

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Pustaka

Adanya sebuah penelitian tentu tidak lepas dari penelitian-penelitian terdahulu untuk dijadikan referensi dalam penelitian yang akan ditempuh nantinya, serta digunakan sebagai pedoman untuk langkah awal bagi penelitian yang akan dilakukan, agar bisa lebih baik dari penelitian sebelumnya.

Tabel 2.1 *State of Art Penelitian*

No	Nama Peneliti	Tahun	Judul	Metode & Hasil
1	Andi Muhammad Akmal	2016	Analisis Potensi Biomassa Pertanian, Sampah Kota dan Limbah Peternakan dalam perencanaan Kapasitas Pembangkit Listrik di Provinsi Sulawesi Selatan	Energi baru dan terbarukan menggunakan memanfaatkan Limbah Peternakan dan Sampah Kota. Hasil : Metode Kapabilitas Pemodelan dengan LEAP. Studi kasus pada Provinsi Sulawesi Selatan dapat menghasilkan untuk Biomass sebesar 1.096,34 MW , untuk Biogas sebesar 118,92 MW dan untuk Sampah Kota sebesar 1.033,06 MW. Juga dapat membantu mengurangi jumlah emisi carbon dioxide

Tabel 2.1 State of Art Penelitian (Lanjutan)

No	Nama Peneliti	Tahun	Judul	Metode & Hasil
				dan jumlah sampah organik.
2	Imam Khayani	2017	Analisis Potensi PLTH sebagai Pembangkit Lokal Pantai Baru, Bantul, Yogyakarta	Metode: Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH) berupa Panel Surya dan Tenaga Angin dengan menggunakan perangkat lunak (software) HOMER. Dikelompokkan dalam Grup Timur, Group Barat dan Group KKP Hasil : Group Barat untuk Panel Surya menghasilkan daya sebesar 20,973 kW pertahun untuk Kincir Angin sebesar 41,877 kW pertahun. Group Timur Panel Surya sebesar 13,982 kW dan Kincir angin sebesar 23,614 kW
3	Lambertus Sinaga, Hermawan, Agung Nugroho	2016	Optimasi Sistem Pembangkit Listrik Hibrida Tenaga Surya, Angin, Biomassa dan Diesel di Pulau	Metode : Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH) berupa Panel Surya, Tenaga Angin, Biomassa dan Diesel dengan menggunakan perangkat lunak (software)

Tabel 2.1 State of Art Penelitian (Lanjutan)

No	Nama Peneliti	Tahun	Judul	Metode & Hasil
			Nyamuk Karimunjawa, Jawa Tengah dengan menggunakan perangkat lunak HOMER	HOMER. Hasil : Net Present Cost (NPC) sebesar \$ 1,856,472 Cost Of Energie (COE) sebesar \$ 0,273 per kWh, dan mengurangi emisi CO2 sebesar 651.630 kg per tahun atau sebesar 95,5 % per tahun.

Pada tahun 2016 Andi Muhammad Akmal melakukan penelitian berjudul Analisis Potensi Biomassa Pertanian, Sampah Kota dan Limbah Peternakan dalam perencanaan Kapasitas Pembangkit Listrik di Provinsi Sulawesi Selatan. Hasilnya adalah Metode dengan perhitungan Kapabilitas Pemodelan berbasis LEAP. Studi kasus pada Provinsi Sulawesi Selatan dapat menghasilkan Biomass sebesar 1.096,34 MW , untuk Biogas sebesar 118,92 MW dan untuk Sampah Kota sebesar 1.033,06 MW. Juga dapat membantu mengurangi jumlah emisi carbon dioxide dan jumlah sampah organik. perhitungan nilai entropi sudah baik dalam menentukan posisi fokus dan pada *fuzzy logic controller* tingkat kesalahan penentuan fokus didapatkan nilai sebesar 9,1%, serta kecepatan nilai fokus bertambah sebesar 73,5%.

Pada tahun 2017 Imam Khayani melakukan penelitian berjudul Analisis Potensi PLTH sebagai Pembangkit Lokal Pantai Baru, Bantul, Yogyakarta. Setelah dikelompokkan hasilnya adalah bahwa Group Barat untuk Panel Surya menghasilkan daya sebesar 20,973 kW pertahun untuk Kincir Angin sebesar

41,877 kW pertahun. Group Timur Panel Surya sebesar 13,982 kW dan Kincir angin sebesar 23,614 kW

Pada tahun 2016: Lambertus Sinaga, Hermawan, Agung Nugroho meneliti dengan judul: Optimasi Sistem Pembangkit Listrik Hibrida Tenaga Surya, Angin, Biomassa dan Diesel di Pulau Nyamuk Karimunjawa, Jawa Tengah dengan menggunakan perangkat lunak HOMER. Hasil : Net Present Cost (NPC) sebesar \$ 1,856,472 Cost Of Energie (COE) sebesar \$ 0,273 per kWh, dan mengurangi emisi CO₂ sebesar 651.630 kg per tahun atau sebesar 95,5 % per tahun.

Pada pustaka telah diketahui bahwa penelitian yang diajukan sebagai tugas akhir, belum pernah dilakukan dan dipublikasikan pada penelitian sebelumnya, sehingga tingkat originalitasnya masih tinggi.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Sistem Tenaga Hibrid

Hibrid pada umumnya adalah penggunaan dua ataupun lebih pembangkit listrik dengan sumber daya yang berbeda. Maka sistem tenaga hibrid adalah suatu sistem pembangkit yang menggunakan dua maupun lebih pembangkit dengan sumber energi yang berbeda Tujuan utama pada sistem hibrid adalah berusaha menggabungkan dua maupun lebih sumber energi, sehingga dapat menutupi kelemahan dari masing-masing. Dengan hal tersebut diharapkan dapat dicapai keandalan *supply* dan efisiensi ekonomis yang paling optimal. Menurut Juwito (2012) bahwa sistem tenaga hibrid memiliki kelebihan antara lain:

- a. Dapat menjadi solusi untuk mengatasi krisis bahan bakar fosil;
- b. Dapat memenuhi beban listrik secara optimal terutama pada daerah-daerah yang tidak tersentuh oleh jaringan listrik PLN;
- c. Meningkatkan efisiensi ekonomis pembangkit;
- d. Meningkatkan keandalan (*reliability*) system pembangkit;
- e. Meningkatkan waktu layanan listrik secara optimal;
- f. Meningkatkan umur operasi system;

- g. Tidak menimbulkan polusi dan limbah;
- h. Biaya pengoperasian dan pemeliharaan relative murah;
- i. Biaya produksi energi listrik atau Cost of Energy (Rp/kWh) per tahun relatif murah.

Selain memiliki kelebihan adapun kekurangan yang dimiliki oleh sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid (PLTH), adapun kekurangan yang dimiliki yaitu (Juwito, 2012):

- a. Produksi energi baru dan terbarukan sangat tergantung pada siklus alam;
- b. Biaya investasi awal sistem lebih mahal;
- c. Tidak dapat menangani beban puncak dengan baik tanpa penyimpanan energi.

Dari teori diatas dapat disimpulkan bahwa sistem hibrid atau Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid (PLTH) merupakan pembangkit listrik yang mengabungkan dua atau lebih sebagai sumber energi untuk mendapatkan hasil yang optimal. Selain itu sistem hibrid ini dapat dikatakan sebagai salah satu alternative dari sistem pembangkit yang tepat diaplikasikan pada daerah yang sukar dijangkau oleh sistem pembangkit besar yaitu PLN atau PLTD.

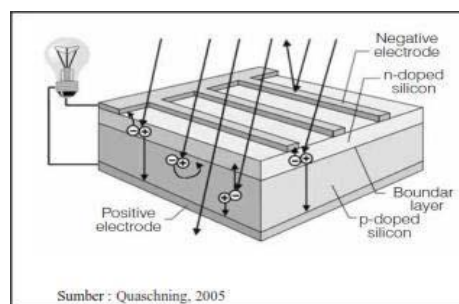
2.2.2. Sel Surya

Sel surya adalah suatu perangkat yang memiliki kemampuan dalam merubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan mengikuti prinsip *photovoltaic*, adanya dari energi cahaya (foton) pada Panjang gelombang tertentu akan mengeksitasi sebagian dari elektron pada suatu material ke pita energi (Malvino,2003).

Efek *photovoltaic* adalah suatu fenomena dimana munculnya tegangan listrik karena adanya hubungan atau kontak dua *elektroda* yang dihubungkan dengan sistem padatan atau cairan saat mendapatkan cahaya. Oleh akarena itu, sel surya asering disebut juga sel *photovoltaic*. Jadi besarnya intensitas cahaya mempengaruhi *output* berupa arus dan tegangan (Rosyadi, 2016). Pada sel surya terdapat sambungan (*junction*) antara dua lapisan tipis yang terbuat dari bahan

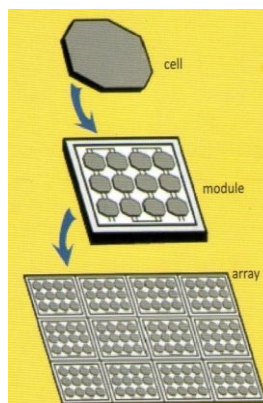
semikonduktor adapun semikonduktor jenis “P” (positif) dan semikonduktor jenis “N” (Negatif).

Silikon jenis P yaitu lapisan permukaan yang dibuat sangat tipis, agar cahaya matahari dapat menembus langsung untuk mencapai *junction*. Bagian P ini diberi lapisan nikel yang berbentuk cincin yang berfungsi sebagai terminal keluaran positif. Dibawah bagian P terdapat bagian yang disebut jenis N yang dilapisi nikel sebagai terminal keluaran negatif. Disaat cahaya mengenai permukaan sel surya, beberapa foton dari cahaya diserap oleh atom semikonduktor untuk membebaskan elektron dari ikatan atomnya, sehingga menjadi elektron yang bebas bergerak. Dengan demikian perpindahan elektron inilah yang menyebabkan terjadinya arus listrik (Quaschnig, 2005).



Gambar 2.1. Hubungan Sel Surya, Panel Surya (Quaschnig, 2005).

Array adalah gabungan dari beberapa sel surya disebut panel surya. Sebuah panel surya umumnya terdiri dari 32-40 sel surya. Hal ini tergantung ukuran panel surya yang diinginkan (Quaschnig, 2005). Gabungan dari panel ini akan membentuk sebuah “Array”.



Gambar 2.2 Susunan pembuatan panel surya (Tutun dan Didik Sunardi, 2012)

2.2.3. Keuntungan dan Kerugian Sel Surya

Sel surya memiliki keuntungan dibandingkan dengan sumber-sumber tenaga lainya seperti generator diesel, fosil dan lainya. Adapun keuntungan yang dimiliki yaitu:

- a. Tidak membutuhkan bahan bakar untuk beroperasi. Hal ini sangat menguntungkan karena tidak menyebabkan gangguan terhadap lingkungan dan tidak menyebabkan polusi
- b. Memiliki ketahanan dan kestabilan yang sudah teruji waktu operasinya cukup lama
- c. Sel surya dapat dengan mudah dibangun di daerah terpencil dan mudah dipindahkan peletakannya.

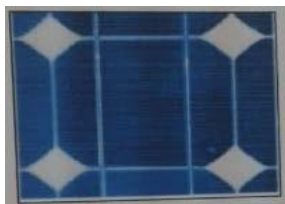
Selain memiliki keuntungan sel surya juga mempunyai beberapa kerugian, adapun kerugian yang dimiliki yaitu:

- a. Tergantung dengan sinar matahari, sehingga sangat dipengaruhi oleh keadaan cuaca dalam produksi listrik;
- b. Biaya pemabnagan cukup mahal
- c. Membutuhkan komponen tambahan untuk mengonversi dan memperbesar *output* listriknya.

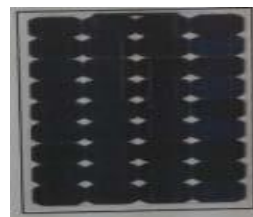
2.2.4. Jenis Sel Surya

1. 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%.



Gambar 2.3. Sel fotovoltaik

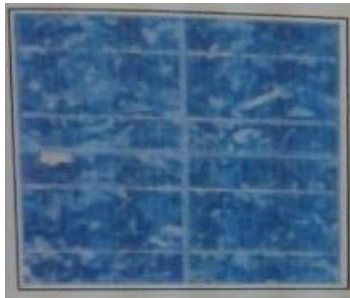


Gambar 2.4. Modul fotovoltaik

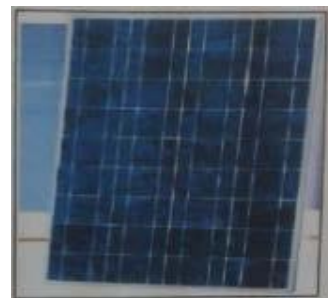
(Sumber: Laporan Kerja Praktek Ega dan Pandu di PT Surya Utama Putra)

2. Polikristal

Polikristal PV atau sel surya yang bermateri polokristal dikembangkan dengan 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 dibawah:



Gambar 2.5. Sel Fotovoltaik



Gambar 2.6. Modul Foltaiik

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

3. Amourfous

Sel surya bermateri Amorphous Silicon merupakan teknologi fotovoltaik dengan lapisan tipis atau thin film. Ketebalan sekitar $10\mu\text{m}$ (micron) dalam bentuk modul surya. Efisiensi sel dengan silicon amorfous berkisar 6% sampai engan 9%. Berikut adalah fotovoltaik jenis amorfous seperti dibawah:

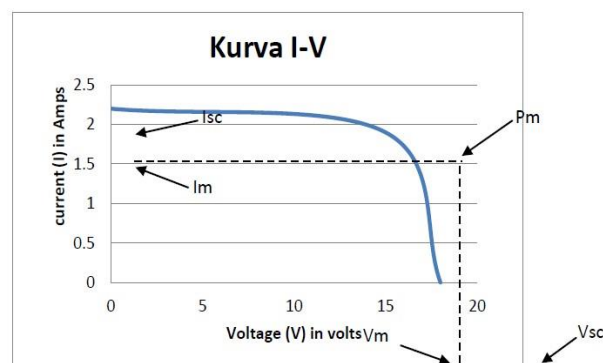


Gambar 2.7. Modul Fotovoltaik Jenis Amorfus

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

2.2.5. Karakteristik Sel Surya

Sel surya diproduksi dari bahan semikonduktor berupa silicon yang berperan sebagai insulator pada temperature rendah dan sebagai konduktor bila ada energi dan panas. Sebuah sel surya dalam menghasilkan energi listrik tidak tergantung pada besaran luas bidang silicon dan secara konstan akan menghasilkan energi berikisar berkisar ± 0.5 volt — max. 600 mV pada 2 amp. Dengan kekuatan radiasi solar matahari $1000 \text{ W/m}^2 = \text{“1 Sun”}$ akan menghasilkan arus listrik (I) sekitar 30 mA/cm^2 per sel surya. Sel surya akan menghasilkan energy maximum, jika nilai V_m dan I_m juga maximum. Sedangkan I_{sc} adalah arus listrik maximum pada nilai volt = nol. I_{sc} berbanding langsung dengan tersedianya sinar matahari. V_{oc} adalah volt maximum pada nilai arus nol, V_{oc} naik secara logaritma dengan peningkatan sinar matahari. Karakter ini yang akan memungkinkan sebuah sel surya untuk mengisi *accu*.



Gambar 2.8. Kurva arus dan tegangan

(Sumber: Wulandari Triyas Ika, 2010)

Keterangan:

I_{sc} = *Short-circuit current*

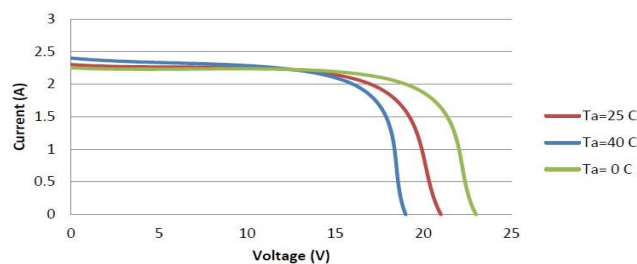
V_{sc} = *Open-circuit voltage*

V_m = *Voltage maximum power*

I_m = *Current maximum power*

P_m = *Power Maximum-output dari PV array (watt)*

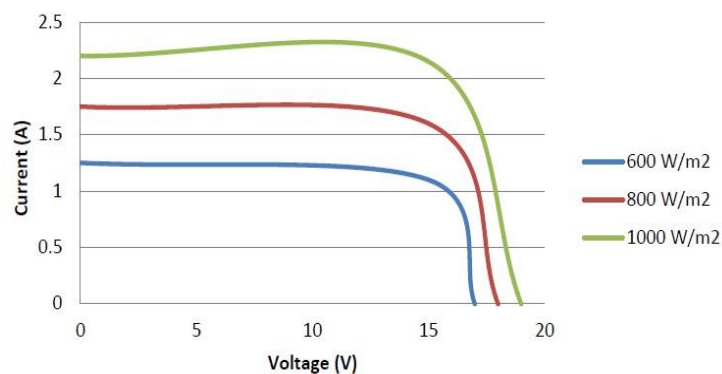
Sebuah sel surya dapat beroperasi secara maximum, jika temperature sel tetap normal pada 25°C . Kenaikan temperature lebih tinggi dari temperature normal pada sel surya akan melemahkan *voltage* (V_{oc}). Setiap kenaikan temperature sel surya 1°C dari 25°C akan berkurang sekitar 0.4% pada total tenaga yang dihasilkan atau akan melemahkan 2x lipat untuk kenaikan temperature sel surya per 10°C . Grafik pengaruh temperatur pada sel surya dalam derajat celsius ditunjukkan pada gambar dibawah.



Gambar 2.9. Grafik Arus Terhadap Temperatur

(Sumber: Wulandari Triyas Ika, 2010)

Radiasi solar matahari di bumi dan berbagai lokasi beragam, dan sangat tergantung keadaan *spektrum* solar ke bumi. Intensitas matahari akan banyak berpengaruh pada *current* (I) sedikit pada volt. Semakin rendah intensitas cahaya yang diterima oleh sel surya, maka arus akan semakin rendah. Hal tersebut akan membuat titik *Maximum Power Point* berada pada titik yang semakin rendah.



Gambar 2.10. Grafik Arus Terhadap *Insolation*

(Sumber: Wulandari Triyas Ika, 2010)

Efisiensi dari konversi energi surya dari sel surya di deskripsikan melalui persamaan:

$$\eta = \frac{\text{Daya keluaran}}{\text{Daya masukan}} \times 100\%$$

Dimana:

η = efisiensi

Tentunya dengan semakin tingginya nilai efisiensi maka semakin tinggi pula daya keluaran sel surya yang didapatkan.

2.2.6. Parametere Sel Surya

Pengoperasian maximum sel surya tergantung pada

1. Ambient air temperature

Sebuah sel surya dapat beroperasi secara maximum, jika temperatur tetap normal pada 25° C, kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal pada sel surya akan melemahkan voltage (Voc). Setiap kenaikan temperatur sel surya 1 ° C (dari 25 derajat akan berkurang sekitar 0.4 % pada total tenaga yang dihasilkan atau akan melemah 2x lipat untuk kenaikan temperatur Sel per 10° C.

2. Radiasi solar matahari (*insolation*)

Radiasi solar matahari di bumi dan berbagai lokasi beragam dan sangat tergantung keadaan spektrum solar ke bumi. *Insolation* solar matahari akan banyak berpengaruh pada current (I) sedikit pada volt.

3. Kecepatan angin bertiup

Kecepatan angina di sekitar lokasi sel surya dapat membantu mendinginkan permukaan temperatur kaca sel surya (array)

4. Keadaan atmosfer bumi

Keadaan atmosfer bumi sangat menentukan hasil maximum arus listrik dari deretan sel surya (array) baik berawan, jenis partikel debu udara, asap, uap air udara (Rh), kabut dan polusi.

5. Orientasi panel atau sel surya (array)

Kecepatan tiupan angin di sekitar lokasi sel surya (array) dapat membantu mendinginkan permukaan temperatur kaca-kaca sel surya (array). Keadaan atmosfer bumi berawan, jenis partikel debu udara, asap, uap air udara (Rh), kabut dan polusi sangat menentukan hasil maximum arus listrik dan deretan sel surya. Orientasi dari rangkaian sel surya (array) ke arah matahari secara optimum adalah penting untuk deretan panel surya dapat menghasilkan energi maximum.

Apabila tidak dapat mempertahankan tegak lurus antara sinar matahari dengan bidang sel surya, maka penambahan luas bidang panel sel surya dibutuhkan (bidang panel sel surya terhadap *sun altitude* yang berubah setiap jam dalam sehari).

2.2.7. Sistem Penyimpanan Energi

Sistem penyimpanan energi yang umumnya digunakan pada sel surya ialah baterai. Dari segi penggunaannya baterai dapat diklasifikasikan menjadi 2 jenis yaitu:

1. Baterai primer

Baterai yang hanya digunakan atau dipakai sekali saja, Ketika baterai dipakai, materi dari salah satu elektroda menjadi larut dalam elektrolit dan tidak dapat dikembalikan dalam keadaan semula.

2. Baterai sekunder

Jenis baterai ini dapat digunakan dan diisi ulang beberapa kali, komposisi awal elektroda dapat dikembalikan dengan arus berkebalikan.

Baterai berperan penting dalam sistem sel surya karena baterai digunakan untuk membantu agar sel surya dapat memenuhi kestabilan suplay daya ke beban. Baterai yang digunakan pada sel surya mengalami proses siklus mengisi (*Charging*) dan mengosongkan (*Discharging*), tergantung pada ada tidaknya sinar matahari. Selama terdapat sinar matahari, panel surya akan menghasilkan listrik. Jika energi listrik yang dihasilkan melebihi kebutuhan bebanya, maka energi listrik tersebut akan segera dipergunakan untuk mengisi baterai. Sebaliknya,

selama matahari tidak ada maka energi listrik akan di *suplay* oleh baterai. Proses pengisian dan pengosongan ini disebut dengan satu siklus baterai. Adapun karakteristik daya keluaran sel surya sendiri tidak stabil, daya keluaran akan terus naik turun sesuai dengan intensitas cahaya matahari yang jatuh pada permukaan sel surya. Berikut merupakan hal yang harus diperhatikan dalam baterai:

1. Tegangan baterai

Karakteristik dasar dari baterai, yang ditentukan oleh reaksi kimia dalam baterai.

2. Kapasitas baterai

Ukuran muatan yang disimpan pada suatu baterai. Kapasitas menentukan jumlah energi maksimum yang dikeluarkan dari sebuah baterai. Kapasitas baterai pada umumnya dinyatakan dalam satuan *Ampere Hour* (Ah). Nilai Ah pada baterai menunjukkan nilai arus yang dapat dilepaskan, dikalikan dengan nilai waktu untuk pelepasan. Berdasarkan teori di atas, baterai 12 V, 200 Ah harus dapat memberikan 200 A selama 1 (Satu) jam, 50 A selama 4 jam, 4 A untuk 50 jam, atau 1 A untuk 200 jam. Dengan demikian saat mendesain kapasitas baterai yang akan dipergunakan dalam sistem PLTS, penting untuk menentukan ukuran hari-hari otonomi (*Days of Autonomy*) (Polarpowerinc, 2011).

3. Parameter *charging* dan *discharging* baterai

Nilai *charging* dan *discharging* berpengaruh terhadap nilai kapasitas baterai. Jika baterai di *discharging* dengan cepat (arus *discharging* tinggi), maka sejumlah energi yang dapat digunakan oleh baterai menjadi berkurang sehingga kapasitas baterai menjadi lebih rendah. Hal tersebut dikarenakan kebutuhan suatu komponen untuk reaksi yang terjadi tidak memiliki waktu yang cukup untuk bergerak ke posisi yang seharusnya. Sehingga yang seharusnya arus *discharging* yang digunakan sekecil mungkin, sehingga energi yang digunakan kecil dan kapasitas baterai menjadi lebih tinggi.

2.2.8. Inverter

Inverter adalah peralatan elektronika yang berfungsi untuk mengubah arus searah (DC) dari panel surya atau baterai menjadi arus bolak-balik (AC). Tegangan keluaran dapat bernilai tetap atau berubah-ubah sesuai kebutuhan. Bentuk gelombang keluaran dari inverter idealnya gelombang sinus. Akan tetapi pada kenyataannya tidak demikian karena adanya harmonisa. Inverter dibagi menjadi 2 macam yaitu, inverter satu fase dan inverter tiga fase. Jenis gelombang terbagi menjadi tiga jenis yaitu inverter gelombang sinus, gelombang sinus termodifikasi dan inverter gelombang kotak. Berikut formula untuk menghitung kapasitas inverter (Rashid, 1993):

$$P_{\text{inverter}} = P_{\text{max}} \times 125\%$$

Keterangan:

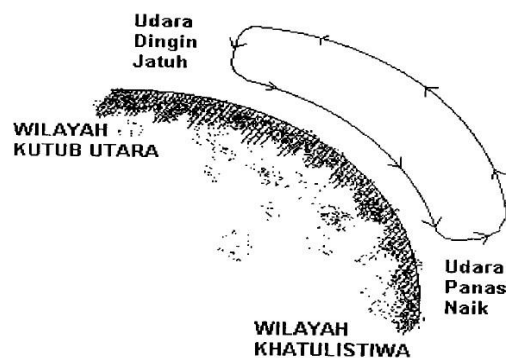
P_{inverter} = Daya inverter (Watt)

P_{max} = Beban puncak (Watt)

125% = Kompensasi

2.2.9. Energi Angin

Angin merupakan energi alternatif yang murah dan memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi bagi kebutuhan masyarakat. Energi angin dapat dikonversikan menjadi berbagai energi kinetic yang akan mempermudah pekerjaan manusia, hal ini sudah diterapkan dalam pemanfaatan angin menjadi penggerak utama pompa air untuk pengairan sawah.



Gambar 2.11. Skema terjadinya angin (Eri Prasetyo, 2002)

Pada dasarnya angin terjadi karena ada perbedaan suhu antara udara panas dan udara dingin. Pada daerah khatulistiwa, udara menjadi panas mengembang dan menjadi ringan naik ke atas dan bergerak 30° hingga 60° menuju daerah yang lebih dingin misalnya daerah Kutub. Berbanding terbalik dengan daerah Kutub yang dingin, udanya menjadi dingin dan turun ke bawah. Dengan begitu terjadi perputaran udara berupa perpindahan udara dari Kutub Utara ke Garis Khatulistiwa menyusuri permukaan bumi. Sebaliknya suatu perpindahan udara dari Garis Khatulistiwa kembali ke Kutub Utara, melalui lapisan udara yang lebih tinggi.

2.2.10. Jenis-Jenis Angin

Jenis-jenis angina dapat dikategorikan yaitu sebagai berikut:

1. Angin tetap
 - a. Angin barat, bertiup dari daerah subtropik menuju daerah kutub;
 - b. Angin timur, bertiup dari daerah kutub;
 - c. Angin pasat, bertiup dari daerah subtropik selatan dan utara menuju daerah khatulistiwa;
 - d. Angin anti pasat, bertiup berlawanan dengan angin pasat.
2. Angin periodik
 - a. Angin muson, bertiup setiap setengah tahun sekali;
 - b. Angin darat, bertiup dari darat ke laut pada malam hari;
 - c. Angin laut, bertiup dari laut ke darat pada siang hari;
 - d. Angin gunung bertiup dari lereng gunung ke lembah dan terjadi pada malam hari;
 - e. Angin lembah, bertiup dari lembah ke puncak gunung dan terjadi pada siang hari.
3. Angin lokal
 - a. Angin siklon, bertiup di daerah depresi yang memiliki barometri minimum dan dikelilingi barometri maksimum.
 - b. Angin antisiklon, bertiup di daerah yang memiliki barometri maksimum dan dikelilingi oleh barometri minimum.

- c. Angin fohn, bertiup dari daerah pegunungan yang bersifat panas dan kering. Contohnya: Angin kumbang di Cirebon, angin bahorok di Deli, angin gending di Pasuruan, angin brubu di Makasar dan angin wambrau di Biak, Papua.

2.2.11. Syarat Kecepatan Angin

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

Tabel 2.2. Tingkatan kecepatan angin 10m di atas permukaan tanah

Kelas	Kecepatan	Kondisi Alam di Daratan
1	0.00 – 0.02	Angin tenang
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
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

(Sumber: www.kincirangin.info)

2.2.12. Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Pembangkit listrik tenaga angin adalah suatu pembangkit listrik yang menggunakan angin sebagai sumber energi untuk menghasilkan energi listrik. Pembangkit ini dapat mengkonversikan energi angina menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angina atau kincir angina. Sistem pembangkit listrik menggunakan angina sebagai sumber energi merupakan sistem alternatif yang berkembang pesat, hal ini dikarenakan angina sebagai salah satu energi yang tidak terbatas di alam.

2.2.13. Turbin Angin (*Wind Turbine*)

Turbin angin atau *wind turbine* adalah kincir angin yang dapat memutar generator listrik untuk menghasilkan listrik. Adapun sistem kerjanya yaitu menggunakan prinsip konversi energi dan menggunakan energi terbarukan yaitu angin. Energi angin bisa ditangkap dengan dua atau tiga bilah yang didesain seperti sayap pesawat terbang. Bilah sudu yang digunakan akan berfungsi seperti sayap pesawat. Saat angin bertiup melalui bilah, maka akan timbul udara bertekanan rendah dibagian bawah, tekanan udara tersebut akan menarik sudu bergerak ke area tersebut. Gaya yang ditimbulkan dinamakan gaya angkat. Besarnya gaya angkat biasanya lebih kuat daripada tekanan pada sisi depan bilah. Adapun kombinasi antara gaya angkat dan Tarik menyebabkan rotor berputar seperti *propeller* dan memutar generator. Turbin angina terbagi menjadi 2 yaitu:

1. Turbin sumbu horizontal

Turbin ini memiliki dua atau tiga *blade* dalam penggunaannya. Turbin sumbu horizontal memiliki poros utama generator listrik di puncak menara. Turbin berukuran kecil diarahkan oleh baling-baling angin yang sederhana. Menara menghasilkan turbulensi dibelakangnya. Dengan begitu turbin harus diarahkan secara berlawanan arah angina. Bilah dibuat kaku agar tidak terdorong menuju menara oleh angina berkecepatan tinggi.

2. Turbin Sumbu Vertikal

Turbin ini merupakan turbin yang dapat menerima angin dari segala arah selain itu dapat bekerja saat angin dalam kecepatan yang rendah. Turbin ini

memeiliki tingkat efisiensi yang lebih rendah dibandingkan turbin angin sumbu horizontal.

Turbin angin mengambil energi dengan menurunkan kecepatannya. Untuk dapat mencapai 100% efisien. Maka turbin angin harus menahan 100% kecepatan angin yang ada dan rotor harus terbuat dari piringan solid dan tidak berputar sama sekali. Dengan begitu tidak ada energi kinetik yang akan dikonversi. Besarnya energi angin yang dapat dikonversi menjadi daya dapat dicari dengan menggunakan persamaan:

$$P = \frac{1}{2} A \rho \eta v^3$$

Keterangan:

P = Daya yang dapat dihasilkan oleh *wind turbine*

A = *Swept area wind turbine*

ρ = Massa jenis

η = Efisiensi Wind Turbine

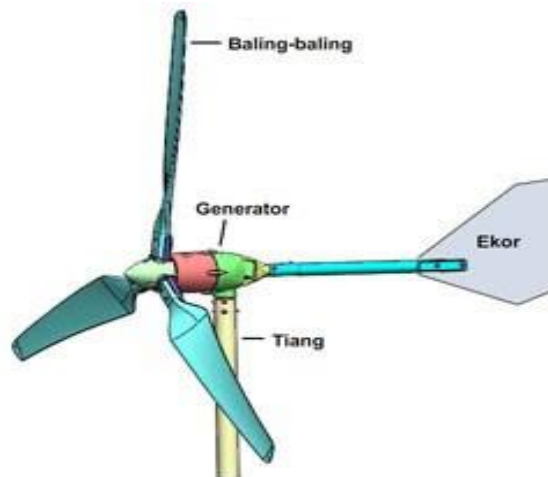
V = Kecepatan Angin

Secara teori, efisiensi maksimum yang bisa daicapai setiap desain turbin angin adalah 59%. Artinya energi angin yang bisa diserap hanya 59%. Jika faktor seperti kekuatan dan durabilitas diperhitungkan, maka efisiensi sebenarnya hanya 35-45%, bahkan untuk desain terbaik. Terlebih jika ditambah inefisiensi sistem *wind turbine* lengkap. Termasuk generator, *bearing*, transmisi daya sebagainya, hanya 10-30% energi angin yang bisa dikoversikan ke listrik.

2.2.14. Komponen Utama *Wind Turbine*

Untuk mengkonversi energi kinetik menjadi energi mekanik suatu *wind turbine* memerlukan beberapa komponen yang memiliki fungsi masing-masing. Khusus turbin dengan kapasitas kecil dihindarkan dari pemakaian *gearbox* karena *gearbox* bisa menyebabkan bertambah beratnya turbin. Sehingga untuk mengubah arah turbin dibutuhkan angin yang kencang untuk menerpa ekor yang berfungsi untuk mengarahkan arah turbin ke angin. Selain brake juga dihindari karena untuk turbin kapasitas kecil rata-rata digunakan untuk kecepatan angin yang rendah.

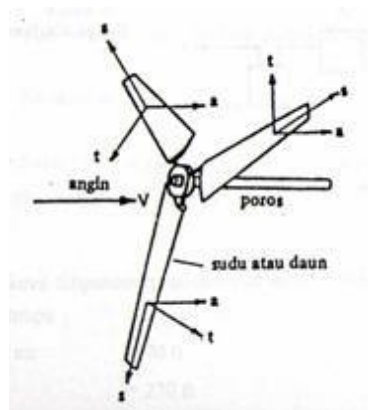
Sehingga ketika ditambah dengan komponen *brake* yang memiliki gaya gesekan di *brake* meskipun dalam keadaan tidak mengerem gaya gesekan tersebut tetap ada, hal ini mengakibatkan putaran turbin semakin berat. Komponen-komponen tersebut antara lain adalah:



Gambar 2.12. Komponen turbin kecil (mit.ilearning.me)

1. Sudu

Sudu merupakan bagian rotor dari turbin angin. Fungsinya rotor menerima energi kinetik dari angin dan dirubah ke dalam energi gerak putar. Menggunakan prinsip aerodinamika seperti halnya pesawat.



Gambar 2.13. Gaya angin pada sudu (Eri Prasetyo, 2002)

Pada prinsipnya gaya angin yang bekerja pada sudu kincir sumbu horizontal terdiri atas tiga komponen yaitu:

- Gaya Aksial (a), yang mempunyai arah sama dengan angina, gaya ini harus ditampung oleh poros dan bantalan;
- Gaya sentrifugal (s), yang meninggalkan titik tengah. Jika kipas bentuknya simetris, semua gaya sentrifugal s akan saling meniadakan atau resultanya sama dengan nol;
- 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 , maka rumus energi angin dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$E = 0,5 m v^2$$

Keterangan:

E = Energi angin

m = Massa benda

v = Kecepatan

Sementara efisiensi turbin dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\eta_{turbin} = \frac{\text{Daya yang dihasilkan}}{0.5 \rho A v^3}$$

Keterangan

A = Swept area wind turbine

ρ = Massa jenis udara

η = Efisiensi wind turbine

V = Kecepatan angin

2. Tower

Bagian struktur dari turbin angina horizontal yang memiliki fungsi sebagai struktur utama penopang dari komponen sistem terangkai sudu, poros dan generator.

3. Ekor

Pada *wind turbin* berguna untuk mengubah posisi generator dan turbin agar sesuai dengan arah datanya angin. Pada ekor juga bisa berfungsi untuk melakukan *furling* atau penggulungan 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 dapat menyebabkan turbin berputar pelan karena arah angin tidak pas di tengah turbin.

4. Generator

Salah satu komponen terpenting dalam pembuatan sistem turbin angin. Energi gerak dapat dirubah menjadi energi listrik menggunakan generator. Prinsip kerjanya dapat dipelajari dengan menggunakan teori medan elektromagnetik. Singkatnya, mengacu pada material *ferromagnetic* permanen. Kemudian di sekeliling poros terdapat stator yang bentuk fisiknya adalah kumparan kawat yang membentuk *loop*. Saat poros generator berputar, maka akan terjadi perubahan *fluks* pada stator. 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. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh generator berupa arus AC (*Alternating current*) yang memiliki bentuk gelombang kurang lebih sinusoidal.

5. Baterai

Keterbatasan ketersediaan akan energi angin, 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, 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 diakomodasi dengan menggunakan alat penyimpan energi. Contoh sederhana

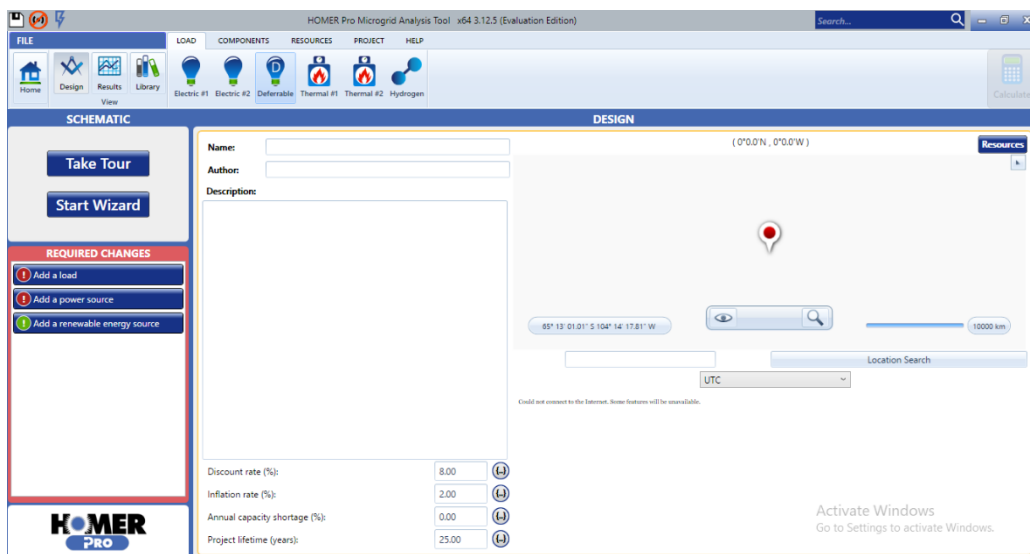
yang dapat dijadikan referensi sebagai alat penyimpan energi listrik adalah aki mobil. Aki mobil memiliki kapasitas penyimpanan energi yang cukup besar. Aki 12 volt, 65 Ah dapat dipakai untuk mencatu rumah tangga (kurang lebih) selama 0.5 jam pada daya 780 watt. Kendala dalam menggunakan alat ini adalah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

2.2.15. HOMER

Homer merupakan singkatan dari the hybrid optimization model for electric renewables. Perangkat ini digunakan untuk membantu permodelan dari sebuah sistem tenaga listrik dengan menggunakan beragam pilihan sumber daya terbarukan dan salah satu *tool popular* untuk desain sistem PLH (Pembangkit Listrik Hibrid) menggunakan energi terbarukan yang sudah ada. Homer mensimulasikan dan mengoptimalkan sistem pembangkit listrik baik *stand alone* maupun *grid connected* yang dapat terdiri dari perpaduan antara turbin angin, *photovoltaic*, *microhidro*, *biomassa*, *generator*, *microturbine*, *fuel-cell*, baterai dan penyimpanan hydrogen, melayani beban listrik maupun termal. Dengan homer, dapat diperoleh spesifikasi paling optimal dari sumber-sumber energi yang mungkin akan diterapkan.

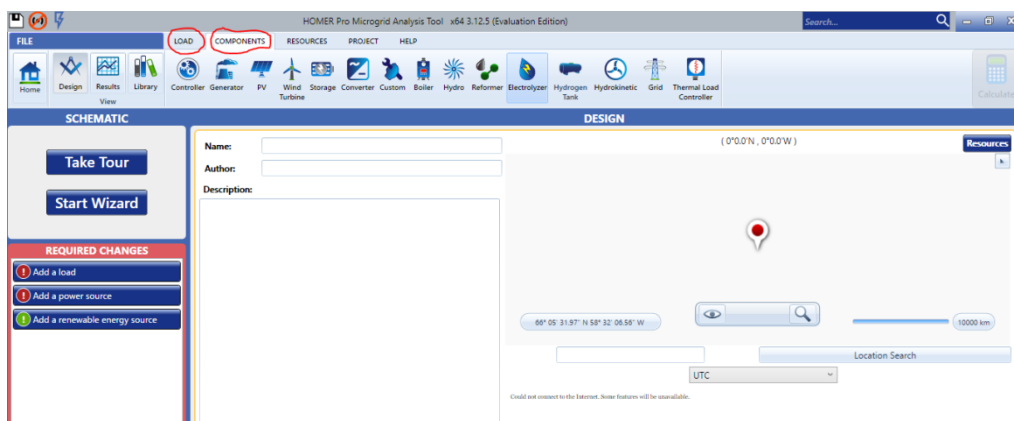
1. Tutorial Homer

Tampilan perangkat lunak homer dapat dilihat pada Gambar 13 dibawah ini. Perancang dapat menyusun sistem pembangkit dari berbagai jenis sumber daya, baik secara sumber daya konvensional ataupun terbarukan. Adapun tujuan simulasi Homer dilakukan untuk mengetahui karakteristik atau performansi dari suatu sistem pembangkit.



Gambar 2.14. Tampilan Utama Homer

Setelah kita membuat program Homer, maka langkah selanjutnya yaitu memberikan atau menambahkan masukan *device* pada sistem hibrid yang akan dibuat. Hal yang harus dimasukan yaitu jenis beban yang akan ditopang dari sistem. Homer memberikan pilihan berbagai jenis beban sesuai kebutuhan pengguna. Komponen pembangkit energi yang disediakan Homer yaitu: *PV, Wind Turbine, Hydro, Converter, Electrolyzer, Hydrogen Tank, Reformer, Generator, dan system battery.*



Gambar 2.15. Pemilihan Tipe Beban dan Komponen

Setelah memilih tipe beban dan komponen pembangkit, langkah selanjutnya yaitu memasukkan data beban tiap jam. Maka ada dua pilihan beban yang harus dibuat yaitu tipe DC dan AC. Kemudian simulasi dari variasi beban setiap waktu dapat disimulasikan dengan memasukkan prosentase pada *random variable*. Data beban yang telah diinput secara otomatis akan langsung dihitung oleh Homer dan menghasilkan data rata-rata pemakaian dan beban puncak serta *load factor* beban.

2. Konfigurasi Homer

Pada saat melakukan simulasi, Homer menentukan semua konfigurasi sistem, kemudian ditampilkan berurutan menurut *net present cost- NPC* atau sering disebut *life cycle costs*. Jika Analisa sensitivitas diperlukan, maka homer akan mengulangi proses simulasi untuk setiap variable sensitivitas yang ditetapkan.