

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Bantul merupakan salah satu kabupaten di Indonesia yang memiliki potensi pembangkit listrik tenaga *hybrid* (PLTH) yang besar. Bantul merupakan kawasan yang berdekatan dengan banyak pantai, seperti pantai baru, samas, dan sebagainya, yang dapat menghembuskan angin sangat besar yang bisa di manfaatkan untuk energi terbarukan. Seperti Pembangkit listrik Tenaga Surya (PLTS dan PLTB) skala besar yang akan dimanfaatkan untuk kebutuhan masyarakat sekitar dan sebagai sarana penelitian dan pendidikan tentang pemanfaatan energi terbarukan. Berikut berbagai penelitian yang telah dilakukan sebagai tinjauan pustaka penelitian Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* sebagai pembangkit lokal di pantai baru, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta.

Rocky dkk (2015) meneliti tentang “Rancangan Penyediaan Energi Listrik Tenaga *hybrid* (PLTS dan PLTB) Untuk Membantu Pasokan Listrik Rumah Tinggal” perancangan ini untuk menjadikan rumah tinggal dengan sistem mandiri yang mana rumah tinggal selama ini selalu bergantung oleh PLN. Dengan ini sistem PLTS pada skema pembangkit *hybrid* dengan kapasitas inverter 1000w dengan gelombang kotak termodifikasi baterai 17,28Ah, dengan PLTS menghasilkan 297Wh/hari atau sebesar 5,25% dengan kontribusi PLTB 0,33%.

Irma UGM (2012) meneliti tentang “Analisis Kontribusi Kincir Angin” pada PLTH Pantai Baru. Penelitian ini memfokuskan dengan kerja kincir angin dengan setiap harinya di pembangkit listrik tenaga *Hybrid* Pantai Baru. Dengan

penelitian tersebut mendapatkan daya keluaran kincir angin pada jam 09.00 sampai jam 12.00, setelah itu pada sore hari daya akan semakin terus menurun secara bertahap.

Tri Suhartanto (2013) meneliti tentang “Analisis Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (ANGIN dan SURYA)” di Pantai Baru PandanSimo Bantul Yogyakarta. Dengan memfokuskan group timur dan group barat secara *ON-GRID* pertahun PLTH dengan komponen PLTB berkapasitas 45 kw dan PLTS 17 kw, sistem dapat menyalurkan energi listrik ke *grid* sebesar 31.557 kW pertahun.

Fazri dkk (2015) meneliti tentang “Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* Untuk Menggerakkan Pompa Air Di Area Pertanian” dengan keadaan masyarakat yang selalu bergantung dengan Pembangkit PLTN setiap tahun nya perekonomian dan kebutuhan selalu naik dengan adanya PLTH ini diharapkan dapat membantu sistem perekonomian masyarakat yang kebanyakan adalah petani dengan pengukuran radiasi matahari yang diambil dari BMKG SMPK plus sure. Pada energi surya pada output *pothovoltai* sebesar 193 W dengan waktu penyinaran 5 jam/hari, dan energi bayu output turbin angina sebesar 459,84 W dengan diameter 3m dan lama berhembus 7jam/hari

Sedangkan untuk penelitian yang akan dilakukan membedakan dengan penelitian sebelumnya adalah Plth menggunakan perangkat lunak aplikasi HOMER.

2.2 Landasan Teori

Energi terbarukan merupakan energi yang berasal dari proses alam yang berkelanjutan seperti tenaga surya, tenaga angin, arus air proses biologi dan panas

bumi. 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.

Menurut *World Council Of Renewable Energi (WCRE)* energi terbarukan meliputi matahari, Angin, Air, Gelombang Samudra, Panas bumi, Bioamassa dan sumber energi lain yang berasal dari energi matahari yang secara ilmiah terus menerus diperbarui. Bentuk energi yang digunakan berupa listrik, Hidrogen, Bahan Bakar, Energi Panas dan Mekanis.

2.3 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH)

Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH) adalah gabungan dari antara beberapa jenis pembangkit Listrik berbasis BBM dengan pembangkit listrik berbasis energi terbarukan umumnya sistem pembangkit yang banyak digunakan untuk PLTH adalah Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Pada prinsipnya peninjauan *kontribusi* daya dari masing-masing pembangkit listrik dalam PLTH ditinjau pada setiap saat. Pada PLTH *renewable energi* yang digunakan dapat berasal dari energi matahari angin, dan lain-lain yang di kombinasikan dengan *diesel-generator set* sehingga menjadi suatu pembangkit yang lebih *efisien, efektif* dan handal untuk dapat mensuplai kebutuhan energi listrik baik sebagai penerangan rumah atau kebutuhan perangkat listrik yang lain. Dengan adanya kombinasi dari sumber sumber energi tersebut, diharapkan dapat menyediakan daya listrik yang *kontinyu* dengan *efisiensi* yang paling *optimal*. Sebuah sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid* memiliki kemampuan untuk menyediakan 24 jam jaringan listrik berkualitas 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.

2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), dan *sel surya*, serta sistem *photovoltaic* (PV) merupakan istilah yang saling berkaitan dan banyak dijumpai dalam penggunaan tenaga surya untuk pembangkitan listrik seperti diketahui, unsur utama yang memungkinkan diperolehnya energi listrik dari cahaya matahari secara langsung adalah *sel surya*. Energi *photovoltaic* merupakan sumber energi listrik yang sesuai untuk berbagai penggunaan yang memerlukan listrik yang *relatif* terbatas. Energi *photovoltaic* merupakan sumber tenaga listrik yang paling ekonomis untuk sistem aplikasi yang berdiri sendiri, apabila konsumsi tenaga listriknya yang diperlukan antara 500 watt/jam sampai 1 kw/jam perhari. Salah satu contohnya adalah lampu penerangan rumah tangga. Selain itu keandalan (*Reliability*) sistem energi PV sangat tinggi dan memerlukan syarat yang minim. Dengan demikian penggunaan tenaga listrik dalam jumlah yang lebih tinggi dari 1 kw, sistem PV juga merupakan pilihan yang tepat.

1. Beberapa keunggulan *pothovoltaic*:
 - a. Konversi energi cahaya matahari secara langsung menjadi energi listrik tanpa peralatan yang bergerak membuat PV menjadi sangat sederhana.
 - b. Karna tanpa peralatan yang bergerak, oprasinya tidak bersuara (tidak berisik), sehingga tidak akan terjadi keausan suku cadang.
 - c. Dapat dikemas sesuai kebutuhan pengguna secara moduler.
 - d. Penampilan dan pemasangan sistem PV sangan sederhana.
 - e. Sistem PV praktis, tidak memerlukan pemeliharaan karna sifat kesederhanaan dan tidak memiliki komponen bergerak.

2. Keuntungan penggunaan PV antara lain
 - a. Penghematan energi, dan dapat menggantikan bahan bakar minyak maupun batu baru.
 - b. Produk masa depan yang sangat *potensial* dengan sumber daya yang tidak akan pernah habis.
 - c. Ramah lingkungan (emisi Co₂ tidak ada).
 - d. Mudah pemasangannya dan mudah pengoperasiannya.
 - e. Aman pemakaiannya.
 - f. Sangat mudah dan murah peralatannya.
 - g. *G-module* surya dapat digunakan lebih dari 20 tahun.

Walaupun PV sudah dikenal sejak lama, penciptaan dan pengembangan pesat dari motor bakar atau mesin pembakaran dalam (*internal combustion*

engine) dan penemuan bahan bakar minyak beserta teknologinya, berakibat mengurangi dukungan dalam pengembangan PV. Pengembangan PV mulai menggeliat lagi dalam era antariksa (satelit). Para ilmuwan tidak menemukan cara untuk mengalirkan listrik ke wahana antariksa (satelit) pada awal 1950-an. Para ilmuwan antariksa di *Bell Laboratories* di Amerika Serikat menemukan dan meningkatkan *efisiensi* sel surya dari bahan silikon (*silicon solar cell*) hal ini membuka pengembangan lebih lanjut pada penggunaan PV untuk satelit antariksa sampai tahun 1960-an (harjono dojodihardjo, 2012).

2.4.1 Sel Surya

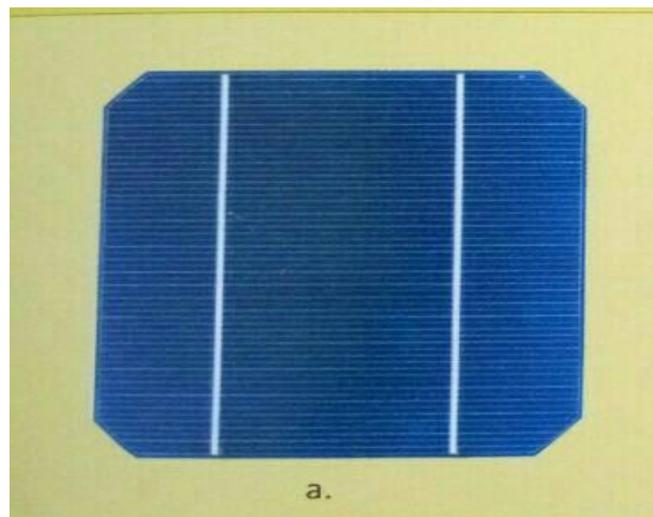
Sel Surya adalah sebuah komponen elektronik yang dapat mengubah energi cahaya gelombang pendek menjadi energi listrik. Energi ini biasanya adalah caahaya matahari. Perubahan energi ini berlangsung di dalam *sel surya* akan prosesnya disebut *pothovoltaic*. *pothovoltaic* adalah pelepasan muatan positif dan negatif dalam materi padat melalui cahaya. *Sel surya* di bagi menjadi beberapa kategori. Berdasarkan ketebalannya, *sel surya* di bagi menjadi sel tipis dan sel tebal. Menurut materialnya—semikonduktor, *sel surya* dapat di golongkan menjadi CdTe, GaAs, dan Si. dalam realitanya material yang paling banyak digunakan adalah silisium/silicon (Si). Struktur kristalnya, sel surya dapat dibagi menjadi monokristal, polikristal, dan amorp.

2.4.1.1 bagian-bagian Sel Surya

a. Monokristal

Sel surya yang terdiri atas p-n *Junction* monikristal silicon atau yang disebut juga *Monocrystalline*, mempunyai kemurnian yang tinggi

yaitu 99,999%. Monokristal biasanya berwarna biru gelap atau hitam, mempunyai struktur yang reguler/teratur dengan *efisiensi* tertinggi, yaitu 20% pada saat ini. Material berasal dari silisium kristal tunggal berbentuk silinder yang ditarik dari cairan silisium. Gergaji modern memotong Kristal tersebut dengan ketebalan kira-kira 0,2 mm dan menjadikannya semacam lempengan tipis yang disebut wafer. Wafer dilapisi dengan bahan kimia dan diberi kontak listrik. Wafer-wafer ini dipasang sedemikian rupa sehingga menjadi solar cell. Gambar 2.1 dapat dilihat *sel surya monokristal*

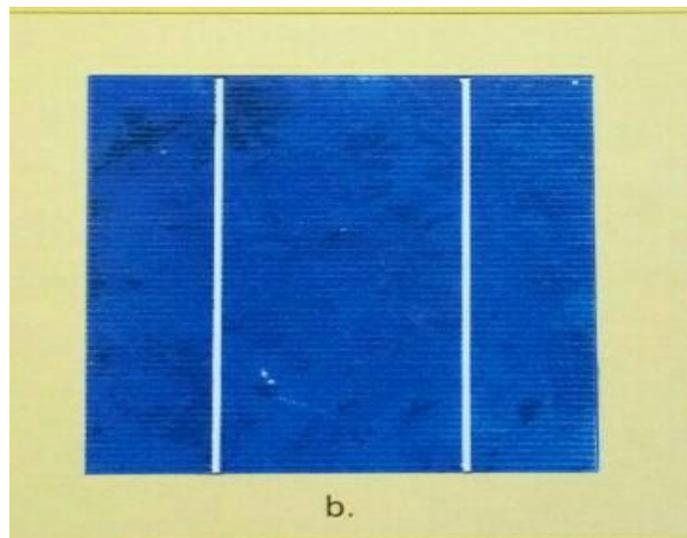


Gambar 2.1 *Sel Surya Monokristal*. Nugrha, dkk (2013)

b. Polikristal

Polikristal PV atau sel surya yang bermateri polikristal di kembangkan atas alasan mahalanya materi monokristal per kilogram. Sel

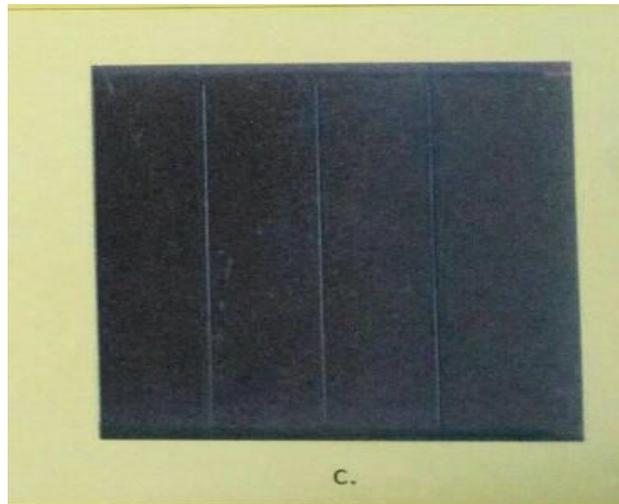
surya polikristal terdiri atas banyaknya Kristal silisium kecil, dan disebut juga sebagai multikristal. Biasanya berwarna biru. Polikristal dibuat dari coran silisium yang dipotong dengan gergaji modern dan memiliki bentuk seperti bunga Kristal es pada permukaannya. *Sel surya* polikristal mempunyai *efisiensi* lebih kecil dari monokristal, yaitu bisa mencapai 16%. Efisiensi polikristal tidak cepat menurun jika matahari redup. Gambar 2.2 sel surya polikristal



Gambar 2.2 *Sel Surya* Polikristal. Nugraha, dkk (2013)

c. Amorp

Sel surya bermateri Amorp Silikon merupakan teknologi *photovoltaik* dengan lapisan tipis atau *thin film*. Jenis ini terdiri dari silisium yang tipis yang di tempatkan (dengan metode uap) pada bahan dasar kaca jenis amorph memiliki efisiensi yang paling rendah, yaitu 6-8%. Gambar 2.3 *Sel Surya* amorphous



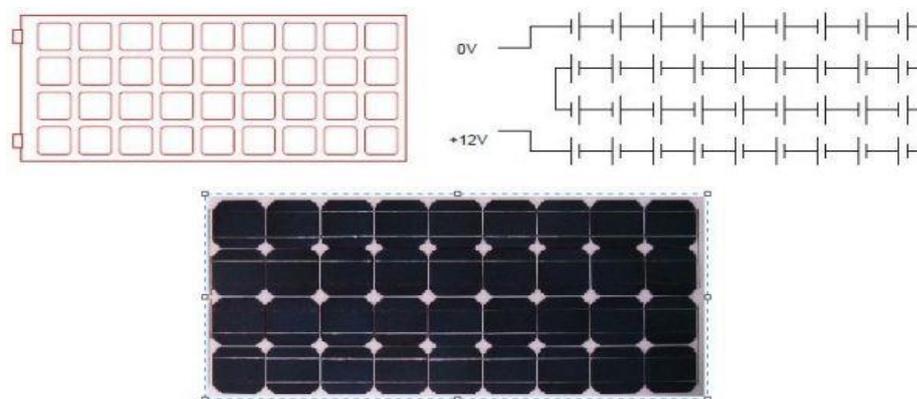
Gambar 2.3 *Sel Surya amorfous*. Nugraha, dkk (2013)

2.4.1.2 Prinsip Kerja Sell Surya

Sel surya atau juga sering disebut *photo voltaik* adalah divais yang mampu mengkonversi langsung cahaya matahari menjadi listrik. *Sel surya* bisa disebut sebagai pemeran utama untuk memaksimalkan potensi sangat besar energi cahaya matahari yang sampai ke bumi, walaupun selain di pergunakan untuk menghasilkan listrik, energi dari matahari juga bisa dimaksimalkan energi panasnya melalui sistem *solar thermal*.

Sel surya dapat di analogikan sebagai *divais* dengan dua terminal atau sambungan, dimana saat kondisi gelap atau tidak cukup cahaya berfungsi seperti dioda, dan saat disinari dengan cahaya matahari dapat menghasilkan tegangan. Ketika di sinari, umumnya satu *sel surya* komersial menghasilkan tegangan DC sebesar 0,5 sampai 1 volt, dan arus *short-circuit* dalam skala *milliampere per cm²*. Besar tegangan dan arus ini tidak cukup untuk berbagai aplikasi, sehingga umumnya sejumlah *sel surya* disusun secara seri membentuk modul surya. Satu

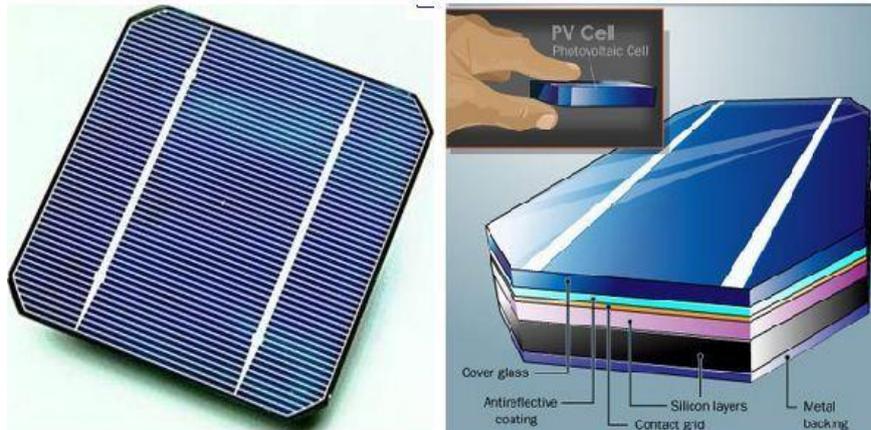
modul surya biasanya terdiri dari 28-36 *sel surya*, dan total menghasilkan tegangan DC sebesar 12 V dalam kondisi penyinaran standar (Air Mass 1.5). *Modul surya* tersebut bisa di gabungkan secara paralel atau seri untuk memperbesar total tegangan dan arus *output* nya sesuai dengan daya yang di butuhkan untuk aplikasi tertentu. Gambar 2.4 dibawah menunjukkan ilustrasi dari *modul surya*.



Gambar 2.4 Skema panel surya dari *sel surya* menjadi panel, Nugrha, dkk (2013)

2.4.1.3 Struktur Sel Surya

Sesuai dengan perkembangan sains & teknologi, jenis-jenis teknologi *sel surya* pun berkembang dengan berbagai inovasi. Ada yang disebut sel surya generasi satu, dua, tiga dan empat, dengan struktur atau bagian-bagian penyusun sel yang berbeda pula (Jenis-jenis teknologi surya akan dibahas di tulisan (“*Sel Surya* Jenis-jenis teknologi”). Dalam tulisan ini akan dibahas struktur dan cara kerja dari *sel surya* yang umum berada dipasaran saat ini yaitu *sel surya* berbasis material silikon yang juga secara umum mencakup struktur dan cara kerja sel surya generasi pertama (sel surya silikon) dan kedua (*thin film*/lapisan tipis).



Gambar 2.5 Ilustrasi *Sel Surya* dan Bagian-Bagiannya, Nugrha, dkk (2013)

Gambar diatas menunjukkan ilustrasi *sel surya* dan juga bagian-bagiannya.

Secara umum terdiri dari :

1. *Substrat/Metal Backing*

Substrat adalah material yang menopang seluruh komponen sel surya. Material *substrat* juga harus mempunyai konduktifitas listrik yang baik karena juga berfungsi sebagai kontak terminal positif *sel surya*, sehingga umumnya digunakan material metal atau logam seperti aluminium atau molybdenum. Untuk sel surya *dye-sensitized* (DSSC) dan sel surya organik, *substrat* juga berfungsi sebagai tempat masuknya cahaya sehingga material yang digunakan yaitu material yang konduktif tapi juga transparan seperti *idium tin oxide* (ITO) dan *flourine doped tin oxide* (FTO).

2. Material Semikonduktor

Material semikonduktor merupakan bagian inti dari *sel surya* yang biasanya mempunyai tebal sampai beberapa ratus mikrometer untuk *sel*

surya generasi pertama (silikon), dan 1-3 mikrometer untuk *sel surya* lapisan tipis. Material semikonduktor ini yang berfungsi menyerap cahaya dari sinar matahari. Untuk kasus gambar diatas, semikonduktor yang digunakan adalah material silikon, yang umum diaplikasikan di industri elektronik. Sedangkan untuk *sel surya* lapisan tipis, material semikonduktor yang umum digunakan dan telah masuk pasaran yaitu contohnya material Cu (In,Ga) (S,Se)₂ (CIGS), CdTe (kadmium telluride), dan amorphous silikon, disamping material-material semikonduktor potensial lain yang dalam sedang dalam penelitian intensif seperti Cu₂ZnSn(S,Se)₄ (CZTS) dan Cu₂O (copper oxide).

Bagian semikonduktor tersebut terdiri dari junction atau gabungan dari dua material semikonduktor yaitu semikonduktor tipe-p (material-material yang disebutkan diatas) dan tipe-n (silikon tipe-n, CdS,dll) yang membentuk p-n *junction*. P-n *junction* ini menjadi kunci dari prinsip kerja *sel surya*. Pengertian semikonduktor tipe-p, tipe-n, dan juga prinsip p-n *junction* dan sel surya akan dibahas dibagian “cara kerja sel surya”.

3. Kontak metal / *Contact Grid*

Selain *substrat* sebagai kontak positif, diatas sebagian material semikonduktor biasanya dilapiskan material metal atau material konduktif transparan sebagai kontak negatif.

4. Lapisan *Antireflektif*

Refleksi cahaya harus diminimalisir agar mengoptimalkan cahaya yang terserap oleh semikonduktor. Oleh karena itu biasanya *sel surya*

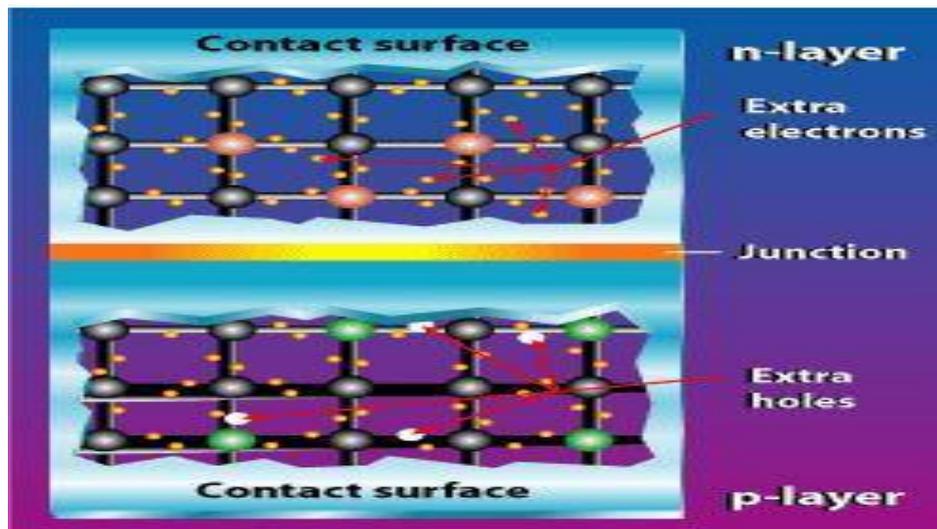
dilapisi oleh lapisan anti-*refleksi*. Material anti-*refleksi* ini adalah lapisan tipis material dengan besar *indeks* refraktif optik antara semikonduktor dan udara yang menyebabkan cahaya dibelokkan ke arah semikonduktor sehingga meminimumkan cahaya yang dipantulkan kembali.

5. *Enkapsulasi / Cover Glass*

Bagian ini berfungsi sebagai *enkapsulasi* untuk melindungi *modul surya* dari hujan atau kotoran.

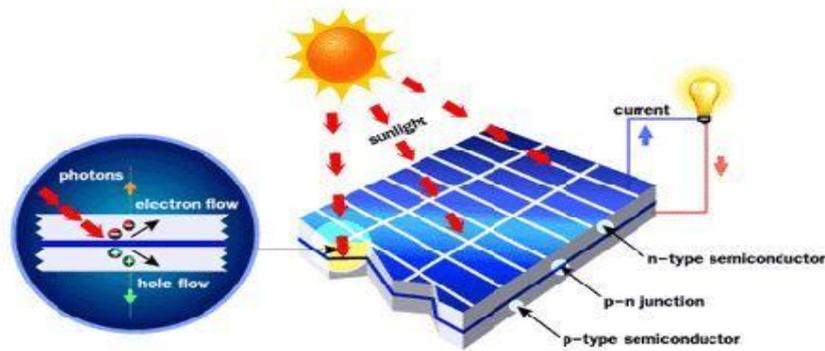
2.4.1.4 Cara Kerja Sel Surya

Sel surya konvensional bekerja menggunakan prinsip *p-n junction*, yaitu *junction* antara semikonduktor tipe-p dan tipe-n. Semikonduktor ini terdiri dari ikatan-ikatan atom yang dimana terdapat elektron sebagai penyusun dasar. Semikonduktor tipe-n mempunyai kelebihan elektron (muatan negatif) sedangkan semikonduktor tipe-p mempunyai kelebihan hole (muatan positif) dalam struktur atomnya. Kondisi kelebihan elektron dan hole tersebut bisa terjadi dengan mendoping material dengan atom dopant. Sebagai contoh untuk mendapatkan material silikon tipe-p, silikon didoping oleh atom boron, sedangkan untuk mendapatkan material silikon tipe-n, silikon didoping oleh atom fosfor. Ilustrasi dibawah Gambar pada 2.6 menggambarkan *junction* semikonduktor tipe-p dan tipe-n.



Gambar 2.6 *Junction* Semikonduktor Tipe-p dan Tipe-n, Nugrha, dkk (2013)

Peran dari *p-n junction* ini adalah untuk membentuk medan listrik sehingga elektron (dan hole) bisa diekstrak oleh material kontak untuk menghasilkan listrik. Ketika semikonduktor tipe-p dan tipe-n terkontak, maka kelebihan elektron akan bergerak dari semikonduktor tipe-n ke tipe-p sehingga membentuk kutub positif pada semikonduktor tipe-n, dan sebaliknya kutub negatif pada semikonduktor tipe-p. Akibat dari aliran elektron dan hole ini maka terbentuk medan listrik yang mana ketika cahaya matahari mengenai susuna *p-n junction* ini maka akan mendorong elektron bergerak dari semikonduktor menuju kontak negatif, yang selanjutnya di manfaatkan sebagai listrik, dan sebaliknya hole bergerak menuju kontak positif menunggu elektron datang, seperti di ilustrasikan pada Gambar dibawah.



Gambar 2.7 Cara kerja sel surya dengan p-n junction, Nugrha, dkk (2013)

2.4.1.5 Inverter

Inverter adalah peralatan elektronik yang berfungsi untuk mengubah arus searah (DC) dari panel surya atau baterai menjadi arus bolak balik (AC). Tegangan keluaran dapat bernilai tetap dan berubah-ubah sesuai kebutuhan, bentuk gelombang keluaran inverte idealnya gelombang sinus. Tetapi pada kenyataannya tidak demikian karena adanya *harminisasi*. Inverter dibagi menjadi 2 macam yaitu, inverter satu fase dan inverter 3 fase. Dan menurut jenis gelombangnya ada tiga jenis inverter yang dipasaran yakni: inveter gelombang sinus, gelombang inus termodifikasi, dan inverter gelombang kotak. Berikut formula untuk menghitung kapasitas inverter:

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

Keterangan:

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

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

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

2.4.1.6 Penyimpanan Baterai

sistem penyimpanan baterai yang biasanya dipakai pada *sel surya* adalah baterai, dari segi penggunaannya baterai dapat di klarifikasikan menjadi 2 jenis yaitu:

a. Baterai Primer

Baterai Primer adalah baterai yang hanya digunakan atau dipakai 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 suplay 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 disuplay 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 dari baterai, yang di tentukan oleh reaksi kimia dalam baterai

b. Kapasitas Baterai

Kapasitas baterai adalah ukuran yang disimpan pada suatu baterai. Kapasitas menggambarkan sejumlah energi maksimum yang dikeluarkan dari sebuah baterai dengan kondisi tertentu. Kapasitas baterai umumnya dinyatakan dalam *Ampere Hour* (Ah). Nilai Ah menunjukkan nilai arus dapat dilepaskan, di klikan 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 untuk menentukan hari-hari *otonomi* (*day of autonomy*), (*polarpowerinc*, 2011). Berikut formula untuk menghitung kapasitas baterai:

$$C_n = 2 \times W \times F / v_n$$

Keterangan:

C_n = Kapasitas Baterai (Ah)

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

W = Komsumsi energi harian (Wh)

$F = \text{Jumlah harian otonomi}$

$V_n = \text{Tegangan sistem (volt)}$

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 atau komponen untuk reaksi yang terjadi tidak mempunyai waktu yang cukup untuk bergerak keposisi yang seharusnya. Jadi seharusnya arus *charging* yang di gunakan sekecil mungkin, sehingga energi yang di gunakan kecil dan kapasitas baterai menjadi lebih tinggi.

Pengaturan aliran daya pada sistem dilakukan oleh BCR (*Baterai Charger 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* parallel, dan *controller* menggunakan MPP (*Maximum Power Poin*), *tracker*. Berikut rumus untuk menghitung kapasitas BCR.

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

Keterangan

I_{BCR}	= Arus BCR (Ampere)
$I_{sc \text{ pane}}$	= arus hubung-singkat panel surya (Ampere)
N_{panel}	= Jumlah panel surya
125%	= Kompensasi

2.5.1 Tenaga Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

Udara tidak pernah berhenti bergerak, selalu dinamis. Pada udara saat bergerak udara membawa panas dan air mengelilingi dunia, menciptakan cuaca. Udara yang bergerak dikenal dengan istilah angin. Angin bertiup karna ada perbedaan suhu dan tekanan udara antara satu tempat dengan tempat lain. Angin bertiup dari wilayah bertekanan tinggi atau wilayah bertekanan rendah. Daerah dengan suhu yang tinggi akan mempunyai tekanan udara yang relatif rendah, sebaliknya daerah dengan suhu relatif rendah akan mempunyai tekanan udara relatif tinggi suhu dimuka bumi ini salah satunya berasal dari energi panas yang dipancarkan oleh matahari. Di indonesia yang merupakan negara kepulauan yang berada dikawasan tropis, sinar matahari dipancarkan pada siang hari rata rata 12 jam sepanjang tahun. Perubahan suhu dan tekanan udara di atmosfer yang silih berganti menghasilkan gerakan angin yang cukup potensial sebagai sumber energi pembangkit listrik tenaga angin, yang sering disebut juga dengan istilah pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB).

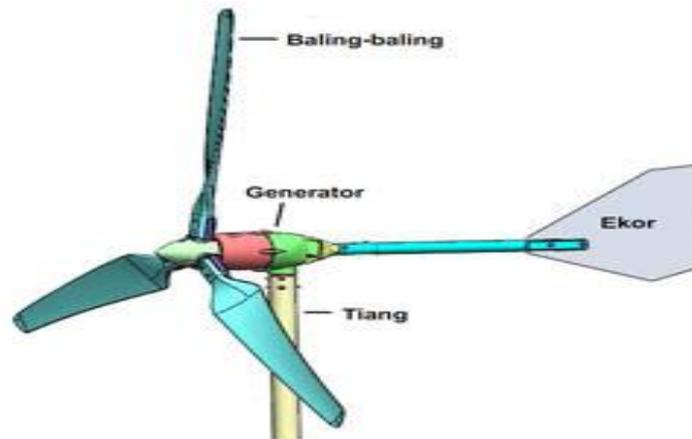
Keuntungan energi bayu antara lain:

1. Energi angin adalah sumber energi terbarukan dan bisa dikatakan sumber energi yang tak pernah habis.
2. Energi dibangkitkan tanpa mencemari lingkungan.
3. Energi angin memiliki potensi yang sangat besar untuk dibuat dalam skala yang besar
4. Seperti juga energi matahari dan energi air, energi angin memanfaatkan sumber energi yang alami.

5. Listrik dihasilkan oleh energi angin tanpa menimbulkan emisi yang bisa menyebabkan hujan asam atau gas rumah kaca.
6. Pada daerah remote, energi angin dapat digunakan sebagai sumber energi yang besar.
7. Dengan kombinasi bersama energi matahari, maka energi angin dapat menyediakan suplai listrik yang *steady* dan handal.
8. Turbin angin menggunakan *space* yang lebih kecil dibanding pembangkit pada umumnya. Umumnya turbin angin hanya menggunakan beberapa meter persegi untuk pondasinya, hal ini menyebabkan tanah disekitar turbin masih dapat digunakan untuk keperluan lainnya, misalnya untuk pertanian.

2.5.1.1 Komponen Turbin Angin.

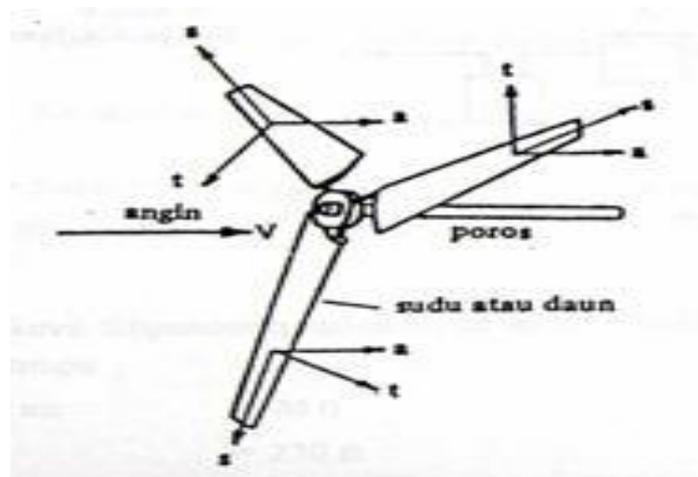
Dalam *mengkonversi* energi kinetic menjadi energi mekanis suatu *wind turbine* memerlukan beberapa komponen-komponen yang mempunyai fungsi masing-masing. Khusus untuk turbin kapasitas kecil di hindari dari pemakaian gearbox karena bisa menyebabkan bertambahnya berat turbin sehingga untuk mengubah arah turbin di butuhkan angin yang kencang untuk menerpa ekor yang berfungsi untuk mengarahkan arah turbin ke angin. Selain itu brake juga dihindari karena turbin berkapasitas kecil rata-rata di gunakan untuk kecepatan angin yang rendah, jadi ketika di tambah dengan komponn brake yang mempunyai gaya gesekan di brake meskipun dalam keadaan tidak mengeram gaya gesekan tetap ada, hal ini mengakibatkan putaran turbin semakin berat. Dibawah ini Gambar 2.11 menunjukkan Komponen-komponen tersebut antara lain.



Gambar 2.8 Komponen turbin angin

1. Sudu

Sudu adalah bagian rotor dari turbin angin. Rotor ini menerima energi kinetik dari angin dan dirubah ke dalam energi gerak putar, menggunakan prinsip-prinsip *perodinamika* seperti halnya pesawat.



Gambar 2.9 Gaya-gaya angin pada sudut

Pada prinsip gaya-gaya angin yang bekerja pada sudu-sudu kincir sumbu horizontal terdiri dari atas 3 komponennya 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 :

$$\mathbf{A} = \text{luas penampang (m}^2\text{)}$$

$$\mathbf{\rho} = \text{kerapatan (kg/m}^3\text{)}$$

Maka energi angin yang dihasilkan persatuan waktu adalah :

$$P = 0.5 \rho A v^3 \text{ Watt}$$

Efisiensi daya dari turbin adalah :

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

2. Tower

Tower atau tiang penyangga adalah bagian struktur dari turbin 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 berfungsi untuk melakukan furling atau penggulangan yang berfungsi untuk memperlambat putaran turbin saat terjadinya angin yang memiliki batas kecepatan putaran dengan cara menekuk ekor agar arah angin tidak mendarat pada bagian samping turbin berputar pelan karena arah angin tidak pas di tengah turbin.

4. Generator

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

5. Baterai

karena keterbatasan ketersediaan akan energi angin (tidak sepanjang hari angin akan 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 meningkat atau ketika kecepatan angin suatu daerah menurun, maka kebutuhan permintaan akan daya listrik kita perlu menyimpan sebagai energi yang dihasilkan ketika terjadi kelebihan daya pada saat turbin angin berputar kencang atau saat penggunaan daya masyarakat menurun. Penyimpanan energi ini diakomodasikan 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 mencatu rumah tangga (kurang lebih) selama 0.5 jam pada daya 780 watt. Keandalan dalam menggunakan alat ini adalah alat ini memerlukan catu daya DC (*direct current*) untuk men-charger/mengisi energi, sedangkan dari generator dihasilkan catu daya AC (*alternating current*). Oleh karena itu diperlukan rectifier-inverter untuk mengakomodasikan keperluan ini.

2.6.1 Kelebihan dan Kekurangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid

2.6.1.1 Kelebihan Sistem PLTH

1. Teknologi berbasis energi surya dan angin ini mampu mengatasi masyarakat ketergantungan terhadap sumber energi tak terbarukan, sehingga dapat mencegah kerusakan lingkungan.

2. Dapat menyediakan energi listrik dalam skala lokal regional maupun nasional.
3. Mampu memanfaatkan potensi sumber daya energi setempat yang ada.
4. Ramah lingkungan, dalam artian proses produksi dan pembuangan hasil produksinya tidak merusak lingkungan hidup disekitarnya.
5. Sistem hibrid yang dirancang mempunyai prinsip kerja satu arah yaitu pada saat PLTS on maka PLTB off dan begitu pula sebaliknya.
6. Tidak memerlukan sistem transmisi (*gearbox*) yang mengakibatkan rendahnya efisiensi turbin.
7. Pengendalian sistem dan pemeliharaan yang cenderung lebih mudah.
8. Sistem dapat digunakan secara terus menerus baik baik pada temperatur rendah dan pada kecepatan angin yang rendah sekalipun (2,5 – 3 m/s), sehingga efisiensi tinggi.
9. Teknologi ini hemat, berkualitas tinggi, dan ramah lingkungan.

2.6.1.2 Kekurangan Sistem PLTH

Kekurangan teknologi hybrid berbasis energi surya dan angin adalah sebaga berikut :

1. Biaya *investasi* pembangunan yang tinggi menimbulkan masalah *finansial* pada penyediaan modal awal.
2. Belum banyak industry yang bermain di wilayah ini karena biaya *investasi* yang masih cenderung mahal.
3. Belum ada pemetaan spasial yang spesifik dan akurat, yang secara khusus dilakukan untuk menghitung potensi aktual tiap daerah.

4. Secara ekonomis, energi ini belum bisa bersaing dengan energi fosil.
Mahal dan Rumitnya Instalasi Teknologi PLTB
5. Sedikitnya peneliti yang mencoba mengembangkan PLTB, mungkin pemerintah bisa membuat berbagai kebijakan yang mendukung berkembangnya PLTB ini, antara lain pemberian insentif atau bantuan dana bagi para peneliti yang berminat mengembangkan PLTB, mengurangi pajak *bea-import* bagi peralatan atau komponen yang berhubungan dengan pengembangan PLTB, ataupun mencari investor-investor yang siap membantu mengembangkan PLTB ini.

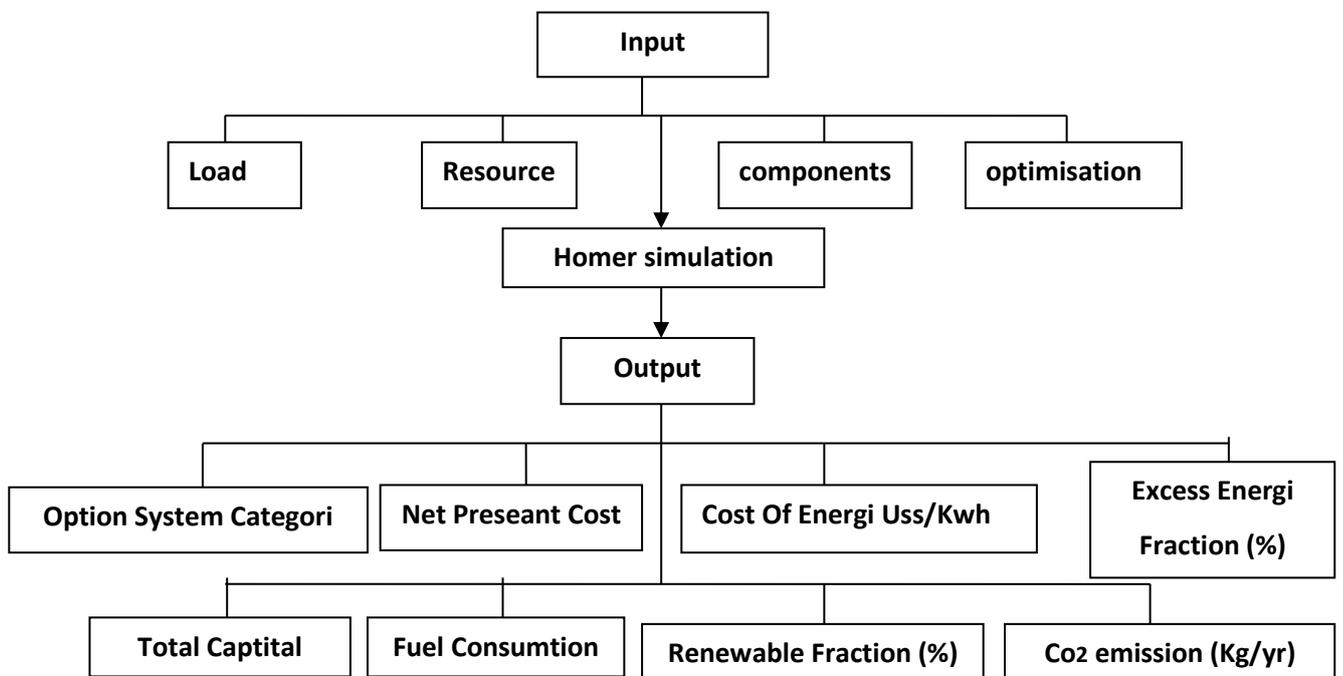
2.7.1 Program HOMER

HOMER adalah perangkat lunak yang digunakan untuk membantu pemodelan dari sebuah sistem tenaga listrik dengan menggunakan berbagai pilihan sumber daya terbarukan. Dengan HOMER, dapat diperoleh spesifikasi paling optimal dari sumber energi – sumber energi yang mungkin diterapkan. Kita harus memasukkan data *load* beban, data sumber daya matahari, sumber daya angin dari daerah di mana kita akan membangun BTS (beban), data ekonomi, data *constraints*, *system control inputs*, data emisi dan data harga solar. Dari peta dapat dilihat bahwa di daerah dekat BTS, tidak dijumpai sungai, laut atau gunung berapi, maka sumber energi yang mungkin dapat dipergunakan adalah generator diesel, sel surya (PV) dan turbin angin.

Salah satu tool populer untuk desain 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.

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 costs*) seperti biaya awal, biaya penggantian komponen-komponen, biaya O&M, biaya bahan bakar, dan lain-lain.



Gambar 2.10 Arsitektur Simulasi dan Optimasi HOMER

Saat melakukan simulasi HOMER menentukan semua *konfigurasi* sistem yang mungkin, kemudian di tampilkan berurutan menurut *net present cost-NPC* (*life coast*). Jika analisa *sensitivitas* di perlukan HOMER yang akan mengulang proses untuk setiap simulasi *variable sensitivitas* yang setiap di terapkan. Error *relative* tahun 3% dan error *relative* bulanan sekitar 10% (sheriff dan ross 2003).
Diatas merupakan arsitektur HOMER, yang di ambil dari Funget al.