

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1. Tinjauan Pustaka

Penelitian telah dilakukan untuk menemukan sumber energi terbarukan. Berikut ini merupakan rujukan penelitian yang pernah dilakukan untuk mendukung penulisan skripsi ini, diantaranya:

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan tentang Analisis Perencanaan Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Untuk Perumahan (Solar Home System), dapat disimpulkan bahwa seorang calon pengguna listrik tenaga surya harus memperhitungkan dan merencanakan secara matang dan teliti besarnya kebutuhan minimum energi listrik yang diperlukan sebelum membeli komponen-komponen sistem pembangkit listrik tenaga surya. Hal ini dimaksudkan untuk menghindari pembelian komponen yang tidak sesuai dengan kebutuhan. Mengingat harga investasi awal sistem pembangkit tenaga listrik ini relatif mahal. Apalagi bagi calon pengguna yang berada di daerah yang terpencil atau pulau-pulau kecil. (Salman, 2013)

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan tentang Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Atap Gedung Harry Hartanto Universitas Trisakti, dapat disimpulkan bahwa dengan area seluas 855 m<sup>2</sup>, maka dapat dipasang panel surya berkapasitas 300 wp sebanyak 312 buah. Dan inverter 20 kw sebanyak 5 buah. 2. Dari hasil perhitungan, didapatkan daya output yang dihasilkan perbulan adalah sebesar 10786,2 kwh. Dan daya output yang dihasilkan setiap tahun adalah sebesar 131.232,1 kwh. 3. Dari hasil pengumpulan data, didapatkan biaya investasi awal untuk plts ini adalah sebesar rp 2.869.777.544 dan biaya pemeliharaan beserta operasional adalah sebesar rp 28.697.775. 4. Dengan data dari hasil perhitungan roi tersebut yaitu pay back period selama 8 tahun 5 bulan, dibandingkan dengan estimasi rata-rata umur pemakaian panel surya yang mencapai 25 tahun, maka dapat disimpulkan bahwa pembuatan PLTS dengan menggunakan rancangan ini akan

menghasilkan income yang baik untuk masa yang akan datang. (Ramadhan dan Rangkuti, 2016)

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan tentang Pembangkit Listrik Energi Matahari Sebagai Penggerak Pompa Air Dengan Menggunakan Solar Cell, dapat disimpulkan prinsip kerja PLTS adalah mengubah energi panas matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan solar cell/ panel surya. Untuk merubah tegangan 12 volt dc dari accu/baterai menjadi tegangan 220 volt ac dengan menggunakan rangkaian inverter. Pada distribusi arus dan tegangan dari sumber solar cell, walaupun tegangan yang dihasilkan oleh solar cell  $\pm 17,2v$ , tetapi pendistribusiannya untuk mengisi baterai sangat stabil dengan maksimum rata-rata 13,5v karena semua distribusi pengisian diatur oleh solar charger controller. Tegangan dan arus akan mulai meningkat pada pagi hari pukul 06.00 wib sampai pukul 12.00 wib, kemudian akan mencapai level yang maksimum pada siang hari pukul 10.00-12.00wib, dan mulai turun hingga sore hari.

Faktor cuaca sangat mempengaruhi kinerja dari plts. Kelemahan dari sistem solar cell ini adalah kurangnya efisiensi daya pada kondisi cuaca yang sangat berubah-ubah. Jika cuaca cerah, proses pengisian sangatlah baik, itu semua juga tergantung pada karakteristik jenis solar cell tersebut. Pada daerah yang tinggi curah hujannya, sebaiknya digunakan panel yang berjenis polykristal yang dapat menghasilkan listrik dengan baik pada saat mendung. Kelemahan lain proses penyalaan pompa air ke tendon air ini hanya dilakukan secara manual sehingga proses pengisian pompa air ini dinyalakan oleh operator manusia.

Untuk pengembangan selanjutnya agar alat mendapatkan energi yang besar pada sel surya, maka sebaiknya dipasang sistem penjejak matahari otomatis yang dapat mengikuti arah cahaya matahari. Hal ini dilakukan supaya energi maksimal tercapai dengan catatan mengarahkan sel surya tegak lurus terhadap cahaya matahari. Pengembangan pada pompa air dibuat secara otomatis agar proses penyiraman kebun salak dapat dilakukan secara otomatis pada jam-jam penyiraman tertentu misal pagi hari pada jam 7 pagi dan sore hari pada jam 4 sore. (Subandi dan Slamet Hani, 2015)

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan tentang Potensi Pembangkitan Listrik Hybrid Menggunakan Vertical Axis Wind Turbine Tipe Savonius Dan Panel Sel Surya, dapat disimpulkan bahwa Rotor Savonius tipe II merupakan rotor terbaik untuk dikombinasikan dengan panel sel surya karena mampu menyerap tenaga angin dengan baik, hal itu bisa dilihat pada data pengujian skala Lab. Nilai arus mencapai 0,814 Ampere untuk kecepatan angin 9.1 m/s. Lebih baik dibandingkan tipe I dan tipe III pada kecepatan angin yang sama arus yang dihasilkan yaitu 0,524 Ampere dan 0,415 Ampere.

Pada pengujian skala lapangan di pantai dengan interval 15 menit, diperoleh hasil yang sama yaitu tipe II merupakan sudu rotor yang terbaik, dengan tegangan 8.08 volt dan arus 0.018 Amper. Daya keluaran sel surya nilai terbaik ada di waktu siang hari dengan lebih dari 80 % dari daya puncaknya, yaitu 8 watt. Rotor turbin tipe II merupakan rotor turbin yang terbaik untuk digunakan bersama dengan sel surya sebagai sistem hybrid energi angin dan energi matahari. Potensi daya listrik keluaran maksimal yang mampu dihasilkan oleh pembangkit listrik dengan sistem hibrid lebih besar dibandingkan apabila masing-masing sistem bekerja sendiri-sendiri. (Winarto dan Sugiyanto, 2013)

## **2.2. Dasar Teori**

### **2.2.1. Energi Terbarukan**

Menurut definisi International Energy Agency (IEA), energi terbarukan adalah energi yang berasal dari proses alam yang diisi ulang terus menerus. Contohnya adalah energi yang dihasilkan baik secara langsung ataupun tidak langsung dari matahari atau panas bumi. IEA mengklasifikasikan energi terbarukan seperti matahari, angin, biomassa, geothermal, hydropower, laut, biofuel, dan hidrogen.

Banyak orang biasanya menunjuk energi terbarukan sebagai antitesis untuk bahan bakar fosil. Bahan bakar fosil memiliki tradisi penggunaan yang panjang, sementara sektor energi terbarukan baru saja mulai berkembang dan ini adalah alasan utama mengapa energi terbarukan masih sulit bersaing dengan bahan bakar fosil.

Energi terbarukan masih perlu meningkatkan daya saing, karena sumber energi yang terbarukan masih membutuhkan subsidi untuk tetap kompetitif dengan bahan bakar fosil dalam hal biaya (meskipun harus juga disebutkan bahwa perkembangan teknologi pada energi terbarukan terus menurunkan harganya dan hanya masalah waktu energi terbarukan akan memiliki harga yang kompetitif tanpa subsidi dibandingkan bahan bakar tradisional.)

Selain dalam hal biaya, energi terbarukan juga perlu meningkatkan efisiensinya. Sebagai contoh, panel surya rata-rata memiliki efisiensi sekitar 15% yang berarti banyak energi akan terbuang dan ditransfer menjadi panas, bukan menjadi bentuk lain energi yang bermanfaat untuk digunakan.

Energi terbarukan sering dianggap sebagai cara terbaik untuk mengatasi pemanasan global dan perubahan iklim. Energi terbarukan akan mengurangi penggunaan bahan bakar fosil yang terus kita bakar, mengurangi pembakaran bahan bakar fosil berarti juga mengurangi emisi karbon dioksida dan memberikan dampak perubahan iklim yang lebih rendah. Sebenarnya ada banyak alasan untuk memilih energi terbarukan dibandingkan bahan bakar fosil, tetapi kita tidak boleh lupa bahwa energi terbarukan masih belum siap untuk sepenuhnya menggantikan bahan bakar fosil. Di tahun-tahun mendatang hal itu pasti terjadi, tetapi tidak untuk sekarang. Hal yang paling penting untuk dilakukan sekarang adalah mengembangkan teknologi yang berbeda bagi energi terbarukan guna memastikan bahwa saat datangnya hari dimana bahan bakar fosil habis, dunia tidak perlu khawatir dan energi terbarukan sudah siap untuk menggantikannya.

### **2.2.2 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid**

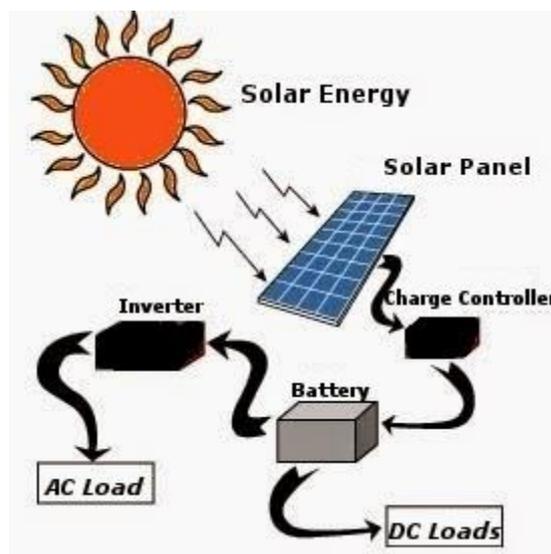
Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid (PLTH) adalah suatu sistem pembangkit listrik yang memadukan beberapa jenis pembangkit listrik, pada umumnya antara pembangkit listrik berbasis BBM dengan pembangkit listrik berbasis energi terbarukan. Merupakan solusi untuk mengatasi krisis BBM dan ketiadaan listrik di daerah terpencil, pulau-pulau kecil dan pada daerah perkotaan.

Umumnya terdiri atas: modul foto voltaik, turbin angin, generator diesel, baterai, dan peralatan kontrol yang terintegrasi. Tujuan PLTH adalah mengkombinasikan

keunggulan dari setiap pembangkit sekaligus menutupi kelemahan masing-masing pembangkit untuk kondisi-kondisi tertentu, sehingga secara keseluruhan sistem dapat beroperasi lebih ekonomis dan efisien. Mampu menghasilkan daya listrik secara efisien pada berbagai kondisi pembebanan

Untuk mengetahui unjuk kerja sistem pembangkit hibrida ini, hal – hal yang perlu dipertimbangkan antara lain: karakteristik beban pemakaian dan karakteristik pembangkitan daya khususnya dengan memperhatikan potensi energi alam yang ingin dikembangkan berikut karakteristik kondisi alam itu sendiri, seperti pergantian siang malam, musim dan sebagainya.

### 2.2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya



Gambar 2.1. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya.

(sumber : *Majalah Ilmiah Bina Teknik*, 2013:69)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah pembangkit listrik yang mengubah energi surya menjadi energi listrik. Pembangkitan listrik bisa dilakukan dengan dua cara, yaitu secara langsung menggunakan photovoltaic dan secara tidak langsung dengan pemusatan energi surya. Photovoltaic mengubah secara langsung energi cahaya menjadi listrik menggunakan efek elektrik. Pemusatan energi surya

menggunakan sistem lensa atau cermin dikombinasikan dengan sistem pelacak untuk memfokuskan energi matahari ke satu titik untuk menggerakkan mesin kalor.

Sistem pemusatan energi surya (*concentrated solar power*, CSP) menggunakan lensa atau cermin dan sistem pelacak untuk memfokuskan energi matahari dari luasan area tertentu ke satu titik. Panas yang terkonsentrasikan lalu digunakan sebagai sumber panas untuk pembangkitan listrik biasa yang memanfaatkan panas untuk menggerakkan generator. Sistem cermin parabola, lensa reflektor Fresnel, dan menara surya adalah teknologi yang paling banyak digunakan. Fluida kerja yang dipanaskan bisa digunakan untuk menggerakkan generator (turbin uap konvensional hingga mesin Stirling) atau menjadi media penyimpan panas.

Ivanpah Solar Plant yang terletak di Gurun Mojave akan menjadi pembangkit listrik tenaga surya tipe pemusatan energi surya terbesar dengan daya mencapai 377 MegaWatt. Meski pembangunan didukung oleh pendanaan Amerika Serikat atas visi Barrack Obama mengenai program 10000 MW energi terbarukan, namun pembangunan ini menuai kontroversi karena mengancam keberadaan satwa liar di sekitar gurun.

Sel surya atau sel photovoltaic adalah alat yang mengubah energi cahaya menjadi energi listrik menggunakan efek fotoelektrik. Dibuat pertama kali pada tahun 1880 oleh Charles Fritts.

Pembangkit listrik tenaga surya tipe photovoltaic adalah pembangkit listrik yang menggunakan perbedaan tegangan akibat efek fotoelektrik untuk menghasilkan listrik. Solar panel terdiri dari 3 lapisan, lapisan panel P di bagian atas, lapisan pembatas di tengah, dan lapisan panel N di bagian bawah. Efek fotoelektrik adalah di mana sinar matahari menyebabkan elektron di lapisan panel P terlepas, sehingga hal ini menyebabkan proton mengalir ke lapisan panel N di bagian bawah dan perpindahan arus proton ini adalah arus listrik.

Di Indonesia, PLTS terbesar pertama dengan kapasitas  $2 \times 1$  MW terletak di Pulau Bali, tepatnya di daerah Karangasem dan Bangli. Pemerintah mempersilakan siapa saja untuk meniru dan membuatnya di daerah lain karena PLTS ini bersifat *opensource* atau tidak didaftarkan dalam hak cipta.

Karangasem, Bali - Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Karangasem 1 MWp *On-Grid*, PLTS Bangli 1 MWp *On-Grid* dan 6 Unit PLTS 15 kWp *Off-Grid* resmi beroperasi. Hal ini ditandai dengan diresmikannya ke-3 PLTS tersebut oleh Menteri ESDM, Jero Wacik pada Senin (25/2). Peresmian ini dipusatkan di Desa Kubu Kabupaten Karangasem, Provinsi Bali. Peresmian ditandai dengan penekanan tombol sirine yang menandai beroperasinya PLTS secara interkoneksi ke Jaringan milik PT PLN (Persero).

Proyek pembangunan PLTS ini merupakan yang pertama di Indonesia sekaligus yang terbesar sementara ini, dan juga merupakan proyek percontohan bagi seluruh provinsi yang ada di Indonesia dalam rangka memenuhi kebutuhan energi listrik di daerahnya dengan menggunakan bahan bakar non-BBM. "Saya ingin seluruh provinsi di Indonesia yang kekurangan listrik pakailah matahari. Ini terobosan yang paling baik. Kita mulai di Pulau Dewata, Bali. Saya minta gubernur-gubernur yang ingin nyontek boleh datang ke Bali. Lihat disini ke Karangasem dan Bangli. Dan nanti kalau mau dibangun di daerahnya nanti saya akan supervisi. Saya akan kirim tim ke sana untuk membantu. Ini cara kita untuk membangun listrik dengan menggunakan listrik non-BBM.

Sejarah PLTS tidak terlepas dari penemuan teknologi sel surya berbasis silikon pada tahun 1941. Ketika itu Russell Ohl dari Bell Laboratory mengamati silikon polikristalin akan membentuk *built in junction*, karena adanya efek segregasi pengotor yang terdapat pada leburan silikon. Jika berkas foton mengenai salah satu sisi *junction*, maka akan terbentuk beda potensial di antara *junction*, dimana elektron dapat mengalir bebas. Sejak itu penelitian untuk meningkatkan efisiensi konversi energi foton menjadi energi listrik semakin intensif dilakukan. Berbagai tipe sel surya dengan beraneka bahan dan konfigurasi geometri pun berhasil dibuat.

#### Keuntungan penggunaan PLTS

- Merupakan energi terbarukan yang tidak pernah habis
- Menghemat listrik dalam jangka panjang
- Mengurangi pemanasan global

- Bersih dan ramah lingkungan
- Umur panel surya yang cukup panjang
- Tidak tergantung dengan PLN
- Sangat cocok untuk daerah tropis seperti Indonesia

#### Prinsip kerja listrik tenaga surya

Pembangkit listrik tenaga surya itu konsepnya sederhana. Yaitu mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Cahaya matahari merupakan salah satu bentuk energi dari sumber daya alam. Sumber daya alam matahari ini sudah banyak digunakan untuk memasok daya listrik di satelit komunikasi melalui sel surya. Sel surya ini dapat menghasilkan energi listrik dalam jumlah yang tidak terbatas langsung diambil dari matahari, tanpa ada bagian yang berputar dan tidak memerlukan bahan bakar. Sehingga sistem sel surya sering dikatakan bersih dan ramah lingkungan.

Bandingkan dengan sebuah generator listrik, ada bagian yang berputar dan memerlukan bahan bakar untuk dapat menghasilkan listrik. Suaranya bising. Selain itu gas buang yang dihasilkan dapat menimbulkan efek gas rumah kaca (green house gas) yang pengaruhnya dapat merusak ekosistem planet bumi kita.

Sistem sel surya yang digunakan di permukaan bumi terdiri dari panel sel surya, rangkaian kontroler pengisian (charge controller), dan aki (batere) 12 volt yang maintenance free. Panel sel surya merupakan modul yang terdiri beberapa sel surya yang digabung dalam hubungan seri dan paralel tergantung ukuran dan kapasitas yang diperlukan. Yang sering digunakan adalah modul sel surya 20 watt atau 30 watt. Modul sel surya itu menghasilkan energi listrik yang proporsional dengan luas permukaan panel yang terkena sinar matahari.

Rangkaian kontroler pengisian aki dalam sistem sel surya itu merupakan rangkaian elektronik yang mengatur proses pengisian akinya. Kontroler ini dapat

mengatur tegangan aki dalam selang tegangan 12 volt plus minus 10 persen. Bila tegangan turun sampai 10,8 volt, maka kontroler akan mengisi aki dengan panel surya sebagai sumber dayanya. Tentu saja proses pengisian itu akan terjadi bila berlangsung pada saat ada cahaya matahari. Jika penurunan tegangan itu terjadi pada malam hari, maka kontroler akan memutus pemasokan energi listrik. Setelah proses pengisian itu berlangsung selama beberapa jam, tegangan aki itu akan naik.

Bila tegangan aki itu mencapai 13,2 volt, maka kontroler akan menghentikan proses pengisian aki itu. Rangkaian kontroler pengisian itu sebenarnya mudah untuk dirakit sendiri. Tapi, biasanya rangkaian kontroler ini sudah tersedia dalam keadaan jadi di pasaran. Memang harga kontroler itu cukup mahal kalau dibeli sebagai unit tersendiri. Kebanyakan sistem sel surya itu hanya dijual dalam bentuk paket lengkap yang siap pakai. Jadi, sistem sel surya dalam bentuk paket lengkap itu jelas lebih murah dibandingkan dengan bila merakit sendiri.

Biasanya panel surya itu letakkan dengan posisi statis menghadap matahari. Padahal bumi itu bergerak mengelilingi matahari. Orbit yang ditempuh bumi berbentuk elip dengan matahari berada di salah satu titik fokusnya. Karena matahari bergerak membentuk sudut selalu berubah, maka dengan posisi panel surya itu yang statis itu tidak akan diperoleh energi listrik yang optimal. Agar dapat terserap secara maksimum, maka sinar matahari itu harus diusahakan selalu jatuh tegak lurus pada permukaan panel surya.

Jadi, untuk mendapatkan energi listrik yang optimal, sistem sel surya itu masih harus dilengkapi pula dengan rangkaian kontroler optimal untuk mengatur arah permukaan panel surya agar selalu menghadap matahari sedemikian rupa sehingga sinar matahari jatuh hampir tegak lurus pada panel suryanya. Kontroler seperti ini dapat dibangun, misalnya, dengan menggunakan mikrokontroler 8031. Kontroler ini tidak sederhana, karena terdiri dari bagian perangkat keras dan bagian perangkat lunak. Biasanya, paket sistem sel surya yang lengkap belum termasuk kontroler untuk menggerakkan panel surya secara otomatis supaya sinar matahari jatuh tegak lurus. Karena itu, kontroler macam ini cukup mahal.

#### 2.2.4. Energi Surya

Energi surya adalah energi yang didapat dengan mengubah energi panas surya (matahari) melalui peralatan tertentu menjadi sumber daya dalam bentuk lain. Energi surya menjadi salah satu sumber pembangkit daya selain air, uap, angin, biogas, batu bara, dan minyak bumi (Valdy, 2012).

Teknik pemanfaatan energi surya mulai muncul pada tahun 1839, ditemukan oleh A.C. Becquerel. Ia menggunakan kristal silikon untuk mengkonversi radiasi matahari, namun sampai tahun 1955 metode itu belum banyak dikembangkan. Selama kurun waktu lebih dari satu abad itu, sumber energi yang banyak digunakan adalah minyak bumi dan batu bara.

Upaya pengembangan kembali cara memanfaatkan energi surya baru muncul lagi pada tahun 1958. Sel silikon yang dipergunakan untuk mengubah energi surya menjadi sumber daya mulai diperhitungkan sebagai metode baru, karena dapat digunakan sebagai sumber daya bagi satelit angkasa luar.

Energi surya telah banyak diterapkan dalam kehidupan sehari-hari. Beberapa aplikasi energi surya adalah:

1. Pencahayaan bertenaga surya.
2. Pemanasan bertenaga surya, untuk memanaskan air, memanaskan dan mendinginkan ruangan.
3. Desalinisasi dan desinfektifikasi.
4. Untuk memasak, dengan menggunakan kompor tenaga surya.

Energi surya merupakan salah satu energi yang sedang giat dikembangkan saat ini oleh Pemerintah Indonesia karena sebagai negara tropis, Indonesia memiliki potensi energi surya yang besar.

Berdasarkan data penyinaran matahari yang dihimpun dari 18 lokasi di Indonesia, radiasi surya di Indonesia dapat diklasifikasikan berturut-turut sebagai berikut :

1. Kawasan Barat Indonesia (KBI) dengan distribusi penyinaran sekitar 4,5 kWh/m<sup>2</sup>/hari dengan variasi bulanan 10%.
2. Kawasan Timur Indonesia (KTI) dengan distribusi penyinaran sekitar 5,1 kWh/m<sup>2</sup>/hari dengan variasi bulanan sekitar 9%.

### 2.2.5. Energi Surya Sebagai Sumber Energi Utama

Indonesia terletak dikawasan iklim khalutistiwa, sinar surya rata-rata harian adalah 4.000-5.000 Wj/m<sup>2</sup>, sedangkan rata-rata jumlah jam penyinaran antara 4 hingga 8 jam (Supranto, 2015). Indonesia mengalami jumlah hari hujan sekitar 170 hari pertahun, rata-rata suhu udara antara 26 hingga 32°C dan kelembapan relative rata-rata 80-90 % dan tidak pernah turun di bawah 60 %. Sinar surya mempunyai dua komponen yaitu :

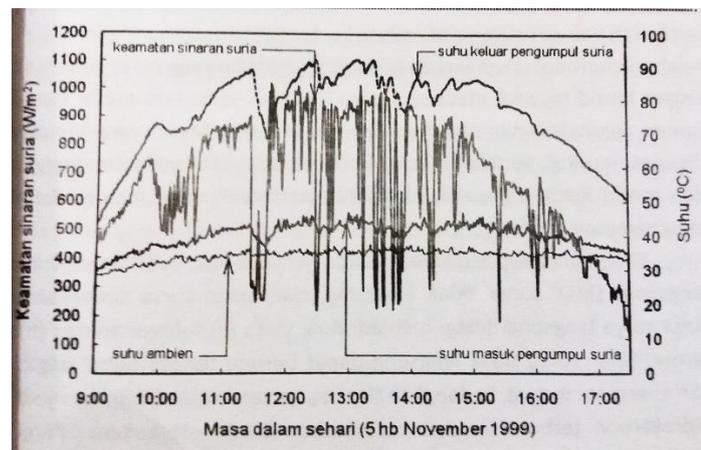
1. Sinar surya langsung

Komponen sinar surya langsung adalah yang dihantar tanpa diserap dalam awan dan langsung mengenai bumi.

2. Sinar surya tak langsung

Sinar surya tak langsung adalah sinar surya yang menimpa awan dan mengenai bumi.

Energi surya merupakan sumber energi utama dalam kehidupan di dunia dan memegang peranan paling penting dari berbagai sumber energi lain yang dimanfaatkan oleh manusia. Matahari memancarkan energi snagt besar ke segala arah. Sinar surya yang sampai ke permukaan bumi di pengaruhi oleh banyak faktor diantaranya adalah letak geografis, musim, dan iklim. Daerah di sekitar khalutistiwa menerima sinar surya rata-rata tahunan sekitar 600-700 W/m<sup>2</sup>, selama 8 jam sehari. Dalam keadaan tertentu kadang lebih 1.000 W/m<sup>2</sup>, tetapi ini hanya terjadi dalam waktu yang sangat singkat, seperti terlihat pada gambar 2.2. Hal ini dikarnakan pengaruh adanya awan, debu, dan uap air di udara.



Gambar 2.2 Kurva Intensitas Sinar Surya Ketika Cuaca Cerah

(sumber : Supranto, *Teknologi Tenaga Surya*, 2015:23)

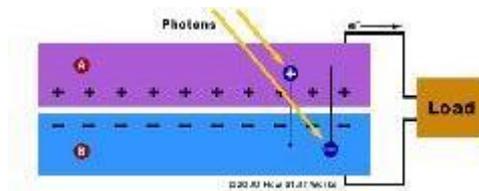
### 2.2.6. Teknologi Energi Surya

Teknologi energi surya dibagi menjadi dua, yaitu teknologi surya termal (TST) dan energi surya listrik atau lebih dikenal dengan teknologi energi surya. Teknologi energi surya sudah cukup berkembang di berbagai negara. Karena efisiensinya yang masih rendah menyebabkan teknologi energi surya memerlukan tempat yang luas. Hal ini menjadi salah satu penyebab teknologi energi surya menjadi mahal. Selain itu mahalnya sel surya juga disebabkan karena komponen sel surya yang masih impor dari negara lain. Pembangkit Listrik Energi Surya (PETS) atau juga disebut Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sudah banyak di gunakan untuk kebutuhan energi listrik ditempat-tempat terpencil. Dalam skala kecil banyak terpasang sel surya untuk memenuhi kebutuhan energi listrik seperti penerangan, pemasok energi lampu pengatur lalu lintas jalan, pendingin obat-obatan di pusat kesehatan masyarakat (puskesmas) di daerah terpencil. Tenaga listrik yang dihasilkan dari sel surya ini adalah listrik DC, sehingga dapat langsung digunakan untuk elektrolisis seperti pembuatan hidrogen. Modal awal untuk pemanfaatan surya listrik masih mahal, sehingga belum banyak diminati bagi pemanfaatannya. Pemanfaatan surya termal sudah banyak dilakukan seperti, untuk pengeringan, penyulingan, dan penghangat ruangan.

### 2.2.7. Panel *Photovoltaic*

Panel *Photovoltaic* (PV panel) adalah sumber listrik pada sistem pembangkit listrik tenaga surya, material semikonduktor yang mengubah secara langsung energi sinar matahari menjadi energi listrik. Daya listrik yang dihasilkan PV berupa daya DC. Istilah “*photovoltaic*” ini telah digunakan dalam bahasa Inggris sejak tahun 1849. Tulisan ini akan membahas konversi energi, tipe, dan perkembangan dari panel *photovoltaic*.

Sekarang ini, kebanyakan PV panel menggunakan *Poly Crystalline Silicon* sebagai material semikonduktor – *photocell* mereka. Prinsipnya adalah sama dengan prinsip diode p-n junction. Gambar di bawah ini mengilustrasikan prinsip kerja PV panel.



Gambar 2.3 Prinsip p-n *Junction* Pada PV Panel

(sumber : Suprianto, *Panel Photovoltaic* , 2010:23)

Seperti yang kita ketahui atom Silikon memiliki 14 elektron yang terdistribusi pada orbit-orbit elektron kulit terluarnya. Dua kulit terdalamnya masing-masing terisi penuh dengan dua elektron dan berikutnya delapan elektron. Sementara, kulit yang lebih di luar hanya memiliki empat elektron, yang terisi hanya sebagian dari kondisi penuhnya. Akibat dari sifat atom yang cenderung untuk melengkapi elektron pada kulit terluar mereka, yang akan terjadi selanjutnya adalah pertukaran elektron atom silikon dengan atom silikon tetangga mereka yang mengakibatkan terbentuknya ikatan dengan elektron dari satu atom tetangga. Bentuk ini merupakan murni struktur *crystallin*.

Jika setiap orbital kulitnya sudah terisi penuh, maka atom yang bersangkutan akan menjadi sebuah material konduktor yang baik. Agar dapat selalu berfungsi seperti ini, sebagai bahan semikonduktor, silikon biasanya dicampurkan dengan bahan tertentu (biasa disebut materi doping); Bahan campuran ini akan mengakibatkan atom silikon akan lebih mudah mencapai kondisi penuh, seperti atom dengan lebih dari empat elektron valensi, seperti fosfor yang memiliki 5 elektron valensi. Elektron bebas ini yang akan menjadi elektron yang membawa energi listrik. Ketidakmurnian ini disebut *dopant*.

*Photocell* yang memiliki p-n junction, memiliki 2 buah bahan semikonduktor, tipe-p dan tipe-n. Tipe-tipe ini dianggap sebagai bahan campuran (*impurities*); bergantung dari jenis *dopant* yang diberikan kepada cristallyn. Untuk kasus *photocell*, biasanya menggunakan hidrogen dan fosfor sebagai tipe-n yang ditambahkan pada cristallyn. Sementara, Boron digunakan sebagai tipe-p. Kedua tipe ini kemudian ditempatkan bersama sebagai p-n junction.

Ketika *photocell* dikenai sinar matahari, artinya photon dari sinar matahari akan menumbuk semikonduktor (Silikon). Ada 3 kemungkinan yang bisa terjadi ketika photon menumbuk silikon;

1. Photon menembus silikon; biasanya terjadi pada photon dengan energi yang rendah.
2. Photon dipantulkan oleh permukaan silikon.
3. Photon diserap oleh permukaan silikon.

Untuk kemungkinan yang ketiga, apabila energi photon lebih tinggi dari celah pita silikon, maka energi yang diserap dari photon akan diberikan ke elektron untuk berpindah dari pita valensi ke pita konduksi, dan berikutnya akan menghasilkan satu lubang (*hole*), meninggalkan *hole* yang sebelumnya diisi oleh elektron yang lain dari beban. Sirkulasi elektron inilah yang akan mengakibatkan aliran arus dari

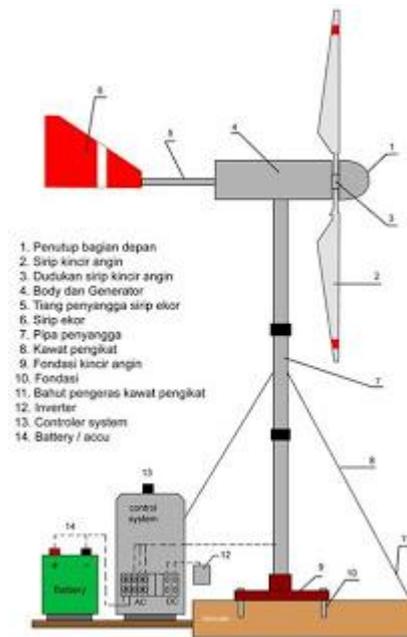
PV panel; sehingga silikon ini bisa berfungsi sebagai material yang mampu mengkonversikan energi photon ke energi listrik.

Kebanyakan energi photon ini lebih besar dari celah pita silikon. PV panel yang ada saat ini lebih banyak mengubah perbedaan energi yang dibawa foton dan celah pita silikon menjadi panas (akibat getaran – kisi disebut fonon) daripada mengkonversikannya menjadi energi listrik. Sewaktu energi photon yang diserap melebihi band energy-nya, maka electron yang menyerap energy photon akan ber-eksitasi ke konduksi band untuk kemudian relaksasi ke level energi konduksi terendah. Energi yang dilepas inilah yang jadi *losses heat*.

#### **2.2.8. 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 angin menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin atau kincir angin. Sistem pembangkitan listrik menggunakan angin sebagai sumber energi merupakan sistem alternatif yang sangat berkembang pesat, mengingat angin merupakan salah satu energi yang tidak terbatas di alam. ( Lugi Romadoni, 2013)

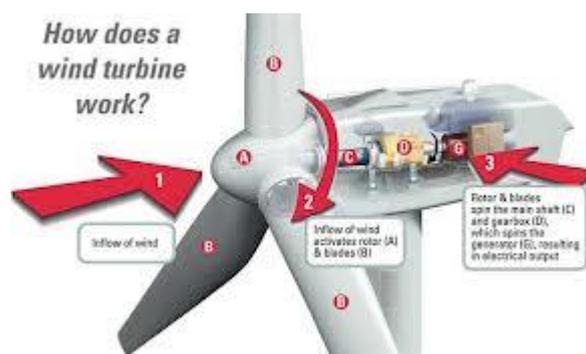
## 2.2.9. Komponen pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin



Gambar 2.4 Komponen Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin

(sumber : Lugi romadoni, kincir angin , 2013:23)

Sistem pembangkit listrik tenaga angin ini merupakan pembangkit listrik yang menggunakan turbin angin (*wind turbine*) sebagai peralatan utamanya.



Gambar 2.5 Turbin Angin

(sumber : Lugi romadoni, turbin angin , 2013:23)

Turbin angin terbagi dalam dua kelompok yaitu turbin sumbu horisontal, turbin angin sumbu horisontal biasanya baik memiliki dua atau tiga modul. Jenis lain yaitu

turbin sumbu vertikal. Turbin ini berbilah tiga dioperasikan melawan angin, dengan modul menghadap ke angin.

Turbin skala *utility* memiliki berbagai ukuran, dari 100 kilowatt sampai dengan beberapa megawatt. Turbin besar dikelompokkan bersama-sama ke arah angin, yang memberikan kekuatan massal ke jaringan listrik. Turbin kecil tunggal, di bawah 100 kilowatt dan digunakan pada rumah, telekomunikasi, atau pemompaan air. Turbin kecil kadang-kadang digunakan dalam kaitannya dengan generator diesel, baterai dan sistem fotovoltaik. Sistem ini disebut sistem angin hibrid dan sering digunakan di lokasi terpencil di luar jaringan, di mana tidak tersedia koneksi ke jaringan utilitas.

#### **2.2.10 Proses Pembangkitan Listrik Tenaga Angin**

Suatu pembangkit listrik dari energi angin merupakan hasil dari penggabungan dari beberapa turbin angin sehingga akhirnya dapat menghasilkan listrik.

Cara kerja dari pembangkitan listrik tenaga angin ini yaitu awalnya energi angin memutar turbin angin. Turbin angin bekerja berkebalikan dengan kipas angin (bukan menggunakan listrik untuk menghasilkan listrik, namun menggunakan angin untuk menghasilkan listrik). Kemudian angin akan memutar sudut turbin, lalu diteruskan untuk memutar rotor pada generator di bagian belakang turbin angin. Generator mengubah energi gerak menjadi energi listrik dengan teori medan elektromagnetik, yaitu poros pada generator dipasang dengan material ferromagnetik 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 karena terjadi perubahan fluks ini akan dihasilkan tegangan dan arus listrik tertentu. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan ini disalurkan melalui kabel jaringan listrik untuk akhirnya digunakan oleh masyarakat. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh generator ini berupa AC (*alternating current*) yang memiliki bentuk gelombang kurang lebih sinusoidal. Energi Listrik ini biasanya akan disimpan kedalam baterai sebelum dapat dimanfaatkan.

### **2.2.11. Kelebihan dan Kekurangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin**

Keuntungan utama dari penggunaan pembangkit listrik tenaga angin secara prinsipnya adalah disebabkan karena sifatnya yang terbarukan. Hal ini berarti eksploitasi sumber energi ini tidak akan membuat sumber daya angin yang berkurang seperti halnya penggunaan bahan bakar fosil. Oleh karenanya tenaga angin dapat berkontribusi dalam ketahanan energi dunia di masa depan. Tenaga angin juga merupakan sumber energi yang ramah lingkungan, dimana penggunaannya tidak mengakibatkan emisi gas buang atau polusi yang berarti ke lingkungan.

Penetapan sumber daya angin dan persetujuan untuk pengadaan ladang angin merupakan proses yang paling lama untuk pengembangan proyek energi angin. Hal ini dapat memakan waktu hingga 4 tahun dalam kasus ladang angin yang besar yang membutuhkan studi dampak lingkungan yang luas.

Emisi karbon ke lingkungan dalam sumber listrik tenaga angin diperoleh dari proses manufaktur komponen serta proses pengerjaannya di tempat yang akan didirikan pembangkit listrik tenaga angin. Namun dalam operasinya membangkitkan listrik, secara praktis pembangkit listrik tenaga angin ini tidak menghasilkan emisi yang berarti. Jika dibandingkan dengan pembangkit listrik dengan batubara, emisi karbon dioksida pembangkit listrik tenaga angin ini hanya seperseratusnya saja. Disamping karbon dioksida, pembangkit listrik tenaga angin menghasilkan sulfur dioksida, nitrogen oksida, polutan atmosfer yang lebih sedikit jika dibandingkan dengan pembangkit listrik dengan menggunakan batubara ataupun gas. Namun begitu, pembangkit listrik tenaga angin ini tidak sepenuhnya ramah lingkungan, terdapat beberapa masalah yang terjadi akibat penggunaan sumber energi angin sebagai pembangkit listrik, diantaranya adalah dampak visual, derau suara, beberapa masalah ekologi, dan keindahan.

Dampak visual biasanya merupakan hal yang paling serius dikritik. Penggunaan ladang angin sebagai pembangkit listrik membutuhkan luas lahan yang tidak sedikit dan tidak mungkin untuk disembunyikan. Penempatan ladang angin pada lahan yang masih dapat digunakan untuk keperluan yang lain dapat menjadi persoalan tersendiri bagi penduduk setempat. Selain mengganggu pandangan akibat

pemasangan barisan pembangkit angin, penggunaan lahan untuk pembangkit angin dapat mengurangi lahan pertanian serta pemukiman. Hal ini yang membuat pembangkitan tenaga angin di daratan menjadi terbatas. Beberapa aturan mengenai tinggi bangunan juga telah membuat pembangunan pembangkit listrik tenaga angin dapat terhambat. Penggunaan tiang yang tinggi untuk turbin angin juga dapat menyebabkan terganggunya cahaya matahari yang masuk ke rumah-rumah penduduk. Perputaran sudu-sudu menyebabkan cahaya matahari yang berkelap-kelip dan dapat mengganggu pandangan penduduk setempat.

Efek lain akibat penggunaan turbin angin adalah terjadinya derau frekuensi rendah. Putaran dari sudu-sudu turbin angin dengan frekuensi konstan lebih mengganggu daripada suara angin pada ranting pohon. Selain derau dari sudu-sudu turbin, penggunaan *gearbox* serta generator dapat menyebabkan derau suara mekanis dan juga derau suara listrik. Derau mekanis yang terjadi disebabkan oleh operasi mekanis elemen-elemen yang berada dalam *nacelle* atau rumah pembangkit listrik tenaga angin. Dalam keadaan tertentu turbin angin dapat juga menyebabkan interferensi elektromagnetik, mengganggu penerimaan sinyal televisi atau transmisi gelombang mikro untuk perkomunikasian.

Penentuan ketinggian dari turbin angin dilakukan dengan menganalisa data turbulensi angin dan kekuatan angin. Derau aerodinamis merupakan fungsi dari banyak faktor seperti desain sudu, kecepatan perputaran, kecepatan angin, turbulensi aliran masuk. Derau aerodinamis merupakan masalah lingkungan, oleh karena itu kecepatan perputaran rotor perlu dibatasi di bawah 70m/s. Beberapa ilmuwan berpendapat bahwa penggunaan skala besar dari pembangkit listrik tenaga angin dapat merubah iklim lokal maupun global karena menggunakan energi kinetik angin dan mengubah turbulensi udara pada daerah atmosfer.

Pengaruh ekologi yang terjadi dari penggunaan pembangkit tenaga angin adalah terhadap populasi burung dan kelelawar. Burung dan kelelawar dapat terluka atau bahkan mati akibat terbang melewati sudu-sudu yang sedang berputar. Namun dampak ini masih lebih kecil jika dibandingkan dengan kematian burung-burung akibat kendaraan, saluran transmisi listrik dan aktivitas manusia lainnya yang melibatkan pembakaran bahan bakar fosil. Dalam beberapa studi yang telah

dilakukan, adanya pembangkit listrik tenaga angin ini dapat mengganggu migrasi populasi burung dan kelelawar. Pembangunan pembangkit angin pada lahan yang bertanah kurang bagus juga dapat menyebabkan rusaknya lahan di daerah tersebut.

Ladang angin lepas pantai memiliki masalah tersendiri yang dapat mengganggu pelaut dan kapal-kapal yang berlayar. Konstruksi tiang pembangkit listrik tenaga angin dapat mengganggu permukaan dasar laut. Hal lain yang terjadi dengan konstruksi di lepas pantai adalah terganggunya kehidupan bawah laut. Efek negatifnya dapat terjadi seperti di Irlandia, dimana terjadinya polusi yang bertanggung jawab atas berkurangnya stok ikan di daerah pemasangan turbin angin. Studi baru-baru ini menemukan bahwa ladang pembangkit listrik tenaga angin lepas pantai menambah 80 – 110 dB kepada noise frekuensi rendah yang dapat mengganggu komunikasi ikan paus dan kemungkinan distribusi predator laut. Namun begitu, ladang angin lepas pantai diharapkan dapat menjadi tempat pertumbuhan bibit-bibit ikan yang baru. Karena memancing dan berlayar di daerah sekitar ladang angin dilarang, maka spesies ikan dapat terjaga akibat adanya pemancingan berlebih di laut.

Dalam operasinya, pembangkit listrik tenaga angin bukan tanpa kegagalan dan kecelakaan. Kegagalan operasi sudu-sudu dan juga jatuhnya es akibat perputaran telah menyebabkan beberapa kecelakaan dan kematian. Kematian juga terjadi kepada beberapa penerjun dan pesawat terbang kecil yang melewati turbin angin. Reruntuhan puing-puing berat yang dapat terjadi merupakan bahaya yang perlu diwaspadai, terutama di daerah padat penduduk dan jalan raya. Kebakaran pada turbin angin dapat terjadi dan akan sangat sulit untuk dipadamkan akibat tingginya posisi api sehingga dibiarkan begitu saja hingga terbakar habis. Hal ini dapat menyebarkan asap beracun dan juga dapat menyebabkan kebakaran berantai yang membakar habis ratusan *acre* lahan pertanian. Hal ini pernah terjadi pada Taman Nasional Australia dimana 800 km<sup>2</sup> tanah terbakar. Kebocoran minyak pelumas juga dapat terjadi dan dapat menyebabkan terjadinya polusi daerah setempat, dalam beberapa kasus dapat mengkontaminasi air minum.

Meskipun dampak-dampak lingkungan ini menjadi ancaman dalam pembangunan pembangkit listrik tenaga angin, namun jika dibandingkan dengan

penggunaan energi fosil, dampaknya masih jauh lebih kecil. Selain itu penggunaan energi angin dalam kelistrikan telah turut serta dalam mengurangi emisi gas buang.

#### **2.2.12. Perkembangan PLTA di Indonesia dan Dunia**

Pada saat ini, sistem pembangkit listrik tenaga angin mendapat perhatian yang cukup besar sebagai sumber energi alternatif yang bersih, aman, serta ramah lingkungan serta kelebihan-kelebihan lain yang telah disebutkan sebelumnya di atas. Turbin angin skala kecil mempunyai peranan penting terutama bagi daerah-daerah yang belum terjangkau oleh jaringan listrik. Pemanfaatan energi angin merupakan pemanfaatan energi terbaru yang paling berkembang saat ini. Berdasarkan data dari WWEA (*World Wind Energi Association*), sampai dengan tahun 2007 perkiraan energi listrik yang dihasilkan oleh turbin angin mencapai 93,85 GW dan menghasilkan lebih dari 1% dari total kelistrikan secara global. Amerika, Spanyol dan China merupakan negara terdepan dalam pemanfaatan energi angin. Diharapkan pada tahun 2010, total kapasitas pembangkit listrik tenaga angin secara global mencapai 170 GigaWatt.

Indonesia, negara kepulauan yang 2/3 wilayahnya adalah lautan dan mempunyai garis pantai terpanjang di dunia yaitu  $\pm 80.791,42$  Km merupakan wilayah potensial untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga angin, namun sayang potensi ini nampaknya belum dilirik oleh pemerintah. Sungguh ironis, disaat Indonesia menjadi tuan rumah konferensi dunia mengenai pemanasan global di Nusa Dua, Bali pada akhir tahun 2007, pemerintah justru akan membangun pembangkit listrik berbahan bakar batubara yang merupakan penyebab nomor 1 pemanasan global.

Namun, pada akhir tahun 2007 telah dibangun kincir angin pembangkit dengan kapasitas kurang dari 800 watt dibangun di empat lokasi, masing-masing di Pulau Selayar tiga unit, Sulawesi Utara dua unit, dan Nusa Penida, Bali, serta Bangka Belitung, masing-masing satu unit. Kemudian, di seluruh Indonesia, lima unit kincir angin pembangkit berkapasitas masing-masing 80 kilowatt (kW) mulai dibangun. Mengacu pada kebijakan energi nasional, maka pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) ditargetkan mencapai 250 megawatt (MW) pada tahun 2025.

### 2.2.13. Penyimpanan Energi Oleh Baterai

Karena keterbatasan ketersediaan akan energi matahari (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 meningkat atau ketika cahaya matahari 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 atau saat penggunaan daya menurun. Penyimpanan energi ini diakomodasi dengan menggunakan alat penyimpan energi. Contoh sederhana yang dapat dijadikan referensi sebagai alat penyimpan energi listrik adalah accu mobil. Accu mobil memiliki kapasitas penyimpanan energi yang cukup besar. Accu 12 volt, 65 Ah dapat dipakai untuk mencatu rumah tangga (kurang lebih) selama 0.5 jam pada daya 780 watt. Kendala dalam menggunakan alat ini adalah alat ini memerlukan catu daya DC (*Direct Current*) untuk meng-charge/ mengisi energi, sedangkan dari generator dihasilkan catu daya AC (*Alternating Current*). Oleh karena itu diperlukan rectifier-inverter untuk mengakomodasi keperluan ini (Rivaldi, 2013)

### 2.2.14 Baterai

Baterai merupakan suatu komponen yang digunakan pada sistem PLTS memiliki fungsi untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya dalam bentuk energi arus DC. Energi yang disimpan pada baterai berfungsi sebagai cadangan (*back up*), yang biasanya digunakan pada saat panel surya tidak menghasilkan energi listrik, contohnya pada saat malam hari atau pada saat cuaca mendung, selain itu tegangan keluaran ke sistem cenderung lebih stabil. Satuan kapasitas energi yang dihasilkan pada baterai adalah *ampere hour* (Ah), yang artinya arus maksimum yang dapat dikeluarkan oleh baterai selama satu jam. Proses pengosongan baterai (*discharge*), baterai tidak boleh dikosongkan hingga titik maksimum, sebab hal ini mempengaruhi usia pakai (*life time*) dari baterai tersebut. Batas pengosongan dari baterai disebut dengan *depth of discharge* (DOD) dengan satuan persen. Apabila baterai memiliki *depth of discharge* sebesar 80%, maka energi yang tersedia di dalam baterai hanya dapat digunakan sebesar 80% dan 20%

lainnya digunakan sebagai cadangan. Kemudian, semakin besar *depth of discharge* yang diberlakukan pada suatu baterai, maka umur teknis dari baterai akan semakin pendek (P. Dunlop, 1997).

Baterai dapat diartikan sebagai gabungan dari sel-sel yang terhubung seri. Secara umum ada dua jenis baterai yang digunakan untuk keperluan *solar electric systems*, yaitu *lead acid battery* (accu) dan *nicel cadmium battery*. Kedua jenis baterai tersebut memiliki komponen yang hampir sama, hanya saja berbeda dalam jenis elektroda yang dipakai dan jenis elektrolit yang digunakan untuk membangkitkan reaksi elektrokimia. *Lead acid battery* menggunakan lempengan yang terbuat dari lead, dan sebagai elektrolitnya digunakan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (asam sulfur) yang sama seperti pada accu serta memiliki efisiensi 80%. Sedangkan *nickel cadmium battery* menggunakan cadmium sebagai elektroda negatif dan nikel sebagai elektroda positif sedang elektrolitnya dipakai potassium hidroksida dan memiliki efisiensi 70% (P. Dunlop, 1997).

Baik *lead acid* baterai maupun nikel cadmium baterai secara umum mempunyai 4 bagian penting. Keempat bagian tersebut mempunyai fungsi yang berbeda-beda yang menunjang proses penyimpanan energi maupun pengeluaran energi. Empat bagian tersebut terdiri dari elektroda, pemisah atau separator, elektrolit, dan wadah sel.

## **1. Jenis-Jenis Baterai**

Sistem penyimpanan energi yang biasanya di pakai pada sel surya adalah baterai, dari segi penggunaannya baterai dapat diklasifikasikan menjadi 2 jenis yaitu (Nasrul Haq Rosyadi, 2016) :

### **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 jenis baterai yang dapat digunakan dan dapat diisi ulang kembali dengan mengembalikan komposisi awal elektroda dengan menggunakan arus yang berkebalikan.

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 dua proses siklus yaitu mengisi (*Charging*) dan mengosongkan (*Discharging*) yang tergantung ada tidaknya sinar matahari. Selama ada sinar matahari, sel surya akan dapat memproduksi energi listrik dan apabila terdapat kelebihan energi listrik, maka kelebihan energi tersebut dapat digunakan untuk mengisi baterai. Namun, apabila tidak ada sinar matahari, maka permintaan energi listrik akan disuplai oleh baterai. Proses pengisian dan pengosongan baterai ini disebut dengan satu siklus baterai. Berikut beberapa hal yang harus diperhatikan pada baterai :

### **a. Tegangan baterai**

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

### **b. Kapasitas baterai**

Kapasitas baterai adalah ukuran muatan yang disimpan pada suatu baterai yang menggambarkan sejumlah energi maksimal yang dikeluarkan dari sebuah baterai yang dinyatakan dalam *Ampere Hour* (Ah). Nilai Ah ini didapatkan dari perkalian antara nilai arus yang dapat dilepaskan dengan nilai waktu untuk melepaskannya. Untuk itu, baterai yang bernilai 12 V 200 Ah berarti bahwa baterai akan dapat memberikan baik 200 A selama satu jam, 50 A selama 4 jam, 4 A untuk 50 jam, atau 1 A untuk 200 jam. Kemudian, ketika mendesain kapasitas baterai untuk sistem PLTS yang paling penting dilakukan yaitu menentukan ukuran hari-hari otonomi (*days of autonomy*). Hari-hari otonomi yaitu hari-hari disaat tidak adanya sinar matahari (Polarpowerinc, 2011).

## 2. Parameter *Charging* dan *Discharging* Baterai

Kapasitas sebuah baterai sangat dipengaruhi oleh nilai *charging* dan *discharging*. Apabila baterai dikosongkan dengan cepat, maka energi yang dapat digunakan oleh baterai akan berkurang, sehingga kapasitas baterai akan menurun. Hal ini dikarenakan kebutuhan suatu komponen untuk reaksi yang terjadi tidak mempunyai waktu yang cukup untuk bergerak ke posisi yang seharusnya. Jadi seharusnya arus *discharging* yang digunakan sekecil mungkin, sehingga energi yang digunakannya pun kecil dan kapasitas baterai akan menjadi lebih tinggi.

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

$$I_{BCR} = I_{SC \text{ panel}} \times N_{\text{panel}} \times 125\% \quad (2.3)$$

Keterangan :

$I_{BCR}$  = Arus BCR (Ampere)

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

$N_{\text{panel}}$  = Jumlah panel surya

125% = Kompensasi

## 3. Perhitungan Daya Tahan Baterai

Intensitas arus listrik didefinisikan sebagai muatan listrik yang lewat per satuan waktu melalui suatu penampang daerah dimana muatan mengalir, seperti penampang tabung pemacu atau kawat logam. Karena itu jika dalam waktu  $t$ ,  $N$  partikel bermuatan yang masing-masing membawa muatan  $q$ , lewat melalui

suatu penampang medium penghantar, maka muatan total yang lewat adalah  $Q = Nq$ , dan intensitas listriknya adalah (Zuhal, 2004) :

$$I = \frac{Q}{t} \quad (2.4)$$

Dimana :

$I$  = Kuat arus listrik (Ampere)

$Q$  = Muatan listrik (Coulomb setara dengan ampere second)

$t$  = Waktu (detik)

Dari persamaan diatas, persamaan muatan listrik dapat diperoleh sebagai berikut :

$$Q = I \times t \quad (2.5)$$

Perhitungan daya tahan baterai dihitung dari persamaan sebagai berikut :

$$t = \frac{Q}{I} \quad (2.6)$$

Dari persamaan tegangan diperoleh :

$$V = I \times R \quad (2.7)$$

### 2.2.15. Konsep Energi Listrik

Pengertian energi listrik sering didefinisikan sebagai perkalian anrata daya dan waktu. Daya adalah perkalian antara tegangan dengan arus listrik, sehingga di dalam mencari rumusan energi besaran besaran yang dilibatkan adalah tegangan, kuat arus, dan waktu (Abdillah, 2015).

Satuan – satuan pengukur Energi Listrik :

#### 1. Arus Listrik

Arus listrik akan mengalir jika ada beban listrik, misal lampu yang tertutup dengan sumber listriknya. Arus listrik mengalir dari potensial tinggi ke potensial rendah. Alat-alat tertentu misalnya baterai bisa menyimpan muatan – muatan listrik dan mengalirkannya. Jumlah muatan listrik yang bersimbol  $Q$  mengandung pengertian kemampuan alat listrik untuk menyimpan atau

membuang arus listrik ( $I$ ) selama waktu tertentu ( $t$ ) dan  $Q$  ini bisa disebut juga dengan kapasitas muatan/ kapasitas baterai, secara matematis hal itu bisa ditulis:

$$Q = i.t \quad (2.8)$$

Dengan :

$Q$  = Muatan Listrik dalam satuan Colomb ( C)

$I$  = Arus listrik dalam satuan Ampere (A)

$t$  = waktu dalam satuan sekon (s)

## 2. Tegangan

Tegangan listrik dapat dimisalkan dengan tekanan air di dalam menara air, semakin tinggi letak air itu maka makin besar pula tekanannya. Jika keran dibuka, air mulai bergerak di dalam pipa dan kecepatan mengalirnya berhubungan dengan tekanan air tersebut. Kecepatan alirnya bisa dikatakan sebagai arus. Untuk mengetahui pengertian energy listrik, diperlukan pula pengertian mengenai tegangan karena hal itu sangat berhubungan erat dengan arus listriknya. Satuan dari tegangan listrik adalah volt dilambangkan V.

$$V = R.I \quad (2.9)$$

Dengan :

$V$  = Tegangan listrik dalam satuan Volt (V)

$R$  = Hambatan listrik dalam satuan Ohm ( $\Omega$ )

$I$  = Kuat Arus Listrik dalam satuan Ampere (A)

## 3. Daya Listrik

Daya listrik didefinisikan sebagai laju hantaran energi listrik dalam rangkaian listrik. Satuan SI (Standard Internasional) adalah Watt. Arus listrik yang mengalir dalam rangkaian dengan hambatan listrik menimbulkan kerja. Listrik dapat diperoleh dari pembangkit listrik atau penyimpanan. Daya listrik, seperti daya mekanik , dilambangkan oleh huruf P dalam persamaan listrik. Pada rangkaian Arus DC, Daya Listrik sesaat dihitung menggunakan hukum Joule, sesuai nama fisikawan Britania James Joule, yang pertama Kali menunjukkan bahwa energi listrik dapat berubah menjadi energi mekanik ataupun sebaliknya dimana :

$$P = I \cdot V \quad (2.10)$$

Dengan :

$P$  = Daya satuan W ( Watt )

$I$  = Arus satuan A ( Ampere )

$V$  = Beda Potensial V ( Volt )

Hukum Joule dapat digabungkan dengan hokum Ohm untuk menghasilkan persamaan tambahan dimana:

$$P = I^2 \cdot R \quad (2.11)$$

Dengan :

$R$  = Hambatan Listrik satuan  $\Omega$  (ohm)

$P$  = Daya satuan W ( Watt )

$I$  = Arus satuan A ( Ampere )

## 2.2.16 Hukum Kirchoff

### 1. Hukum Kirchoff I

Jumlah arus yang memasuki suatu percabangan atau node atau simpul samadengan arus yang meninggalkan percabangan atau node atau simpul, dengan kata lain jumlah aljabar semua arus yang memasuki sebuah percabangan atau node atau simpul samadengan nol.

Secara matematis :

- $\Sigma$  Arus pada satu titik percabangan = 0
- $\Sigma$  Arus yang masuk percabangan =  $\Sigma$  Arus yang keluar percabangan

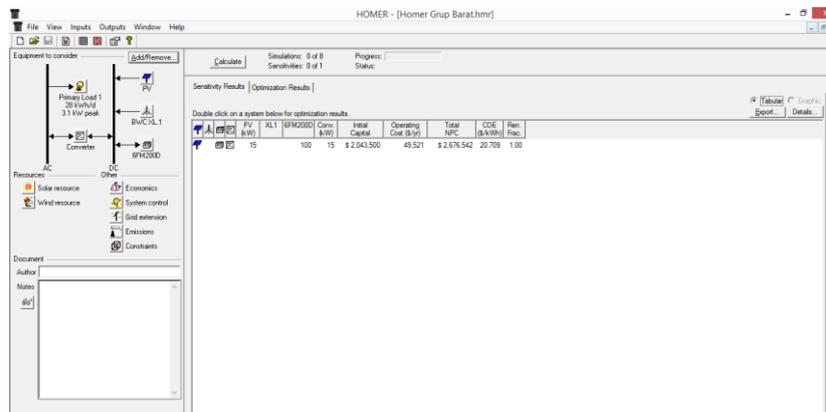
Dapat diilustrasikan bahwa arus yang mengalir samadengan aliran sungai, dimana pada saat menemui percabangan maka aliran sungai tersebut akan terbagi sesuai proporsinya pada percabangan tersebut. Artinya bahwa aliran sungai akan terbagi sesuai dengan jumlah percabangan yang ada, dimana tentunya jumlah debit air yang masuk akan samadengan jumlah debit air yang keluar dari percabangan tersebut.

## 2. Hukum Kirchoff II

Jumlah tegangan pada suatu lintasan tertutup samadengan nol, atau penjumlahan tegangan pada masing-masing komponen penyusunnya yang membentuk satu lintasan tertutup akan bernilai samadengan nol.

Secara matematis :  $\sum V = 0$

### 2.2.17. HOMER



Gambar 2.6 Tampilan software HOMER

HOMER singkatan dari *Hybrid Optimization Model of Electric Renewable* adalah sebuah perangkat lunak yang dikembangkan oleh *U.S National renewable energy laboratory* (NREL) berkerjasama dengan *Mistaya Engineering*, yang dilindungi hak ciptanya oleh *Midwest Research Institute* (MRI) dan digunakan oleh Departemen Energi Amerika Serikat (DOE). HOMER memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan perangkat lunak yang serupa seperti *hybrid2*, *retscreen*, *PV SOL*, dan lain-lain (Bahari, Samsul. 2015).

Keunggulan HOMER :

1. Dapat mengetahui hasil yang optimal dari konfigurasi sistem (mensimulasikan beberapa konfigurasi sistem berdasarkan Net Present Cost).
2. Dapat menunjukkan analisis nilai sensitifitas.
3. Dapat memodelkan sistem jaringan transmisi listrik.
4. Komponen-komponen hybrid yang akan digunakan lengkap.

5. Dapat memodelkan sumber daya alam yang tersedia.
6. Parameter-parameter input (masukan) sangat terperinci, seperti sumber daya alam, emisi, harga bahan bakar, faktor ekonomi, dan lain-lain.

#### Hubungan Seri dan Paralel

Secara umum digolongkan menjadi dua :

- a. Hubungan seri jika salah satu terminal dari dua elemen tersambung, akibatnya arus yang lewat akan sama besar.
- b. Hubungan paralel Jika semua terminal terhubung dengan elemen lain dan akibatnya tegangan diantaranya akan sama.

#### 2.2.18. Prinsip Kerja HOMER

HOMER bekerja berdasarkan 3 hal, yaitu simulasi, optimisasi, dan analisis sensitifitas. Ketiga hal tersebut bekerja secara berurutan, dan memiliki fungsi masing-masing sehingga didapatkan hasil yang optimal (Samsul, 2015).

##### 1. Simulasi (*simulation*)

Proses simulasi menentukan bagaimana konfigurasi dari sistem, kombinasi dari besarnya kapasitas komponen-komponen sistem, dan strategi operasi yang menentukan bagaimana komponen-komponen tersebut dapat bekerja bersama dalam periode waktu tertentu. HOMER dapat mensimulasikan berbagai macam konfigurasi sistem tenaga mikro, yang berisikan beberapa kombinasi dari *photovoltaic*, turbin angin, turbin air, generator, hidrogen, baterai, *converter*, dan lain-lain. Sistem tersebut dapat terhubung ke jaringan transmisi ataupun terpisah, digunakan untuk melayani beban ac ataupun dc dan beban *thermal*.

##### 2. Optimisasi (*Optimization*)

Proses optimisasi dilakukan setelah proses simulasi dilakukan simulasi memodelkan dan merancang konfigurasi sistem secara khusus, maka proses optimisasi dilakukan untuk menentukan kemungkinan teroptimasi dalam konfigurasi sistem. Pada daftar hasil optimisasi, HOMER menggunakan nilai NPC yang terendah hingga tertinggi. Sistem dikatakan optimal, apabila salah satu konfigurasi sistem menunjukkan NPC terendah untuk jangka waktu yang

telah ditentukan. Tujuan dari proses optimisasi adalah menentukan nilai optimal dari konfigurasi sistem dimana variabel nilai masukan dapat diubah-ubah sesuai keinginan pengguna. Variabel nilai yang dapat diubah oleh pengguna adalah:

1. Kapasitas daya *photovoltaic*.
2. Jumlah turbin angin yang akan digunakan.
3. Kapasitas daya turbin air, HOMER hanya memperbolehkan menggunakan 1 sistem turbin air.
4. Kapasitas daya dari generator.
5. Jumlah baterai yang digunakan.
6. Kapasitas daya konverter ac-dc.
7. Kapasitas daya dari electrolizer.
8. Kapasitas daya dari tangki hidrogen.
9. Strategi pengisian baterai (cara tentang pengisian baterai).

### **3. Analisis Sensitifitas (*Sensitiviti Analysis*)**

Tahap selanjutnya adalah tahap analisis sensitifitas. Analisis sensitifitas ini akan menunjukkan bagaimana hasil konfigurasi sistem yang optimal apabila nilai parameter masukan (*input*) berbeda-beda. Pengguna dapat menunjukkan analisis sensitifitas dengan memasukan beberapa nilai variabel sensitifitas. Pada tahap ini, pengguna HOMER dapat memasukan rentang nilai untuk nilai variabel tunggal ataupun nilai variabel ganda yang dinamakan varibel sensitifitas. Contohnya termasuk harga tenaga listrik pada jaringan transmisi, harga bahan bakar, suku bunga per tahun, dan lain-lain.

#### **2.2.19. Pemodelan Fisik HOMER**

Dalam perancangan sistem tenaga listrik menggunakan *software* HOMER dibutuhkan sumber energi, baik berasal dari sumber konvensional maupun sumber energi terbarukan. Selain itu perancangan juga harus memikirkan beban yang akan digunakan baik beban *theramal* maupun beban listrik.

## 1. Beban

Pada perancangan homer beban yang digunakan terdiri dari beban *thermal* dan beban listrik. selain itu beban dibedakan lagi menjadi beban utama (*primari load*) dan beban Tunda (*deferrable Load*).

### a. Beban Utama (*primari load*).

Beban utama adalah permintaan energi listrik yang disuplai oleh suatu sistem tenaga listrik pada waktu yang telah ditentukan. Ketika mengumpulkan data beban, HOMER membuat nilai-nilai data beban per jam berdasarkan profil beban harian. Data beban yang dimasukkan dapat berbeda-beda, sehingga HOMER akan menampilkan grafik beban secara keseluruhan. HOMER juga dapat memodelkan dua beban yang berbeda seperti beban AC atau Beban DC.

### b. Beban Tunda (*Deferrable Load*)

Beban tunda adalah permintaan energi listrik yang dapat ditentukan berdasarkan interval waktu seperti pompa air, alat pengisian baterai dan lainnya. Pada beban tunda sama halnya dengan beban utama dapat dipilih beban berupa AC ataupun DC dan tetapi data yang dimasukkan merupakan data perbulan, bukan data per jam.

### c. Beban *thermal* (*Thermal Load*)

Homer dapat digunakan untuk memodelkan beban panas seperti pemodelan beban listrik. Akan tetapi konsep penggunaan tenaga cadangan tidak diterapkan pada beban *thermal*.

### d. Beban Hidrogen (*Hydrogen Load*)

Data yang diisi pada beban hidrogen merupakan data pemakaian perjam.

## 2. Sumber Daya Alam (SDA)

Dalam perancangan suatu sistem tenaga listrik menggunakan HOMER, diperlukan sumber daya alam, sumber daya alam berfungsi sebagai bahan bakar yang akan digunakan untuk menghasilkan energi listrik. Pada HOMER terdapat empat jenis sumber daya alam yang bisa digunakan sebagai sumber energi yaitu, panas matahari, Air (*Hidro*), Angin, dan biomassa.

**a. Sumber energi Matahari (*solar resource*)**

Sumber energi matahari digunakan ketika merencanakan sistem tenaga listrik dengan sumber energi utamanya berupa sinar matahari yang di terima oleh panel surya. Data yang dimasukkan ke dalam HOMER merupakan jumlah rata-rata dari radiasi sinar matahari yang mengarah langsung ke permukaan bumi dalam kurun waktu satu tahun.

**b. Sumber Energi Air (*Hydro Resource*)**

Air merupakan sumber energy yang banyak digunakan di Indonesia, baik yang berskala besar maupun berskala kecil (*mikro*). Debit air yang ada pada sungai, waduk, maupun danau dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit energi listrik. Pada prinsipnya, air menyimpan energi potensial (pada air yang jatuh dari tempat yang lebih tinggi) dan energi kinetik (air mengalir), kedua energi tersebut dapat dimanfaatkan untuk memutar turbin pada generator yang akhirnya akan menghasilkan energi listrik. Dalam perencanaan sistem tenaga listrik dengan menggunakan HOMER data yang dimasukkan merupakan debit air dala waktu satu tahun. Perencanaan juga melibatkan aliran sisa, yaitu jumlah air minimum yang harus dilewatkan turbin. HOMER akan mengurangi aliran sisa dari data aliran sungai untuk mengetahui apakah turbin dapat teraliri air atau tidak.

**c. Sumber energi Angin (*wind Resource*)**

Dalam perencaranaan sistem tenaga listrik dengan menggunakan angin sebagai sumber energi utamanya, data yang dimasukkan ke HOMER merupakan data kecepatan angin dalam waktu satu tahun. Pada prinsipnya energi angin digunakan untuk memutar turbin angin yang terbuhung langsung dengan generator, sehingga menghasilkan energi listrik. Terdapat empat parameter pada input sumber enegi angin, yaitu:

1. *Weibull shape factor*, Merupakan data pengukuran besar kecepatan angin dalam kurun waktu satu tahun.
2. *Autocorrelation factor*, meruapakan pengukuran kecepatan angin dalam waktu satu jam, dan cenderung bergantung pada kecepatann angin pada jam sebelumnya

3. *Diurnal pattern strength* dan *hour of peakwind speed*, merupakan parameter yang megindikasikan magnititude dan phase dari rata-rata pola harian kecepatan angin.

**d. Sumber daya Biomassa (*Biomass Recource*)**

Pada sumber energi biomassa, Homer memodelkan sistem tenaga biomassa untuk di ubah menjadi energi listrik. Sumber energi biomasa merupakan sumber energi yang keberadaanya tergantung dari usaha manusia. Sumber energi biomassa diubah menjadi bahan bakar gas yang selanjutnya digunkaan untuk menyalaan generator set. Penggunaan biomassa pada pemodelan dengan HOMER dilakukan dengan dua cara yaitu:

1. Menentukan ketersediaan sumber daya alam yang ada dan menentukan konsumsi bahan bahar generator untuk menghasilkan energi listrik.
2. Menggunakan *input* sumber daya biomassa untuk mengetahui ketersediaan biomassa selama satu tahun.

**e. Bahan Bakar (*Fuel*)**

Hommer menyediakan berbagai macam jenis bahan bakar mulai dari biogas, diesel, ethanol, gasolune, methanol, propane, natural gas, dan store hidrogen. Sedangkan untur properti fisik bahan bakar terdiri dari *density*, *carbon content*, *lower heating value* dan *sulfur content*.