

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 TINJAUAN PUSTAKA

Semakin cepat menipisnya ketersediaan energi dari fosil, menuntut para cendekiawan memikirkan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan. Salah satunya penelitian yang dilakukan oleh Aji N. Pakha seorang alumni Teknik Fisika Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Dalam penelitiannya yang berjudul “Evaluasi dan Optimalisasi Ukuran Komponen Penyusun Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid”

Dalam paparannya, Aji membahas tentang simulasi homer dilakukan terhadap *existing condition* dengan konfigurasi pembangkit mendekati yang ada di lapangan. Hasilnya menunjukkan bahwa terjadi *capacity shortage* 80%. Daya yang bisa dihasilkan PLTH Baru adalah 20 % untuk memenuhi beban dengan daya PV 20491 kWh/tahun dan daya kincir 8184 kWh/tahun.

Selain itu, terdapat penelitian dari Anjas Starlen Arota, Hesky S. Kolibu, Benny M. Lumi “Telah melakukan penelitian tentang sistem pembangkit hibrida (energi angin dan matahari) menggunakan software HOMER. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem pembangkit listrik hibrid dengan software HOMER. Pada penelitiannya diperoleh radiasi matahari sebesar 8,073 kWh/m setiap hari dan potensi energi angin 2,3 m/s. Nilai NPC tertinggi sebesar \$171.446 dan terendah \$61.789. Nilai COE tertinggi sebesar 1.663 \$/kWh dan terendah 0,599 \$/kWh.

Dan penelitian yang dilakukan oleh Kuanifi alumni Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, dalam penelitiannya membahas mengenai “Program Homer untuk Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Hibrida di Provinsi Riau. Biaya operasi dan perawatan (O&M) sistem ini rendah, namun biaya awal tinggi. Biaya energi (COE) lebih tinggi daripada tarif listrik di Riau, namun lebih rendah daripada COE jika menggunakan generator diesel saja. Sistem ini

melepaskan 19,7 ton CO₂ per tahun, jauh di bawah emisi sistem jika hanya menggunakan generator diesel (580% lebih tinggi). Kesimpulannya, HOMER adalah tool yang dapat membantu desainer sistem pembangkit listrik tersebar secara efektif dan efisien.

Dari ketiga penelitian tersebut dilakukan tambahan berupa investasi untuk mengevaluasi dan simulasi eksisting Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid menggunakan *software* HOMER Energy. Dengan demikian, diharapkan pemerintah daerah lebih melihat potensi sumber energi alternatif yang ramah lingkungan beserta biaya investasi yang dibutuhkan untuk pembangunannya.

2.2 LANDASAN TEORI

Energi terbarukan dapat di definisikan sebagai energi yang berasal dari alam dan terus menerus mengalami proses pengisian atau pergantian dalam suatu siklus secara berulang-ulang seperti yang di jelaskan oleh International Energi Agency:

“Renewable energy is derived from natural processes that are replenished constantly. In its various forms, it derives directly from the sun or from heat generated deep within the earth. Included in the definition is electricity and heat generated from solar, wind ocean, hydropower, biomass, geothermal resources, and biofuel and hydrogen derived from renewable resources.”

Menurut International Energy Agency energi terbarukan dapat berupa energi dengan jenis yang bervariasi seperti energi yang diperoleh langsung dari matahari atau meliputi panas bumi dan juga meliputi definisi untuk pemenuhan kebutuhan energi listrik dan panas yang dihasilkan dari cahaya matahari, angin, lautan, tenaga air, biomasa, sumber geotermal dan biofuel serta hidrogen yang berasal dari sumber yang terbarukan.

Energi Baru dan Terbarukan (EBT) harus mulai dikembangkan dengan mengubah pola pikir bahwa EBT bukan sekedar sebagai energi alternatif dari bahan bakar fosil tetapi harus menjadi penyangga pasokan energi nasional dengan porsi EBT > 17% pada tahun 2025 (lampiran II perpres No.5/2006 tentang

kebijakan Energi Nasional) berupa biofuel >5%, Panas bumi >5%, EBT lainnya >5%, dan batubara cair >2%, sementara energi lainnya masih tetap dipasok oleh minyak bumi <20%, Gas bumi > 30% dan batubara >33%. Pemerintah berkomitmen mencapai visi 25/25 yaitu pemanfaatan EBT 25% pada tahun 2025. Bulan Januari 2012, sekjen PBB mendorong pemanfaatan energi terbarukan dunia dua kali lipat (dari 15% hingga 30%) hingga tahun 2030, terlebih lagi dengan kondisi negara berkembang saat ini menguasai setidaknya 50% kapasitas global EBT.

Program-program untuk mencapai target hingga 25% EBT adalah listrik pedesaan, interkoneksi pembangkit EBT, pengembangan biogas, Desa Mandiri Energi (DME), *Integrated Microhydro Development Program* (IMIDAP), PLTS perkotaan, Pengembangan biofuel dan proyek percepatan pembangkit listrik 10.000 MW tahap II berbasis EBT (Panas bumi dan hidro). Untuk mencapai itu, Indonesia membutuhkan dana Rp.134,6 triliun (US\$15,7miliar) guna mengembangkan sumber sumber EBT untuk 15 tahun mendatang. Dana tersebut (dalam master plan 2011-2015) dibagikan ke 5 daerah, Sumatera (Rp 25,06triliun), Jawa (Rp.86,3triliun), Sulawesi (Rp.15,77triliun), Bali-Nusa Tenggara (2,64triliun), dan Papua-Maluku (Rp4,83 triliun). Pemerintah mendukung inovasi pemanfaatan PLTS, misalnya untuk penerangan jalan dan mendorong pula pemasangan panel surya di atap-atap pusat pertokoan dan mall agar mendapatkan pasokan listrik sendiri (Fathurrahman,2012).

2.2.1 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid

Sistem pembangkit listrik tenaga hibrida adalah suatu sistem pembangkit listrik yang terdiri dari dua atau lebih sistem pembangkit dengan sumber energi yang berbeda. Pembangkit listrik tenaga hibrida ini bertujuan untuk dapat mengkombinasikan keunggulan dari setiap pembangkit agar dapat menutupi kelemahan masing-masing dalam kondisi tertentu, sehingga sistem dapat beroperasi lebih ekonomis dan efisien dalam kondisi berbeban.

Menurut Sopian dan Orthman (2005) suatu Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida terdiri dari :

1. Inverter dengan rating daya kontinyu 60% dari daya beban.
2. Satu atau dua mesin dan generator diesel yang biasanya memiliki kapasitas sama hingga 1,5 kali rating daya inverter dan dilengkapi sistem kontrol otomatis.
3. Sistem penyimpanan yang biasanya berupa bank baterai *leadacid* dengan kapasitas penyimpanan minimum tertentu.
4. Sistem pembangkit energi terbarukan seperti photovoltaic dilengkapi dengan regulator.
5. Sistem kontrol berbasis mikroprosesor untuk keperluan monitoring dan otomasi manajemen sistem.

Sebuah sistem pembangkit listrik tenaga hibrida memiliki kemampuan untuk menyediakan 24 jam jaringan listrik berkualitas ke beban. Sistem ini menawarkan efisiensi yang lebih baik, perencanaan yang fleksibel dan efek yang baik terhadap lingkungan dibandingkan dengan sistem pembangkit generator yang berdiri sendiri. Biaya operasional dan pemeliharaan pembangkit dapat menurun sebagai akibat dari peningkatan efisiensi operasi dan pengurangan waktu operasional begitu pula dengan mengurangi penggunaan bahan bakar. Sistem ini juga memiliki kesempatan untuk meningkatkan kapasitas guna mengatasi permintaan yang meningkat dimasa depan. Hal ini dapat dilakukan dengan meningkatkan rating daya dari pembangkit diesel, pembangkit yang menggunakan energi terbarukan atau keduanya.

Hybrid system atau Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida (PLTH) merupakan salah satu alternatif sistem pembangkit yang tepat diaplikasikan karena pembangkit ini memanfaatkan *renewable energy* sebagai sumber utama (primer). Pada PLTH, *renewable energy* yang digunakan dapat berasal dari energi matahari, angin dan lain sebagainya yang dikombinasikan dengan Diesel-Generator Set sehingga menjadi suatu pembangkit yang lebih efisien, efektif dan handal untuk dapat mensuplai kebutuhan energi listrik baik sebagai penerangan

rumah, kebutuhan peralatan listrik seperti TV, pompa air, setrika listrik maupun untuk mensuplai kebutuhan energi industri kecil kawasan tersebut. Dengan adanya kombinasi dari sumber energi tersebut, diharapkan dapat menyediakan catu daya listrik yang kontinyu dengan efisiensi yang paling optimal (Surya Energi, 2012).

Telah dijelaskan bahwa PLTH dibangun dengan menggunakan dua jenis pembangkit atau lebih untuk menghasilkan listrik secara efisien. Jenis pembangkit yang dibangun di kawasan Pantai Baru adalah jenis Pembangkit Listrik Tenaga Angin dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya.

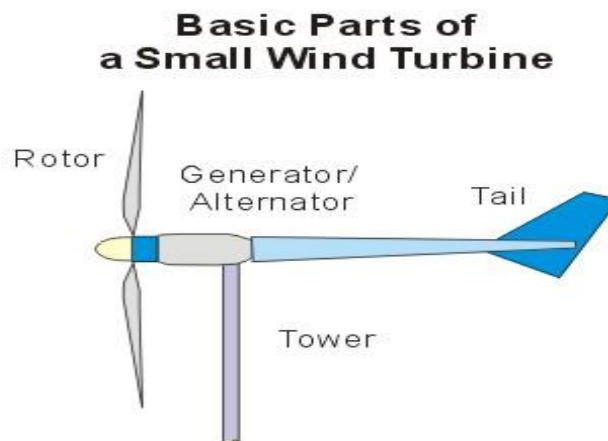
2.2.1.1 Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Prinsip kerja dari pembangkit ini adalah Udara yang bergerak membawa suatu bentuk energi yang dikenal sebagai energi kinetik. Energi kinetik ini memiliki potensial untuk diubah menjadi bentuk energi lain yang lebih bermanfaat seperti energi listrik. Untuk tujuan ini, sebuah sistem yang mampu mengubah energi gerak atau energi kinetik yang dibawa oleh angin, menjadi energi listrik akan diperlukan. Turbin angin atau kincir angin yang dilengkapi dengan sebuah generator listrik merupakan bentuk teknologi yang didesain untuk tujuan ini. Tenaga yang dibawa oleh angin akan ditangkap oleh baling-baling atau propeler, yang berputar ketika ditiup angin. Kemudian tenaga putaran ini dipergunakan untuk memutar turbin generator yang membangkitkan tenaga listrik.

Namun ada salah satu tantangan terbesar dalam pemanfaatan tenaga angin untuk membangkitkan energi listrik adalah faktor intermitency, yaitu kenyataan bahwa angin bertiup dengan kekuatan yang berbeda-beda dari saat ke saat. Adakalanya angin bertiup kencang sehingga mampu membangkitkan listrik dalam jumlah yang cukup besar. Namun pada saat yang lain angin bertiup terlalu lemah untuk membangkitkan listrik dalam jumlah yang cukup. Karena faktor intermitency dari tiupan angin inilah yang menyebabkan stabilitas jumlah energi yang dihasilkan oleh sebuah turbin angin tidak dapat diandalkan.

2.2.1.1.1 Komponen Turbin Angin

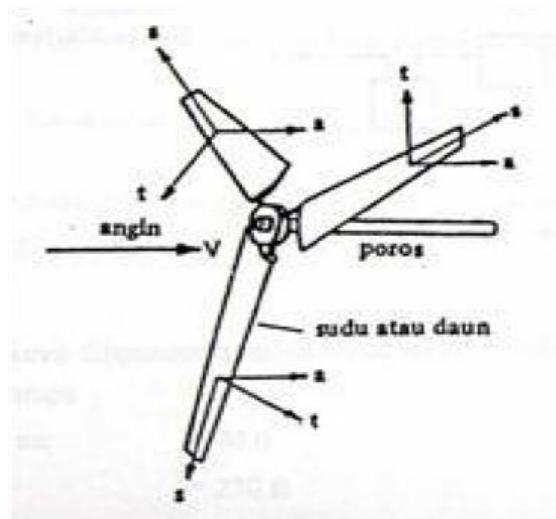
Dalam mengonversi energi kinetik menjadi energi mekanik *suatu wind turbine* memerlukan beberapa komponen-komponen yang mempunyai fungsi masing-masing. Khusus untuk turbin dengan kapasitas kecil di hindarkan dari pemakaian gearbox karena gearbox dapat menyebabkan bertambah beratnya turbin sehingga untuk 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 digunakan 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. Komponen-komponen tersebut antara lain adalah:



Gambar 2.1 Komponen Turbin Kecil (re.emsd.gov.hk)

1. Sudu (*Blade*/Baling-baling)

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.



Gambar 2.2 Gaya-gaya angin pada sudu (eri prasetyo, 2002)

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, maka rumus energi angin dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$E = 0.5 m v^2$$

Sedangkan jumlah massa yang melewati suatu tempat per unit waktu adalah :

$$m = A v \rho$$

dimana :

A = luas penampang (m²)

ρ = kerapatan (kg/m³)

sementara efisiensi turbin dapat di hitung dengan persamaan berikut

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

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.

3. Ekor

Ekor pada *wind turbine* berguna untuk mengubah posisi generator dan turbin agar sesuai dengan arah datangnya angin, 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 bagaian samping turbin hal ini menyebabkan turbin berputar pelan karena arah angin tidak pas di tengah turbin.

4. Generator

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 *ferromagnetic* permanen.

Setelah itu di sekeliling 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 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

Karena keterbatasan ketersediaan 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 ngenerator dihasilkan catu daya AC (Alternating Current). Oleh karena itu diperlukan rectifier-inverter untuk mengakomodasi keperluan ini.

2.2.1.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit Listrik Tenaga Surya pada pembangkit jenis ini biasanya menggunakan komponen sel surya dan efek fotovoltaiik yang telah lama ditemukan oleh ilmuan perancis, Alexander Edmond Becquerel, pada tahun 1839. Efek fotovoltaiik adalah pelepasan muatan positif dan negatif dalam materi padat melalalui cahaya. Bacquerel mengamati bahwa sebuah baterai jika di letakkan di bawah sinar matahari akan mempunya energi yang lebih besar. Meskipun pada masa hidupnya tidak terjadi hal-hal besar terhadap penemuannya ini namun kemudian efek fotovoltaiik ini telah menjadi dasar dari perkembangan industri besar dalam sektor energi terbarukan dari sinar matahari yang menjanjikan.

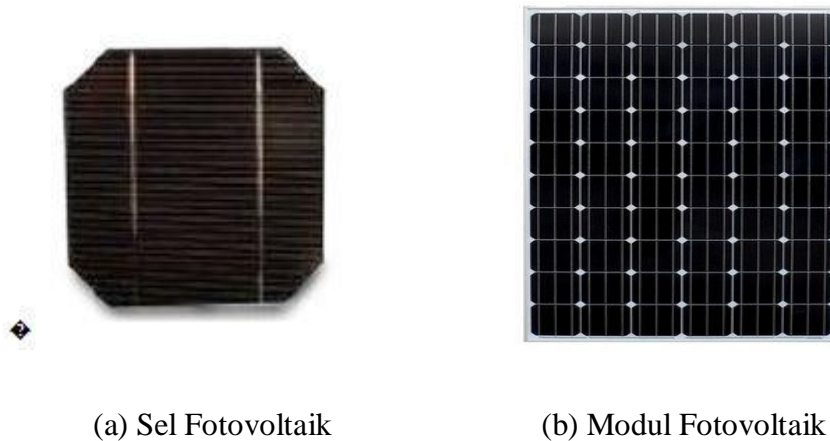
Sel surya adalah sebuah komponen elektronik yang dapat mengubah energi cahaya gelombang pendek menjadi energi listrik. Energi cahaya ini biasanay adalah cahaya matahari. Perubahan energi ini berlangsung di dalam sel surya dan prosesnya dinamakan fotovoltaiik. Sel surya sendiri dapat dikategorikan menjadi dua yaitu berdasarkan ketebalannya dan yaitu tebal dan tipis. Dan pada realitanya material yang paling banyak di pakai adalah silisum/silicon (Si). Biasanya sel surya yang banyak ditemukan di pasaran jenis dengan bahan silisium yang tinggi dan tingkat ketebalan kira-kira 0,3 mm. Agar dapat berfungsi dengan maksimal sel surya dengan material semikonduktor silisium (wafer) di berikan perlakuan khusus yang disebut dengan doping, yaitu memberikan atau menanam atom yang berbeda pada lapisan silisium/silikon tersebut. Pada sel surya ini juga beroperasi ketika jumlah cahaya yang diinginkan terpenuhi dengan baik jika intensitas atau

jumlah cahaya matahari minim, maka sel surya tidak akan bekerja maksimal dan sumber energi listrik yang dihasilkanpun tidak akan maksimal.

2.2.1.2.1 Jenis-jenis sel surya

a. 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

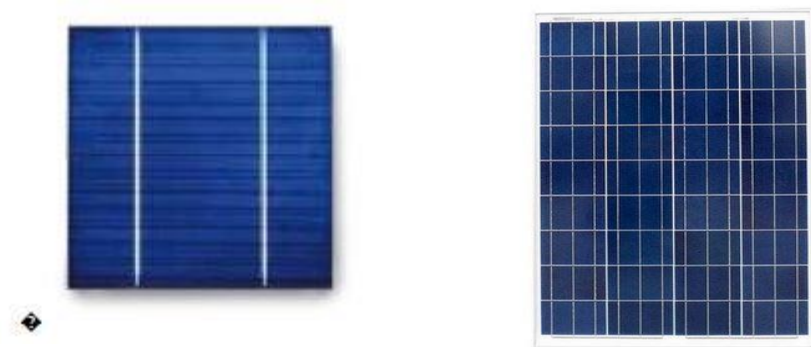


(Sumber : id.fmuser.net dan generasisolar.com)

Gambar 2.3 Sel dan Modul Fotovoltaik (PV) Jenis Monokristal

b. 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

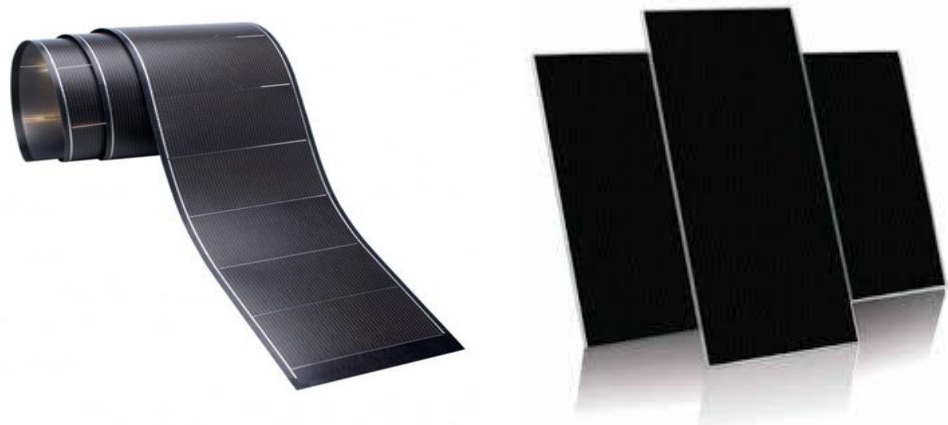
(b) Modul Fotovoltaik

(Sumber : id.fmuser.net dan genarasisolar.com)

Gambar 2.4 Sel dan Modul Fotovoltaik (PV) Jenis Polikristal

c. Amorfous

Sel surya dengan bahan amorfous silicon ini, awalnya banyak diterapkan pada kalkulator dan jam tangan. Namun seiring dengan perkembangan teknologi pembuatannya penerapannya menjadi semakin luas. Dengan teknik produksi yang disebut “*stacking*” (susun lapis), dimana beberapa lapis amorfous silicon ditumpuk membentuk sel surya, akan memberikan efisiensi yang lebih baik antara 6%-8%. Berikut contoh fotovoltaik jenis amorfous seperti yang terlihat pada gambar 2.5

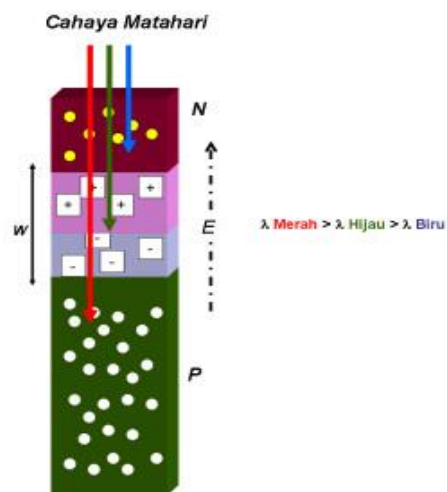


(Sumber : www.enersole.eu/prodotti/amorfous-silicon)

Gambar 2.5 Modul Fotovoltaik Jenis Amorfous

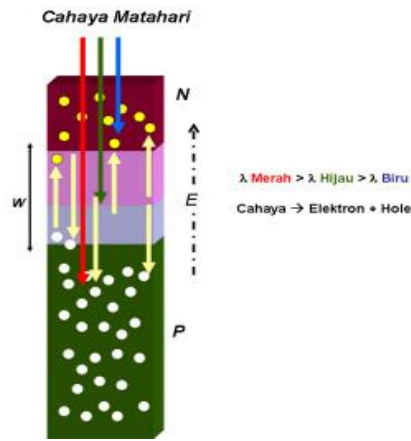
2.2.1.2.2 Proses Konversi Fotovoltaik

Sel surya atas p-n diode dengan *junction* yang diposisikan dekat dengan permukaan sel. Semikonduktor *n* terletak pada lapisan atas sambungan *p* yang menghadap ke arah datangnya cahaya matahari dan dibuat jauh lebih tipis dari semikonduktor *p*, sehingga cahaya matahari yang jatuh bisa masuk ke daerah deplesi dan semikonduktor *p* pada gambar 2.6.



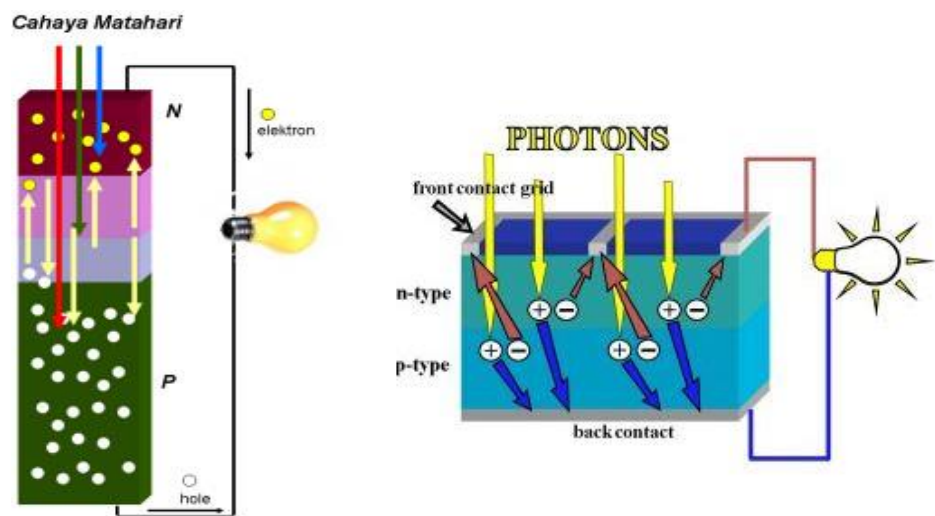
Gambar 2.6 Proses Masuk Sinar Matahari ke Sel Surya

Ketika cahaya matahari mengenai sel surya, maka elektron mendapat energi untuk melepaskan dirinya dari semikonduktor *n*, daerah deplesi maupun semikonduktor. Terlepasnya elektron ini meninggalkan hole pada daerah yang ditinggalkan oleh elektron yang disebut dengan *electron-hole photogeneration* yakni, terbentuknya pasangan elektron dan hole akibat cahaya matahari pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Proses Cahaya Masuk ke Elektron p

Cahaya matahari dengan panjang gelombang yang dilambangkan dengan simbol “lambda” sebagian di gambar yang berbeda, membuat fotogenerasi pada sambungan pn berada pada bagian sambungan *pn* yang berbeda pula. Selanjutnya, dikarenakan pada sambungan pn terdapat medan listrik *E*, elektron hasil fotogenerasi tertarik ke arah semikonduktor *n*, begitu pula dengan hole yang tertarik ke arah semikonduktor *p*. Apabila rangkaian kabel dihubungkan ke dua bagian semikonduktor, maka elektron 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 elektron pada gambar 2.8 berikut.



Gambar 2.8 Arus Listrik dalam Sel Surya

2.2.1.3 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. Tetapi pada kenyataannya tidak demikian karena adanya harmonisa. Inverter di bagi menjadi 2 macam yaitu, inverter satu fase dan inverter tiga fase. Dan menurut jenis gelombangnya ada tiga jenis inverter yang ada di pasaran yakni ; inverter gelombang sinus, gelombang sinus termodifikasi, dan inverter gelombang kotak. Berikut formula untuk menghitung kapasitas inverter:

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

Keterangan:

$$P_{\text{inverter}} = \text{Daya inverter (Watt)}$$

$$P_{\text{max}} = \text{Beban puncak (Watt)}$$

$$125\% = \text{Kompensasi}$$

2.2.1.4 Penyimpanan Energi

Sistem penyimpanan energi yang biasanya dipakai pada sel surya adalah baterai, dari segi penggunaannya baterai dapat diklasifikasikan menjadi 2 jenis yaitu:

a. Baterai Primer

Baterai primer adalah baterai yang hanya digunakan atau di pakai sekali saja. Pada waktu baterai dipakai, material dari salah satu elektroda menjadi larut dalam elektrolit dan tidak dapat dikembalikan dalam keadaan semula.

b. Baterai Sekunder

Baterai sekunder adalah baterai yang dapat digunakan kembali dan kembali dimuati.

Baterai berperan sangat penting dalam sistem sel surya karena baterai digunakan untuk membantu agar sel surya dapat memenuhi kestabilan suplai daya ke beban. Baterai pada sel surya mengalami proses siklus mengisi (*Charging*) dan mengosongkan (*Discharging*), tergantung pada ada tidaknya sinar matahari. Selama ada sinar matahari, panel surya akan menghasilkan listrik.

Apabila energi listrik yang dihasilkan tersebut melebihi kebutuhan bebannya, maka energi listrik tersebut akan segera dipergunakan untuk mengisi baterai. Sebaliknya, selama matahari tidak ada maka permintaan energi listrik akan di suplai oleh baterai. Proses pengisian dan pengosongan ini disebut satu siklus baterai. 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 adalah beberapa hal yang harus di perhatikan dalam baterai:

a. Tegangan baterai

Tegangan baterai adalah karakteristik dasar dari baterai, yang ditentukan oleh reaksi kimia dalam baterai.

b. Kapasitas baterai

Kapasitas baterai adalah ukuran muatan yang disimpan pada suatu baterai. Kapasitas menggambarkan sejumlah energi maksimum yang di keluarkan dari sebuah baterai dengan kondisi tertentu. Kapasitas baterai umumnya dinyatakan dalam Ampere Hour (Ah). Nilai Ah pada baterai menunjukkan nilai arus yang dapat dilepaskan, dikalikan dengan nilai waktu untuk pelepasan tersebut. Berdasarkan hal tersebut maka secara teoritis baterai 12 V, 200 Ah harus dapat memberikan baik 200 A selama satu jam, 50 A selama 4 jam, 4 A untuk 50 jam,

atau 1 A untuk 200 jam. Pada saat mendesain kapasitas baterai yang akan dipergunakan dalam system PLTS, penting juga untuk menentukan ukuran hari-hari otonomi (days of autonomy), (Polarpowerinc, 2011). Berikut formula untuk menghitung kapasitas baterai:

$$C_n = \frac{2 \times W \times F}{V_n}$$

Keterangan:

C_n = Kapasitas baterai (Ah)

$2 = 1 / 0,5$ (dimana 0,5 adalah besarnya Depth of Discharge dalam persen)

W = Konsumsi energi harian (Wh)

F = Jumlah hari otonomi

V_n = Tegangan sistem (Volt)

c. 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 ini dikarenakan kebutuhan suatu material/komponen untuk reaksi yang terjadi tidak mempunyai waktu yang cukup untuk bergerak ke posisi yang seharusnya. Jadi seharusnya arus discharging yang di gunakan sekecil mungkin, sehingga kapasitas baterai menjadi lebih tinggi.

Pengaturan aliran daya pada sistem dilakukan oleh *BCR (Battery Charge Regulator)*. Hal ini berguna untuk melindungi baterai dan peralatan lainnya dari berbagai penyebab kerusakan. Jenis-jenis *BCR* yang ada di pasaran yakni; *controller* seri, *controller* paralel, dan *controller* dengan *MPP(Maximum Power Point) tracker*. Berikut formula menghitung kapasitas *BCR*:

$$I_{BCR} = I_{sc \text{ panel}} \times N_{\text{panel}} \times 125\%$$

Keterangan:

I_{BCR} = Arus BCR (Ampere)

$I_{sc \text{ panel}}$ = Arus hubung-singkat panel surya (Ampere)

N_{panel} = Jumlah panel surya

125= Kompensasi

2.2.2 Kelebihan dan Kekurangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida

Dalam implementasinya di lapangan, sistem pembangkit listrik tenaga hibrida ini memiliki beberapa kelebihan apabila dibandingkan dengan sistem pembangkit yang berdiri sendiri namun juga pada sistem pembangkit tenaga hibrida ini juga pasti ada kekurangan karena tidak mungkin suatu sistem Pembangkit akan sempurna 100%, dan berikut ini adalah kelebihan dan kekurangan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida.

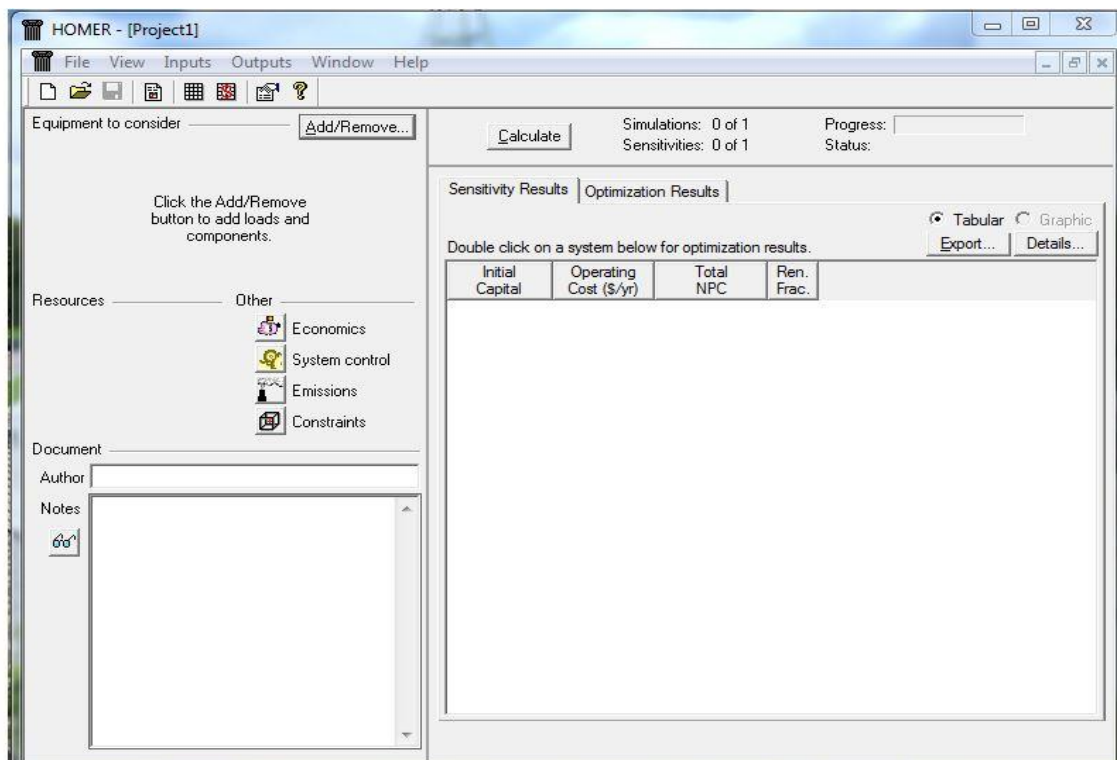
2.2.2.1 Kelebihan dari sistem PLTH

- a. Saling melengkapi keunggulan dan kelemahan masing-masing pembangkit karena pembangkit jenis hibrida dibangun minimal dengan dua jenis pembangkit.
- b. Mengoptimalkan kemampuan sistem pembangkit dalam menangani *peak load* maupun *base load*.
- c. Meningkatkan keandalan (*reliability*) dan kualitas suplai listrik dikarenakan listrik yang disuplai akan lebih stabil dan dapat diatur agar memiliki fungsi backup.
- d. Meningkatkan efisiensi sistem pembangkit dengan mengoperasikan pembangkit secara bergantian, sehingga energi yang dihasilkan tidak terbuang saat base load.
- e. Meningkatkan keandalan (*reliability*) pelayanan bagi masyarakat secara ekonomis.

2.2.2.2 Kekurangan dari sistem PLTH

- a. Memerlukan pemeliharaan secara berkala
- b. Perlu pengoperasian yang sangat aktif agar sistem selalu bekerja efisien pada kondisi beban yang bervariasi.
- c. Biaya operasi dan pemeliharaan relatif mahal
- d. Tidak dapat menangani peak load dengan baik tanpa adanya fasilitas penyimpanan energi.

2.2.3. Program HOMER



Gambar 2.9 Tampilan HOMER

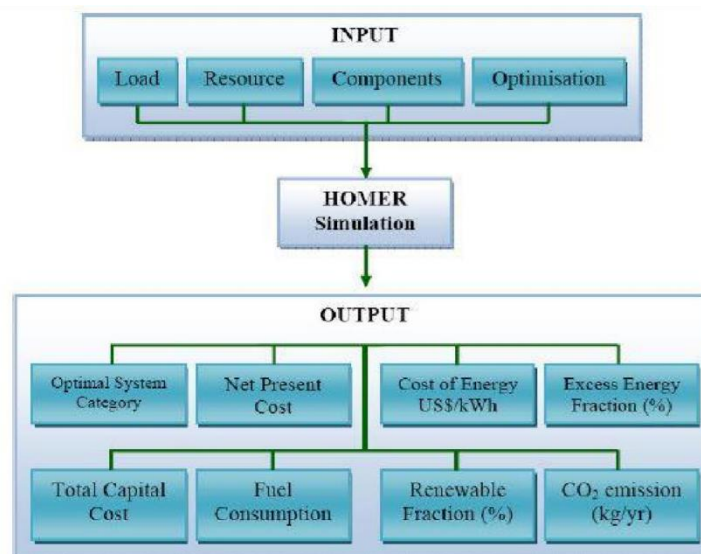
HOMER adalah singkatan dari the Hybrid Optimisation Model for Electric Renewable, adalah salah satu tool populer untuk desain suatu sistem PLH menggunakan energi terbarukan. HOMER mensimulasikan dan mengoptimalkan sistem pembangkit listrik baik *stand-alone* maupun *grid-connected* yang dapat terdiri dari kombinasi turbin angin photovoltaic, mikrohidro, biomassa, generator(diesel/bensin), microturbine, fuel-cell baterai dan penyimpanan

hidrogen, melayani beban listrik maupun termal (Lambert, Gilman, dan Lilienthal 2006).

HOMER mensimulasikan operasi sistem dengan menyediakan perhitungan energy balance untuk setiap 8,760 jam dalam setahun. Jika sistem mengandung baterai dan generator (diesel/bensin), HOMER juga dapat memutuskan, untuk setiap jam, apakah generator diesel/bensin beroperasi dan apakah baterai diisi atau dikosongkan. Selanjutnya HOMER menentukan konfigurasi terbaik sistem dan kemudian memperkirakan biaya instalasi dan operasi sistem selama masa operasinya (*life time cost*) seperti biaya awal, biaya penggantian komponen-komponen, biaya O&M, biaya bahan bakar, dan lain-lain.

Saat melakukan simulasi, HOMER menentukan semua konfigurasi sistem yang mungkin, kemudian ditampilkan berurutan menurut net present cost-NPC (atau disebut juga *life coast*). Jika analisa sensitivitas diperlukan, HOMER akan mengulangi proses simulasi untuk setiap variabel sensitivitas yang di terapkan. Error relatif tahun sekitar 3% dan eror relative bulanan sekitar 10%(Sheriff dan Ross 2003)

Dibawah ini merupakan arsitektur HOMER, yang di ambil dari Fung et al. (2002) dengan sedikit modifikasi. Ada tiga bagian utama HOMER, input, simulasi dan output.



Gambar 2.10 Arsitektur simulasi dan optimasi HOMER

2.2.4 Analisis Ekonomi

Pada analisis ini juga memuat tentang bagaimana membuat suatu keputusan (*decision making*) dimana dibatasi oleh ragam permasalahan yang berhubungan dengan seorang *engineering* sehingga menghasilkan pilihan yang terbaik dari berbagai alternatif pilihan. Keputusan yang diambil berdasarkan suatu proses analisa, teknik dan perhitungan ekonomi. Alternatif-alternatif timbul karena adanya keterbatasan dari sumber daya (manusia, material, uang, mesin, kesempatan dll). Dengan berbagai alternatif yang ada tersebut maka diperlukan sebuah perhitungan untuk mendapatkan pilihan yang terbaik secara ekonomi, baik ketika membandingkan berbagai alternatif rancangan, membuat keputusan investasi modal, mengevaluasi kesempatan finansial dll.

Analisis ekonomi teknik melibatkan pembuatan keputusan terhadap berbagai penggunaan sumber daya yang terbatas. Konsekuensi terhadap hasil keputusan biasanya berdampak jauh ke masa yang akan datang yang konsekuensinya itu tidak bisa di ketahui secara pasti, merupakan pengambilan keputusan dibawah ketidakpastian.

Menurut Sitinjak (2003), analisis ekonomi adalah salah satu analisis yang biasa dilakukan oleh pelaku usaha untuk mengetahui sejauh mana manfaat kegiatan tersebut terhadap si pelaku usaha ataupun bagi masyarakat pengguna hasil produksi atau jasa yang dihasilkan. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya bahwa diperlukan suatu perhitungan kelayakan teknis dari segi ekonomi agar dalam pengembangannya sistem pengelolaan investasi akan menghadapi kegagalan.

2.2.4.1 Model Ekonomi

A. Biaya Net Total Masa Kini (*Net Present Cost*)

Biaya Net Total Masa Kini (*Total Net Present Cost/NPC*) adalah keluaran ekonomi yang paling utama untuk nilai suatu sistem PLTH, HOMER akan mengurutkan data hasil keluaran simulasi dan optimasi

berdasarkan nilai NPC terendah, Total NPC dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$C_{NPC} = \frac{C_{ann, tot}}{CRF(i, R_{proj})}$$

dengan :

$C_{ann, tot}$ = total biaya tahunan (\$/tahun)

$CRF ()$ = faktor penutupan modal

i = suku bunga (%)

R_{proj} = lama waktu suatu proyek

N = jumlah tahun

Sedangkan faktor penutupan modal bisa didapatkan dengan menggunakan rumus sebagai berikut,

$$CRF(i, N) = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1}$$

B. Syarat Batas Biaya Energi (*Levelized Cost of Energy*)

Levelized Cost of Energy (COE) didefinisikan sebagai biaya rata-rata per kWh produksi energi listrik yang terpakai oleh sistem. Untuk menghitung COE biaya produksi energi listrik tahunan dibagi dengan total energi listrik terpakai yang diproduksi. Berikut adalah persamaannya.

$$COE = \frac{\text{total annualized cost}}{\text{consumption energy } \left(\frac{\text{kwh}}{\text{year}}\right)}$$

2.2.4.2 Proses Pengambilan Keputusan

Proses pengambilan keputusan tidak hanya sekedar memilih salah satu dari berbagai alternatif yang ada. Namun, untuk melakukan pengambilan keputusan yang rasional, setidaknya harus tercakup langkah-langkah berikut:

1. Mendefinisikan tujuan. Tujuan tidak harus luas atau sangat menyeluruh, tetapi boleh saja sangat sempit dan spesifik.

2. Mengenali adanya suatu masalah. Masalah harus dimengerti secara eksplisit sebelum mengambil langkah selanjutnya.
3. Mengumpulkan data-data yang relevan.
4. Mengidentifikasi alternatif-alternatif yang dapat dipilih. Terkadang dua jenis alternatif yang kadang diabaikan:
 - a. Alternatif untuk tidak melakukan apa-apa.
 - b. Alternatif untuk memperbaiki dan menggunakan kembali sebelum benar-benar tidak dapat digunakan dan harus diganti.

Tahapan dalam langkah ini adalah mencari alternatif-alternatif potensial dan menyaringnya menjadi alternatif-alternatif yang layak untuk dianalisis lebih lanjut.

5. Memilih kriteria untuk menentukan alternatif terbaik.
6. Membangun hubungan antara tujuan, alternatif, data dan kriteria yang dipilih untuk dijadikan sebuah model.
7. Memperkirakan akibat-akibat yang ditimbulkan dari setiap alternatif.
8. Pemilihan alternatif terbaik yang mencapai tujuan. Dalam memilih alternatif terbaik, semua akibat yang ditimbulkan harus dipertimbangkan, kemudian memilih yang sesuai dengan kriteria

2.2.5 Beban

Homer dalam pembuatan data beban, menggunakan dua sumber yaitu : data yang di impor dan data synthesis. Data yang di buat dalam jumlah 8,760 yang mempresentasikan data per tahunnya. Data synthesis daya yang dibuat berdasarkan data per bulan atau per hari yang kemudian dibuat menjadi satu tahun.