memiliki kelebihan electron, sehingga kelebihan muatan negatif, sedangkan semikonduktor jenis *p* memiliki kelebihan *hole* karena kelebihan muatan positif. Pengontrolan jenis semikonduktor dapat dilakukan dengan cara menambahkan unsur lain kedalam semikonduktor sebagai diilustrasikan pada Gambar 2.6

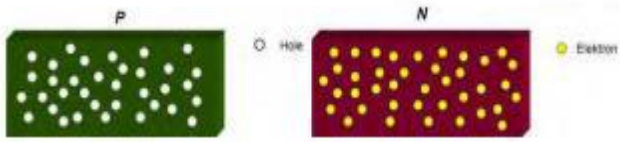
Pada awalnya, pembuatan dua jenis semikonduktor ini dimaksudkan untuk meningkatkan tingkat konduktifitas atau tingkat kemampuan daya hantar listrik dan panas semikonduktor alami. Di dalam semikonduktor alami (semikonduktor intrinsik) electron maupun *hole* memiliki jumlah yang sama. Kelebihan electron atau *hole* dapat meningkatkan daya hantar listrik maupun panas dari sebuah semikonduktor.



Gambar 2.6 Penambahan unsur lain ke dalam semikonduktor

Jika semikonduktor intrinsic yang dimaksud ialah silicon (Si), maka semikonduktor jenis p, biasanya dibuat dengan menambah unsur boron (B), aluminum (Al), gallium (Ga) atau indium (In) ke dalam Si. Unsur-unsur tambahan ini akan menambah jumlah *hole*. Sedangkan semikonduktor jenis *n* dibuat dengan menambahkan nitrogen (N), fosfor (P) atau arsen (As) ke dalam Si. Penambahan unsur ini disebut dengan doping.

Dua jenis semikonduktor *n* dan *p* jika disatukan akan membentuk sambungan p-n atau diode p-n (metallurgical junction) yang dapat dilihat pada Gambar 2.7

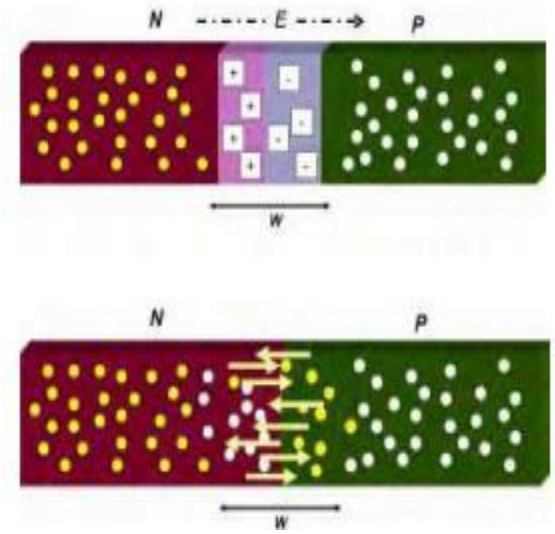


Gambar 2.7 Semikonduktor jenis *P* dan *n* sebelum disambung

Sesaat setelah dua jenis semikonduktor ini disambung, terjadi perpindahan elektron-elektron dari semikonduktor n menuju semikonduktor p, dan perpindahan hole dari semikonduktor p menuju semikonduktor n. Perpindahan elektron maupun hole ini hanya sampai pada jarak tertentu dari batas sambungan awal. Elektron dari semikonduktor n bersatu dengan hole pada semikonduktor p yang mengakibatkan jumlah hole pada semikonduktor p akan berkurang. Daerah ini akhirnya berubah menjadi lebih bermuatan positif. Pada saat yang sama. hole dari semikonduktor p bersatu dengan elektron yang ada pada semikonduktor n yang mengakibatkan jumlah elektron di daerah ini berkurang. Daerah ini akhirnya lebih bermuatan positif.

Daerah negatif dan positif ini disebut dengan daerah deplesi (*depletion region*) ditandai dengan huruf *W*. Baik elektron maupun *hole* yang ada pada daerah deplesi disebut dengan pembawa muatan minoritas (*minority charge carriers*) karena ke beradaannya di jenis semikonduktor yang berbeda. Perbedaan muatan positif dan negatif di daerah deplesi akan menyebabkan medan listrik internal *E* dari sisi positif ke sisi negatif, yang mencoba menarik kembali *hole* ke semikonduktor

p dan elektron ke semikonduktor *n*. Medan listrik ini cenderung berlawanan dengan perpindahan hole maupun elektron pada awal terjadinya daerah deplesi (lihat Gambar 2.5).



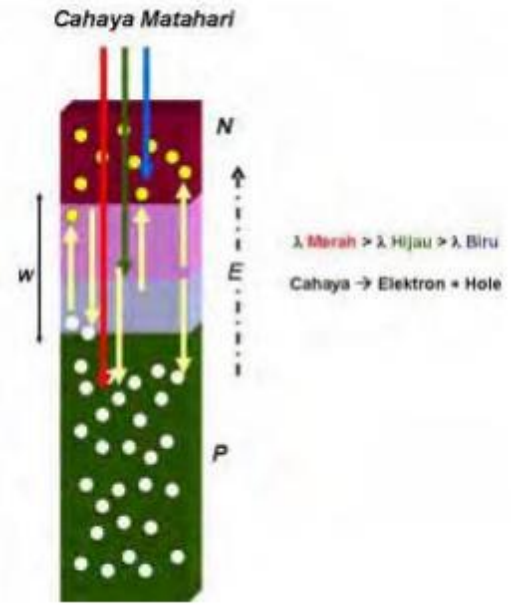
Gambar 2.8 Perpindahan electron dan hol

Medan listrik mengakibatkan sambungan *p-n* berada pada *titik setimbang*, yakni saat dimana jumlah hole yang berpindah dari semikondukt or *p* ke *n* dikompensasi dengan jumlah hole yang tertarik kembali kearah semikondukt or *p* akibat medan listrik *E*. Begitu pula dengan jumlah elektron yang berpindah dari semikonduktor *n* ke *p*, dikompensasi dengan mengalirnya kembali elektron ke semikonduktor *n* akibat tarikan medan listrik *E*. Dengan kata lain, medan listrik *E* mencegah seluruh elektron dan *hole* berpindah dari semikonduktor yang satu ke semikonduktor yang lain.

Pada sambungan *p-n* inilah proses konversi cahaya matahari menjadi listrik terjadi. Untuk keperluan sel surya, semikonduktor *n* berada pada lapisan atas sambungan *p* yang menghadap kearah datangnya cahaya matahari, dan dibuat jauh lebih tipis dari semikonduktor *p*, sehingga cahaya matahari yang jatuh ke permukaan sel surya dapat terus terserap dan masuk ke daerah deplesi dan semikonduktor *p*.

Ketika sambungan semikonduktor ini terkena cahaya matahari, maka elektron mendapat energi dari cahaya matahari untuk melepaskan dirinya dari semikonduktor n, daerah deplesi maupun semikonduktor. Terlepasnya elektron ini meninggalkan hole pada daerah yang ditinggalkan oleh elektron yang disebut dengan fotogenerasi elektron-hole (electron-hole photogeneration) yakni, terbentuknya pasangan elektron dan hole akibat cahaya matahari.

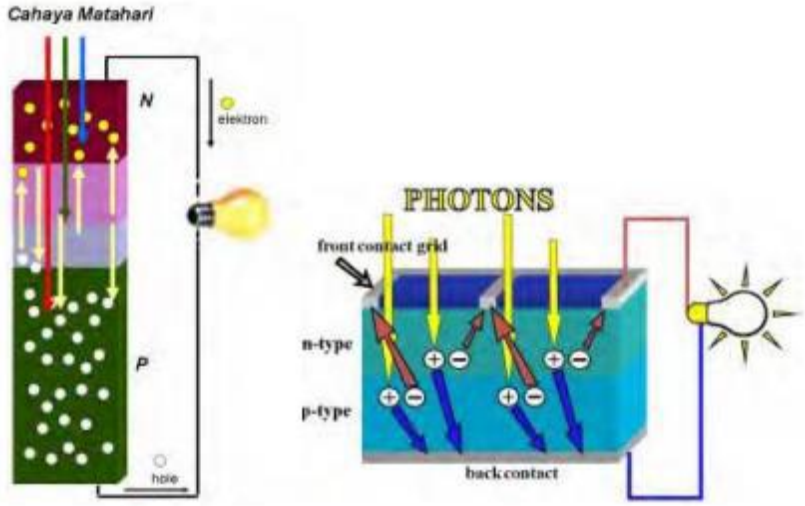
Pada Gambar 2.9 diperlihatkan penyerahan matahari di sel surya.



Gambar 2.9 Penyerahan cahaya matahari di solar cell

Cahaya matahari dengan panjang gelombang (λ) yang berbeda, membuat fotogenerasi pada sambungan *p-n* berada pada bagian sambungan *p-n* yang berbeda pula. Spektrum merah dari cahaya matahari yang memiliki panjang gelombang lebih panjang, mampu menembus daerah deplesi hingga terserap di semikonduktor *p* yang akhirnya menghasilkan proses fotogenerasi di sana. Spektrum biru dengan panjang gelombang yang jauh lebih pendek hanya terserap di daerah semikonduktor *n*. Selanjutnya, dikarenakan pada sambungan *p-n* terdapat medan listrik *E*, electron hasil fotogenerasi tertarik kea rah semikonduktor *n*, begitu pula dengan hole yang tertarik kea rah semikonduktor *p*.

Apabila rangkaian kabel dihubungkan ke dua bagian semikonduktor, maka electron akan mengalir melalui kabel. Jika sebuah lampu kecil dihubungkan ke kabel, lampu tersebut menyala dikarenakan mendapat arus listrik, dimana arus listrik ini timbul akibat pergerakan electron (lihat Gambar 2.10)



Gambar 2.10 Arus Listrik dari solar cell

2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Disel (PLTD)

a) Prinsip kerja

PLTD mulai mempunyai ukuran mulai dari 40 kW sampai puluhan MW. Untuk menyalakan listrik di daerah baru umumnya digunakan PLTD oleh PLN. Di lain pihak, jika perkembangan pemakaian tenaga listrik telah melebihi 100 MW, penyediaan listrik yang menggunakan PLTD tidak ekonomis lagi sehingga harus dibangun Pusat Listrik lain,seperti PLTU atau PLTA. Untuk melayani beban, PLTD dengan kapasitas 100 MW akan tidak ekonomis karena unitnya menjadi banyak, mengingat unit PLTD yang terbesar di pasaran sekitar 12,5 MW Untuk keperluan pembangkitan tenaga listrik, umumnya digunakan mesin diesel 4-langkah karena masalah ruangan tidak menjadi soal dan yang lebih penting ialah pemakaian bahan bakarnya lebih hemat. Karena frekuensi yang dihasilkan generator harus konstan 50 Hz atau 60 Hz, maka putaran mesin diesel harus konstan. Di pasaran, terdapat unit pembangkit diesel dengan putaran (untuk frekuensi 50 Hz) dari 300 putaran per menit sampai dengan 1.500 putaran per menit (ppm). Untuk daya yang sama, makin tinggi nilai ppmnya, makin kecil dimensi unit pembangkitnya dan harga per kW terpasang juga lebih murah. Tetapi karena banyaknya bagian yang bergerak pada mesin diesel, makin tinggi nilai ppm mesin diesel, makin sering mesin diesel tersebut mengalami gangguan. Oleh

karena itu, untuk unit pembangkit diesel yang harus beroperasi kontinu, lebih baik digunakan pembangkit yang mempunyai nilai ppm rendah. Sedangkan untuk unit pembangkit cadangan, dapat digunakan unit dengan nilai ppm yang tinggi.

Mesin diesel dengan nilai ppm diatas 500 ppm, harus menggunakan bahan bakar minyak *High speed Diesel Oil* (HSD). Mesin diesel dengan nilai ppm rendah, sampai dengan 500 ppm, memakai bahan bakar minyak *Marine Fuel Oil* (MFO) dimana harus dipanaskan terlebih dahulu agar tercapai viskositas yang cukup rendah. Apabila menggunakan bahan bakar minyak *Intermediate Diesel Oil* (IDO), maka tidak diperlukan pemanasan terlebih dahulu.

Gas dapat juga digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel, tetapi mesin diesel seperti ini harus didesain khusus. Ada juga mesin diesel yang didesain untuk dapat menggunakan bahan bakar minyak maupun gas. Umumnya apabila digunakan gas (BBG), maka daya keluar dari mesin diesel lebih rendah dibanding dengan apabila menggunakan bahan bakar minyak (BBM) kira-kira 80%. Daya keluaran dari poros mesin diesel 4-langkah dinyatakan oleh persamaan (2.2):

$$P = S.A.I.BMEP\ x\ \frac{n}{2atau1}\ x\ k\ [\ daya\ keluar]$$

(2.2)

Di mana :

P = Daya yang keluar dari poros mesin diesel [daya kuda]

S = Jumlah silinder

A = Luas permukaan torak [cm2]

= Langkah torak [meter]

BMEP = *Brake Mean Effective Pressure* = Tekanan rata-rata [kg/cm2]

N = Jumlah putaran poros per detik [ppd]

2 = Pembagi n untuk mesin diesel 4-langkah

1 = Pembagi n untuk mesin diesel 2-langkah

k = Konstanta satuan = 1/75, mengingat bahwa 1 HP = 75 kgm/s

Dengan memperhitungkan efisiensi generator yang diputar oleh mesin diesel dan mengingat bahwa 1 HP (daya kuda) = 736 watt, maka apabila daya

keluar mesin diesel diketahui, selanjutnya dapat dihitung daya keluar dari generator yang diputar mesin diesel.

Dalam pembangkitan tenaga listrik yang menggunakan mesin diesel, putaran mesin diesel harus konstan agar frekuensi yang didapat dari generator selalu konstan 50 Hz atau 60 Hz sehingga untuk pengaturan daya keluar dari generator (dengan mengacu kepada persamaan (2.2)), yang dapat diatur hanya nilai *BMEP*. Pengaturan nilai *BMEP* ini dilakukan dengan mengatur pemberian bahan bakar yang harus diikuti oleh pemberian udara. Hal ini disebabkan bahan bakar memerluka udara untuk pembakaran.

Terlalu banyaj udara atau terlalu sedikit udara untuk pembakaran menyebabkan pembakaran bahan bakar dalam silinder mesin diesel tidak efisien. Masalahnya, dalam mesin diesel yang putarannya konstan, perubahan pemberian bahan bakar tidak dapat diikuti oleh perubahan pemberian udara pembakaran secara seimbang sehingga nilai efisiensi maupun nilai *BMEP* tidak konstan sebagai fungsi beban. Oleh karena itu, unit pembangkit diesel sebaiknya dioperasikan dengan beban konstan yang menghasilkan efisiensi maksimum, yaitu pada kira-kira beban 80%.

Dalam perkembangan mesin diesel, pembuat (pabrik) berusaha membuat mesin diesel dengan daya sebesar mungkin tetapi dimensinya sekecil mungkin sehingga dicapai ongkos pembuatan yang serendah mungkin, agar dapat bersaing dalam pasar. Untuk melaksanakan hal ini, para pembuat mesin diesel berusaha menaikkan nilai *BMEP* dan nilai *n* dari persamaan (2.2). Usaha lainnya adalah menambah jumlah silinder *S*. Dalam praktik, mesin diesel paling banyak mempunyai 16 buah silinder.

b). Operasi dan Pemeliharaan

Umumnya semua pembangkit diesel dapat distart tanpa memerlukan sumber tenaga listrik dari luar (dapat melakukan *blackstart*). Menstart mesin diesel dengan daya dibawah 50 kW dapat dilakukan dengan tangan melalui engkil. Untuk daya diatas 50 kW sampai kira-kira 100 kW, umumnya distart

dengan menggunakan baterai aki. Sedangkan untuk mesin diesel dengan daya diatas 100 kW, umumnya digunakan udara tekan

Dari segi pemeliharaan dan perbaikan, unit pembangkit diesel termasuk unit yang banyak menimbulkan masalah, khususnya yang menyangkut mesin dieselnya. Hal ini disebabkan karena banyaknya bagian-bagian yang bergerak dan bergesek satu sama lain sehingga menjadi aus dan memerlukan penggantian secara periodik. Untuk itu diperlukan menajemen pemeliharaan beserta penyediaan suku cadang yang teratur.

Pendingin mesin diesel meliputi pendinginan silinder dan pendinginan minyak pelumas. Keduanya menggunakan penukar panas (*heat exchanger*) yang menggunakan air atau udara (radiator). Minyak pelumas untuk mesin diesel mempunyai syarat lain dibandingkan yang untuk turbin. Hal ini disebabkan pada mesin diesel, minyak pelumas selain melumasi bantalan, juga melumasi cincin torak (*piston ring*) dan membersihkan dinding silinder terhadap sisa pembakaran. Jadi harus mempunyai sifat detergen.

Bagian - bagian mesin diesel yang sering memerlukan penggantian adalah bantalan, cincin torak, katup (setelah mengalami pemeliharaan berkali-kali), elemen saringan minyak pelumas, perapat (*seal*) dan pengabut. Dari segi lingkungan, unit pembangkit diesel perlu mendapat perhatian mengenai kebisingan, gas buang (kandungan CO2, dan masalah minyak pelumas bekas yang sebaiknya dibakar, jangan dibuang karena dapat mengotor lingkungan. Ditinjau dari segi efisiensi pemakaian bahan bakar, unit pembangkit diesel dapat mencapai 40%.

2.5 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) adalah suatu teknologin pembangkit listrik yang merubah potensi energi angin menjadi energi listrik. Angin adalah udara yang bergerak/mengalir, sehingga memiliki kecepatan, tenaga dan arah. Penyebab dari pergerakan ini adalah pemanasan bumi oleh radiasi matahari. Udara di atas permukaan bumi selain dipanaskan oleh matahari secara

langsung, juga mendapat pemanasan oleh radiasi matahari bumi tidak homogen, maka jumlah energi matahari yang diserap dan dipancarkan kembali oleh bumi berdasarkan tempat dan waktu adalah bervariasi. Hal ini menyebabkan perbedaan kerapatan dan tekanan atmosfer. Udara memiliki sifat untuk selasu mencapai kesetimbangan tekanan, karena itu perbedaan kecepatan dan tekanan atmosfer ini menyebabkan udara bergerak dari daerah yang bertekanan tinggi ke daerah bertekanan rendah.

Pada daerah yang relatif panas,partikel udara mendapat energi sehingga udara memuai. Akibat dari pemuaian ini, tekanan udara di daerah itu naik, namun kerapatan udara menjadi berkurang, sehingga berat jenis udara di tempat itu menjadi relatif kecil, akibatnya udara berekspansi ke atas dan menyebabkan terjadi penurunan tekanan di daerah yang ditinggalkannya. Daerah ini lalu diisi oleh udara dari daerah sekelilinginya yang memiliki tekanan udara dan massa jenis lebih tinggi. Udara yang berekspansi ke atas lalu mengalami penurunan suhu, sehingga terjadi penyusutan dan massa jenisnya kembali naik. Udara ini akan turun kembali di tempat lain yang memiliki tekanan yang lebih rendah. Hal ini berlangsung terus menerus sepanjang waktu, sehingga pergerakan udara terus barlangsung.

2.5.1 Potensi Tenaga Angin

Angin adalah udara yang memiliki massa dan bergerak dengan kecepatan tertentu. Akibat pergerakan ini, angin memiliki daya yang sebanding dengan massanya dan berbanding lurus dengan kuadrat kecepatannya. Secara ideal kecepatan angin yang menggerakan kincir angin ada tiga, yaitu kecepatan aliran angin masuk (Vi) atau kecepatan aliran angin menuju *blode*, kecepatan aliran angin masuk (Va) dan kecepatan aliran angin ketika meninggalkan *blode* (Ve).,yaitu:

Angin mempunyai tenaga yang sama besarnya dengan energi kinetik dari aliran angin tersebut, yaitu :

$$P_{tot} = m.KE_i = \text{m}. \frac{Vi2}{2.gc} (\text{W})$$

Dengan :

p_{tot} = daya total angin (w)

m = aliran massa angin $\left(\frac{kg}{det}\right)$

Vi = kecepatan angin masuk $\left(\frac{m}{det}\right)$

Gc = faktor konversi = 1 $\left(\frac{kg.m}{N.det}\right)$

2.5.2 Kecepatan Angin Rata-Rata

Langkah awal dalam menghitung energi angin adalah mengetahui kecepatan angin rata- rata tersebut dapat dihitung dengan rumus:

$$V = \frac{\sum_{i=1}^{n} V_{i.} t_i}{\sum_{i=1}^{n} t_i}$$

Dengan :

V = Kecepatan angin rata-rata(m/s).

Vi = kecepatan angin yang terukur (m/s)

Ti = lamanya angin bertiup dengan kecepatan Vi (m/s)

N = banyaknya data pengukuran

Kecepatan angin rata-rata untuk tiap satu jam digunakan untuk mengetahui 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 dipergunakan untuk mengerakkan turbin.

2.5.3 Komponen – Komponen PLTB

Komponen - komponen PLTB dari ukuran besar, pada umumnya dapat terlihat dalam gambar 2.11 berikut ; sedangankan untuk ukuran kecil biasanya tidak semua komponen ada seperti yang terlihat dalam gambar

- ***Anemometer***

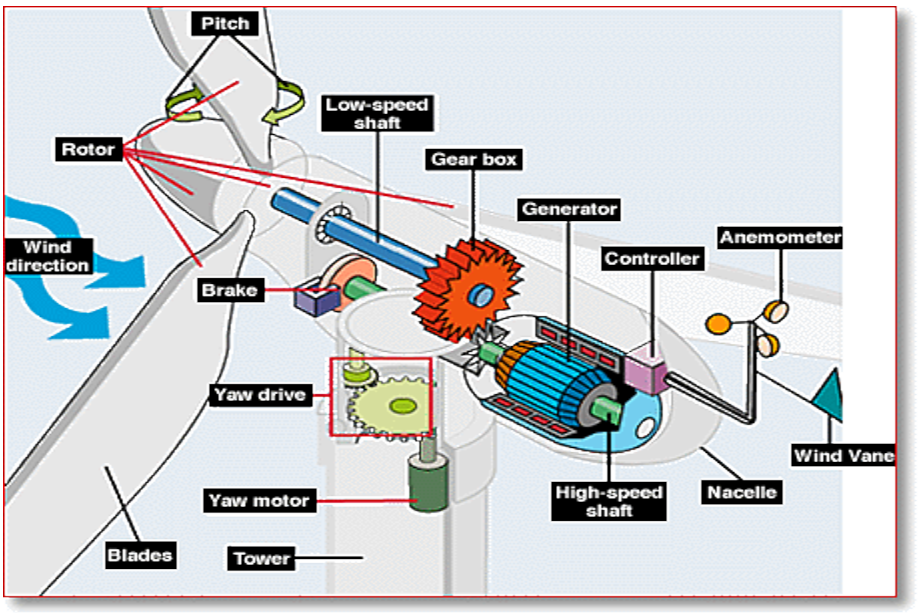
  Mengukur kecepatan angin ,dan mengirim data angin ini alat pengontrol.

- **Blades (Bilah Kipas)**

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

- **Brake (Rem)**

  suatu rem cakram yang dapat digerakkan secara mekanis, dengan tenaga listrik atau hidrolik untuk menghentikan rotor atau saat keadaan darurat. Digunakan untuk manjaga putaran pada poros setelah gerbox agar bekerja pada titik aman saat terdapat angin yang besar. Alat ini perlu dipasang karena generator memiliki titik kerja aman dalam pengoperasiannya. Generator ini akan menghasilkan energi listrik maksimal pada saat bekerja pada titik kerja yang telah ditentukan. Kehadiran angin diluar digunakan akan menyebabkan putaran yang cukup cepat pada poros generator, sehingga jika tidak diatasi maka putaran ini dapat merusak generator. Dampak dari kerusakan akibat putaran berlebihan diantaranya : overheat, rotor breakdown, kawat pada generator putus, karena tidak dapat menahan arus yang cukup besar.



Gambar 2.11 potongan Turbin Angin

Sumber: DOE/NREL

- **Controller (Alat pengontrol)**

  Alat pengontrol ini menstart turbin pada kecepatan angin kira-kira 12-25 km/jam, dan mematikannya pada kecepatan 90 km/jam Turbin tidak beroperasi di atas 90 km/jam, karena angin terlalu kencang dapat merusakkannya

- Gear box (Roda Gigi)

  Alat ini berfungsi untuk mengubah putaran rendah pada kincir menjadi putaran tinggi.Biasanya Gearbox yang yang digunakan sekitar 1:60. Roda gigi menaikkan putaran dari 30-60 rpm menjadi kira-kira 1000-1800 rpm yaitu putaran yang biasanya disyaratkan untuk memutar generator listrik.

- ***High-speed shaft*(Poros Putaran Tinggi)**

  Berfungi untuk menggerakkan generator.

- ***Low-speed shaft*(Poros Putaran Rendah)**

  Poros turbin yang berputar kira-kira 30-60 rpm

- **Generator**

Generator pembangkit listrik, biasanya sekarang alternator arus bolak-balik. Ini 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 ferromagnetik permanen.setelah itu disekeliling poros terdapat stator yang bentuk fisisnya 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 tenaga dan arus listrik tertentu. Tengangan 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 berapa AC (alternating current) yang memiliki bentuk gelombang kurang lebih sinusoidal.

- **Nacelle (Rumah Mesin)**

  Rumah mesin ini terletak di atas menara . Di dalamnya berisi gear-box, poros putaran tinggi/ randah, generator, alat pengontrol, dan alat pengereman.

- **Pitch (Sudut Bilah Kipas):**

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

- **Rotor**

  Bilah kipas bersama porosnya dinamakan rotor.

- **Tower (Menara)**

  Menara bisa dibuat dari pipa baja, beton, rangka besi. Karena kencangnya angin bertambah dengan ketinggian, maka makin tinggi menara makin besar tenaga yang didapat.

- **Wind direction (Arah Angin)**

  Gambar diatas adalah turbin yang menghadap angin desian turbin lain ada yang mendapat hembusan angin dari belakang.

- **Wind vane (Tebeng Angin)**

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

- **Yaw drive (Penggerak Arah)**

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

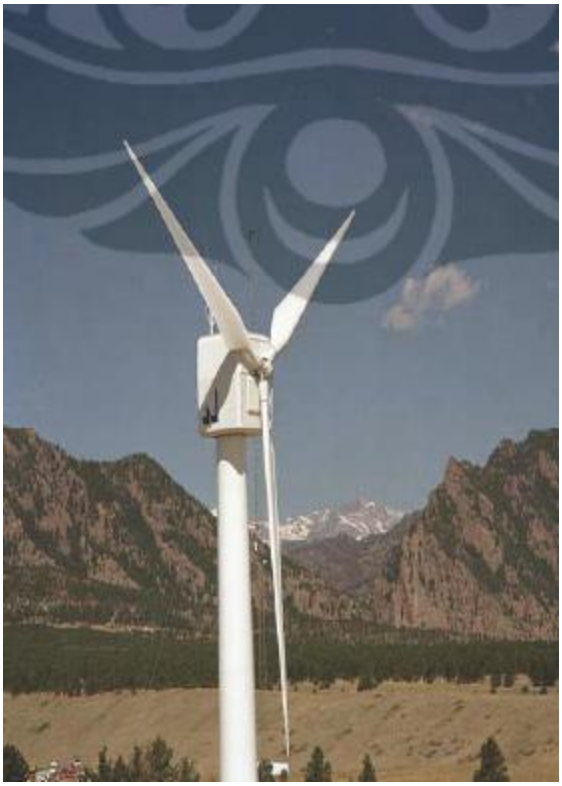
2.5.4 Jenis-Jenis Turbin Angin

Jenis-jenis turbin angin berdasarkan arah / poros perputarannya dibedakan menjadi dua jenis yaitu turbin angin sumbu horizontal dan turbin angin sumbu vertikal.

- Turbin Angin Sumbu Horizontal

Turbin angin sumbu horizontal (TASH) memiliki poros rotor utama dan generatoor listrik di puncak menara. Turbin berukuran kecil diarahkan oleh sebuah baling-baling angin (baling-baling cuaca) yang sederhana, sedangkan

turbin berukuran besar pada umumnya menggunakan sebuah sensor angin yang digadengkan ke sebuah servo motor. Sebagian besar memiliki sebuah gerbox yang mengubah perputaran kincir yang pelan menjadi lebih cepat berputar.



Gambar 2.12 Turbin Angin Sumbu Horizontal

Source: DOE/NREL

Karena sebuah menara menghasilkan turbulensi di belakangnya, turbin biasanya diarahkan melawan arah anginnya menara. Bilah-bilah turbin dibuat kaku agar mereka tidak terdorong menuju menara oleh angin berkecepatan tinggi. Sebagai tambahan, bilah-biilah itu diletakkan didepan menara pada jarak tertentu dan sedikit dimiringkan karena turbelensi menyebabkan kerusakan struktur menara,dan realibitas begitu penting, sebagian besar TASH merupakan mesin upwind (melawan arah angin). Meski memiliki permasalahan turbulensi, mesin downwind (menurut jurusan angin) dibuat karena tidak memerlukan mekanisme tambahan agar mereka tetap sejalan dengan angin, dan karena di saat angin berhembus sangat kencang, bilah bilahnya bisa ditekuk sehingga menguranggi wilayah tiupan mereka dan dengan demikian juga mengurangi resintensi angin dari bilah-bilah itu.

- Turbin Angin Sumbu Vertikal

Turbin angin sumbu vertikal/tegak (atau TASV) memiliki poros/ sumbu rotor utama yang disusun tegak lurus.kelebihan utama susunan ini adalah trubin tidak harus diarahkan ke angin agar menjadi efektif. Kelebihan ini sangat berguna di tempat-tempat yang arah anginnya sangat bervariasi.TASV mampu mendayaguankan angin dari berbagai arah.

Dengan sumbu yang vertikal, generator serta gearbox bisa ditempatkan didekat tanah, jadi menara tidak perlu menyokongnya dan lebih mudah diakses untuk keperluan perawatan. Tapi ini menyebabkan sejumlah desain menghasilkan tenaga putaran yang berdenyut. Drag (gaya yang menahan pergerakan sebuah benda padat melalui fluida (zat cair atau gas) bisa saja tercipta saat kincir berputar.

Gambar 2.13 Turbin Angin sumbu Vertikal

Source: AWI(www.awi-bremerhaven.de)

Karena sulit dipasang di atas menara, turbin sumbu tegak sering dipasang lebih dekat ke dasar tempat ia diletakkan, seperti tanah atau puncak atap sebuah bangunan. Kecepatan angin lebih pelan pada ketinggian yang rendah, sehingga

yang tersedia adalah energi angin yang sedikit. Aliran udara di dekat tanah dan obyek yang lain mampu menciptakan aliran yang bergolak, yang bisa menyebabkan berbagai permasalahan yang berkaitan dengan getaran, diantaranya kebisingan dan bearing wear yang akan meningkatkan biaya pemeliharaan atau mempersingkat umur turbin angin jika tinggi puncak atap yang dipasangi menara turbin kira-kira 50% dari tinggi bangunan, ini merupakan titik optimal bagi energi angin yang maksimal dan turbulensi angin yang minimal.

2.5.5 Keunggulan dan Kelemahan Turbin Angin

Masing-masing jenis turbin angin yang terlah diuraikan diatas memiliki keunggulan dan kekurangan

- Keunggulan dan Kelemahan Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH)
  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 atmosfir bumi. Di sejumlah lokasi geseran angin,setiap sepuluh meter ke atas, kecepatan angin meningkat sebesar 20%.

Kelemahan TASH

- Menara yang tinggi serta bilah yang panjangnya bisa mencapai 90 meter sulit diangkut. Diperlukan besar biaya transportasi bisa mencapai 20% dari seluruh biaya peralatan turbin angin.
- TASH yang tinggi sulit dipasang, membutuhkan derek yang sangat tinggi dan mahal serta para operator yang tampil.
- Konstruksi menara yang besar dibutuhkan untuk menyangga bilah-bilah yang berat,gearbox, dan generator.
- TASH yang tinggi bisa mempengaruhi radar airport.
- Ukurannya yang tinggi merintangi jangkauan pandangan dan mengganggu penampilan pemandangan.
- Berbagai varian downwind menderita kerusakan struktur yang disebabkan oleh turbulensi.

- TASH membutuhkan mekanisme kontrol yaw tambahan untuk membelokkan kincir ke arah angin.

Keunggulan dan Kelemahan Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV)
Keunggulan TASV

- Tidak membutuhkan struktur menara yang besar.
- Karena bilah-bilah rotornya vertikal, tidak dibutuhkan mekanisme yaw.
- Sebuah TASV bisa diletakkan lebih dekat ke tanah, membuat pemeliharaan bagian-bagiannya yang bergerak jadi lebih mudah.
- 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 rendah dan tinggi.
- Desan TASV berbilah lurus dengan potongan melintang berbentuk kotak atau empat persegi panjang memiliki wilayah tiupan yang lebih besar untuk diameter tertentu daripada wilayah tiupan berbentuk lingkarannya TASH.
- TASV memiliki kecepatan awal angin yang lebih rendah daripada TASH. Biasanya TASV mulai menghasilkan lisrtik pada 10km/jam (6 m.p.h)
- TASV biasanya memiliki tip speed ratio (perbandingan antara kecepatan putaran dari ujung sebuah bilah dengan laju sebenarnya angin) yang lebih rendah sehingga lebih kecil kemungkinannya rusak di saat angin berhembus sangat kencang.
- TASV bisa didirikan pada lokasi-lokasi dimana struktur yang lebih tinggi dilarang dibangun.
- TASV yang ditempatkan di dekat tanah bisa mengambil keuntungan dari berbagai lokasi yang menyalurkan angin serta meningatkan laju angin (seperti gunung atau bukit yang puncaknya datar dan puncak bukit),
- TASV tidak harus diubah posisinya jika arah angin berubah.
- Kincir pada TASV mudah dilihat dan dihindari burung.

Kelemahan TASV

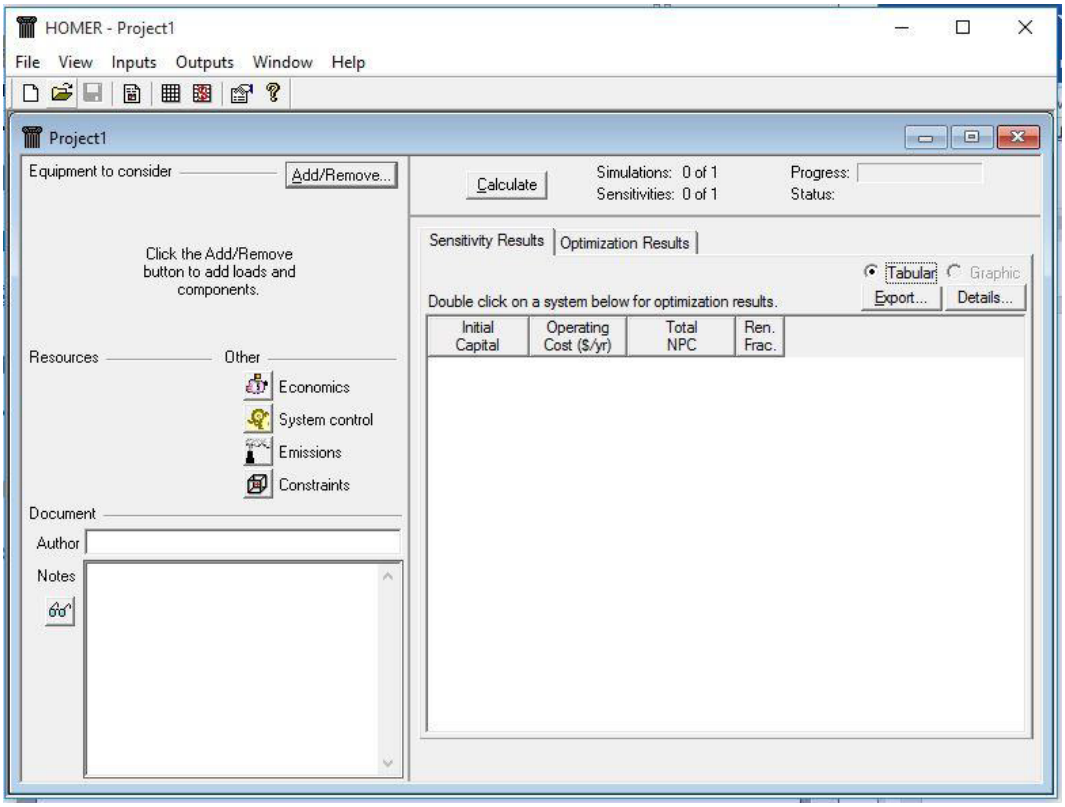
- Kebanyakan TASV memproduksi energi hanya 50% dari efisiensi TASH karena drag tambahan yang dimilikinya saat kincir berputar.
- TASV tidak mengambil keuntungan dari angin yang melaju lebih kencang di elevasi yang lebih tinggi.
- Kebanyakan TASV mempunyai rotasi awal yang rendah, dan membutuhkan energi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

2.6 Homer

Homer adalah singkatan dari *the hybrid optimization model for electric renewables*, merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk membantu pemodelan dari sebuah sistem tenaga listrik dengan menggunakan berbagai pilihan sumber daya terbahrukan dan salah satu tool popular untuk desain system PLH (Pembangkit Listrik *Hybrid*) menggunakan energi terbarukan dan energi yang sudah ada. HOMER mensimulasikan dan mengoptimalkan system pembangkit listrik baik stand-alone maupun *gridconnected* 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 spisifikasi paling optimal dari sumber-sumber energi yang mungkin diterapkan.

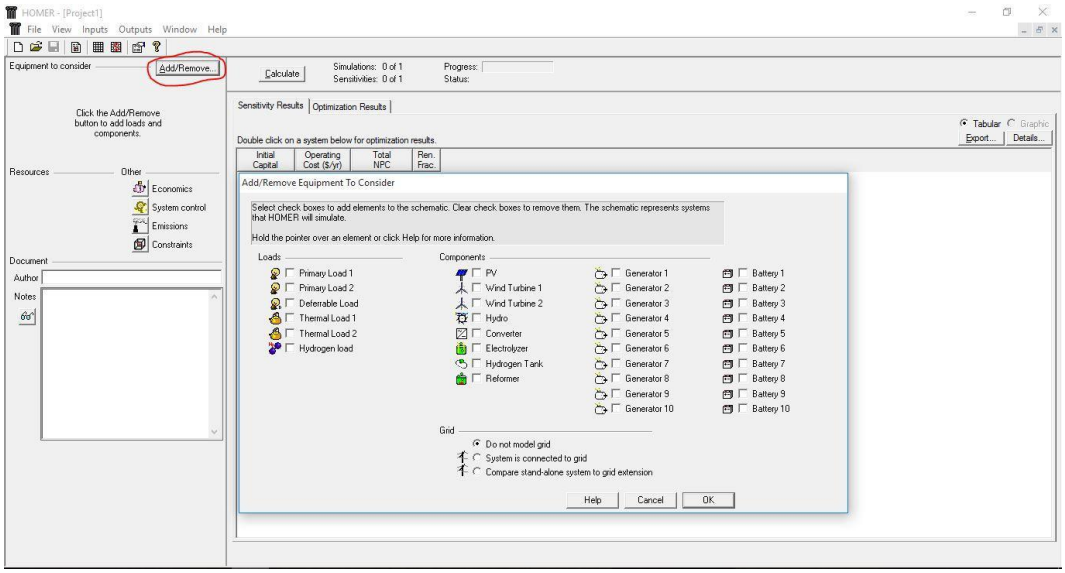
2.6.1 Tutoria HOMER

Tampilan perangkat lunak HOMER bisa dilihat di Gambar 2.13 dibawah ini. Perancang dapat menyusun system 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 system pembangkit.



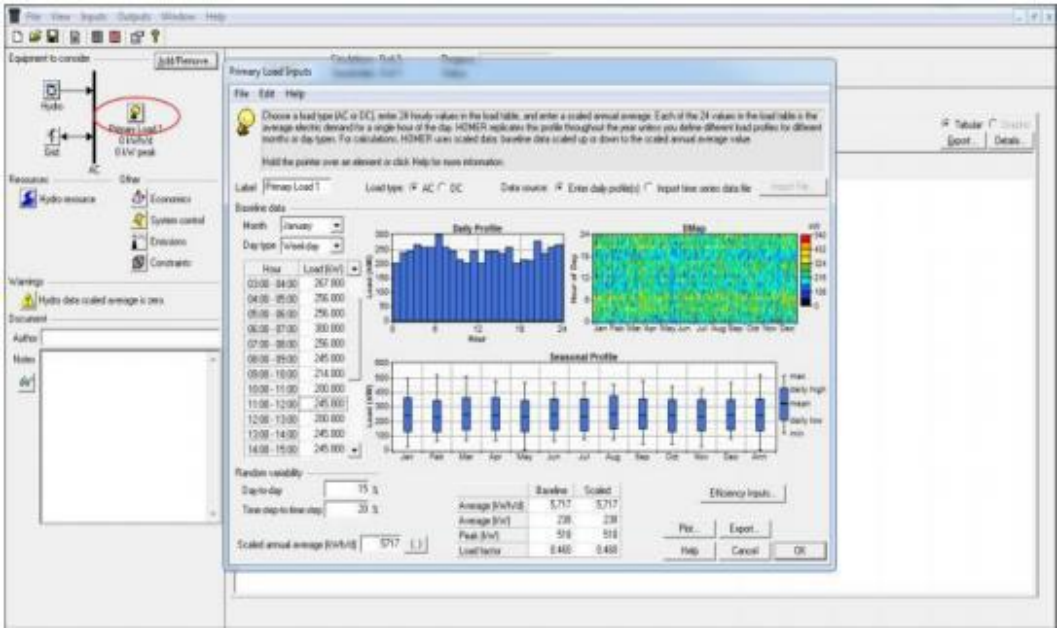
Gambar 2.14 Tampilan utama Homer

Setelah kita membuat program Homer, maka yang harus kita lakukan adalah memberikan atau menambahkan masukan *device* pada *system hybrid* yang akan kita buat. Disini, yang harus kita masukan adalah jenis beban yang akan ditopang dari system 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, Reforme, Generator, dan system batteray.*



Gambar 2.15 Pemilihan tipe beban dan komponen

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 variable.*

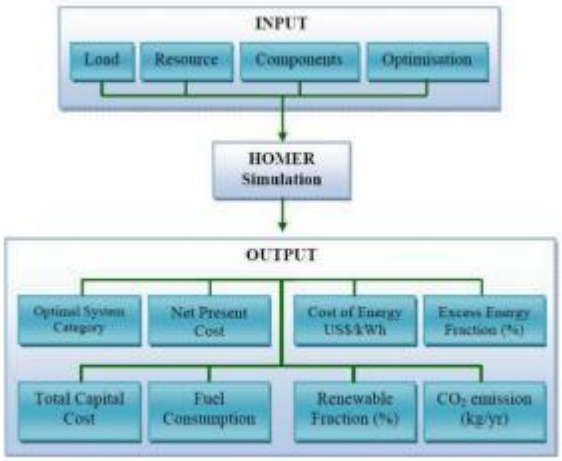


Gambar 2.16 Proses input data beban

Data beban yang telah kita inputkan secara otomatis akan langsung dihitung oleh Homer dan menghasilkan data rata-rata pemakaian, dan beban puncak dan *load factor* beban

2.6.2 Konfigurasi HOMER

Saat melakukan simulasi, HOMER menentukan semua konfigurasi system 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 variable sensitivitas yang ditetapkan.



Gambar 2.17 Bagian Utama Arsitektur HOMER