

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Penelitian mengenai perancangan dan potensi pembangkit energi listrik dengan menggunakan sumber energi terbarukan sudah dilakukn oleh berbagai negara, tidak terkecuali di Indonesia. Indonesia merupakan negara dengan sumber energi yang melimpah, berbagai penelitian telah dilakukn untuk menemukan sumber energi terbarukan. Berikut ini merupakan rujukan penelitian yang pernah dilakuakukan untuk mendukung penulisan skripsi ini, diantaranya:

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan tentang Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Indonesia dapat disimpulkan bahwa Intensitas radiasi matahari rata-rata di seluruh wilayah Indonesia sekitar 4,8 kWh/m² yang berpotensi untuk membangkitkan energi listrik dan dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif. Kendala yang dihadapi pada penerapan PLTS di Indonesia adalah tingginya biaya investasi, piranti utama PLTS yaitu modul fotovoltaik masih diimpor dari negara lain dan efisiensi dari modul fotovoltaik hanya sebesar 16% yang menyebabkan harga PLTS per kW masih sangat tinggi. Oleh karena itu untuk meningkatkan kapasitas terpasang dari PLTS, Pemerintah perlu mengeluarkan regulasi atau menambah kandungan lokal terhadap pembuatan piranti pendukung PLTS. Penambahan kandungan lokal tersebut akan menekan biaya pembangkitan PLTS sehingga PLTS menjadi lebih beralasan sebagai pembangkit listrik alternatif. Hasil keluaran model MARKAL mengidentifikasi bahwa pada kasus dasar meskipun biaya investasi tetap konstan sebesar 1.650 US\$/kW, PLTS sejak tahun 2010 dapat bersaing dengan pembangkit listrik lainnya, bahkan setiap periode terjadi kenaikan kapasitas. Hal ini disebabkan pada tahun 2010 PLTD di beberapa wilayah Indonesia,

khususnya di wilayah-wilayah terpencil seperti di Maluku, Nusa Tenggara dan Kalimantan kapasitasnya berkurang, sehingga untuk daerah yang berpotensi memanfaatkan PLTS akan menggantikan kekurangan kapasitas PLTD dengan PLTS. Selain kapasitas PLTD berkurang karena umurnya juga karena biaya bahan bakarnya yang semakin mahal dengan adanya penghapusan subsidi BBM secara bertahap. Peningkatan kapasitas PLTS juga dipicu dengan penurunan biaya investasi, sehingga diasumsikan apabila biaya investasi terus menurun di setiap periode (PVCOST), pada akhir periode (2030) kapasitas terpasang PLTS diproyeksikan dapat mencapai lebih dari 4 kali kapasitas terpasang PLTS pada kasus dasar. Kenaikan kapasitas PLTS yang tinggi pada akhir periode ini terjadi di wilayah Jawa dan Sumatra. Peranan PLTS di Jawa dan Sumatra disebabkan gas bumi dan bahan bakar minyak sudah terbatas, sehingga gas bumi lebih diutamakan untuk memenuhi kebutuhan industri dari pada untuk pembangkit listrik. Di Sulawesi, PLTS baru dapat bersaing dengan pembangkit energi lain bila biaya investasi diturunkan hingga di bawah 1.650 US\$/kW sebagaimana diasumsikan pada kasus penurunan biaya investasi PLTS (PVCOST). Maluku dan Nusa Tenggara yang kondisi geografisnya terdiri dari kepulauan dengan biaya investasi sebesar 1.650 US\$/kW, PLTS sudah dapat bersaing dengan pembangkit lain, dan dengan semakin menurunnya biaya investasi PLTS, peran PLTS di kedua wilayah itu akan semakin meningkat. PLTS di Papua tidak dapat bersaing dengan pembangkit lain, karena Papua mempunyai beberapa sumber energi (tenaga air, gas bumi, minyak bumi, dan batubara) yang berpotensi untuk menghasilkan listrik melalui PLTA, PLTD, PLTG dan Cogeneration, sehingga semurah apapun biaya investasi, PLTS tetap tidak terpilih (Rahardjo dan Fitriana, 2013).

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 hybrid lebih besar dibandingkan apabila masing-masing sistem bekerja sendiri-sendiri. (Winarto dan Sugiyanto, 2013)

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 penyalan 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 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 m², 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)

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Energi Terbarukan

Secara sederhana, energi terbarukan didefinisikan sebagai energi yang dapat diperoleh ulang (terbarukan) seperti sinar matahari dan angin. Sumber energi terbarukan adalah sumber energi ramah lingkungan yang tidak mencemari lingkungan dan tidak memberikan kontribusi terhadap perubahan iklim dan pemanasan global seperti pada sumber-sumber tradisional lain.

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. Kontribusi Energi Terbarukan di DIY

Skenario pengembangan energi terbarukan diutamakan pada potensi MHPP, energi angin, dan energi radiasi matahari. Berdasarkan roadmap di dalam Rencana Umum Energi Daerah (RUED) Provinsi DIY, pengembangan MHPP akan dimulai pada tahun 2010 secara bertahap dengan target maksimal seluruh potensi yang ada dapat digunakan sebagai MHPP. Potensi energi angin yang potensial untuk dikembangkan adalah potensi energi angin yang terdapat di sepanjang pantai selatan. Potensi energi angin di sepanjang pantai selatan adalah sampai dengan 10 MW dan khusus di pantai Sundak, Srandakan, Baron, dan Samas potensi energi angin dapat mencapai 10 MW – 100 MW (Hasibi, 2010).

Pengembangan energi radiasi matahari sebagai penyedia energi listrik diarahkan sebagai solar home system (SHS). Penggunaan SHS ditujukan untuk keluarga dengan kelompok pendapatan menengah dan 20 % teratas. Target penggunaan SHS yang ada di dalam RUED di tahun 2010 adalah sebesar 30 % dari pelanggan R2 dan R3 atau sebesar 11,50 MW. Pertumbuhan kapasitas SHS ditargetkan setara dengan pertumbuhan penduduk untuk kedua kelompok pendapatan tersebut, yaitu sebesar 0,69 % di antara tahun 2010 - 2025 (Hasibi, 2010).

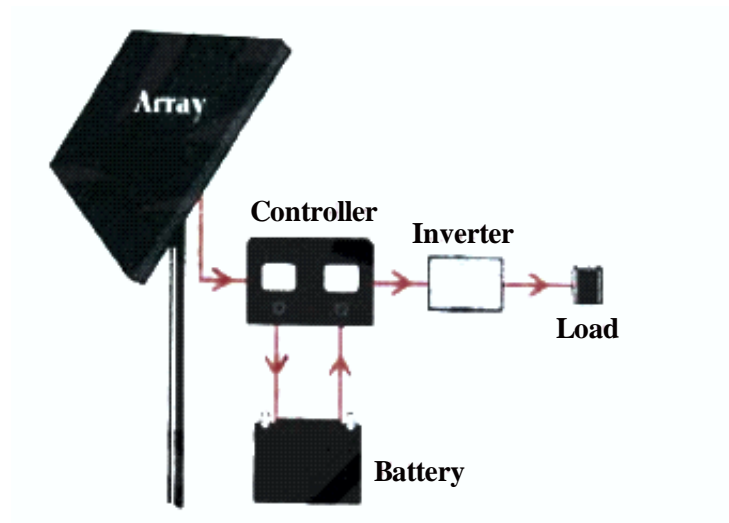
2.2.3. Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), adalah pembangkit yang memanfaatkan sinar matahari sebagai sumber penghasil listrik. Alat utama untuk menangkap, perubah dan penghasil listrik adalah Photovoltaic yang disebut secara umum Modul / Panel Solar Cell. Dengan alat tersebut sinar matahari dirubah menjadi listrik melalui proses aliran-aliran elektron negatif dan positif didalam cell modul tersebut karena perbedaan elektron. Hasil dari aliran elektron-elektron akan menjadi listrik DC yang dapat langsung dimanfaatkan untuk mengisi battery / aki sesuai tegangan dan ampere yang diperlukan.

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.

Sistem sel surya yang digunakan di permukaan bumi terdiri dari panel sel surya, rangkaian kontroler pengisian (*charge controller*), dan aki (baterai). Panel sel surya merupakan modul yang terdiri beberapa sel surya yang digabung dalam hubungan seri

dan paralel tergantung ukuran dan kapasitas yang diperlukan. 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 plus minus 10 persen dari tegangan baterai. Bila tegangan turun sampai 10 persen dari tegangan baterai, 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 memutuskan pemasokan energi listrik. Setelah proses pengisian itu berlangsung selama beberapa jam, tegangan aki itu akan naik. Bila tegangan aki naik lebih besar atau sama dengan 10 persen dari tegangan baterai, maka kontroler akan menghentikan proses pengisian aki itu.



Gambar 2.1. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya.

(sumber : Majalah Ilmiah Bina Teknik, 2013:47)

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/m²/hari dengan variasi bulanan 10%.

2. Kawasan Timur Indonesia (KTI) dengan distribusi penyinaran sekitar 5,1 kWh/m²/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/m², 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 :

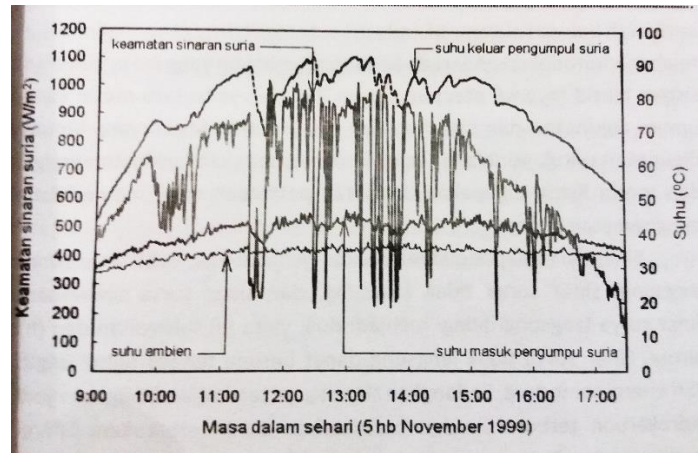
1. Sinar surya langsung

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/m², selama 8 jam sehari. Dalam keadaan tertentu kadang lebih 1.000 W/m², 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 FOTOVOLTAIK. Teknologi FOTOVOLTAIK (TPV) sudah cukup berkembang di berbagai negara. Karna efisiensinya yang masih rendah menyebabkan TPV memerlukan tempat yang luas. Hal ini menjadi salah satu penyebab TPV menjadi mahal. Selain itu mahalnya sel surya juga disebabkan karna 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. Teknologi Energi Surya FOTOVOLTAIK

Salah satu cara penyediaan energi listrik alternatif yang siap untuk diterapkan secara massal saat ini adalah Sistem Energi Surya Fotovoltaik (SESF) atau secara umum dikenal sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya Fotovoltaik (PLTS FOTOVOLTAIK).

Sebutan SESF merupakan istilah yang telah dibakukan oleh pemerintah yang digunakan untuk mengidentifikasi suatu sistem pembangkit energi yang memanfaatkan energi matahari dan menggunakan teknologi fotovoltatik. Jika dibandingkan energi listrik konvensional, SESF terkesan rumit, mahal dan sulit dioperasikan.

Namun demikian, berdasarkan pengalaman operasional lebih dari 15 tahun di beberapa kawasan di Indonesia, SESF merupakan suatu sistem yang mudah dalam pengoperasiannya, handal dan memerlukan biaya pemeliharaan dan operasi yang rendah menjadikan SESF mampu bersaing dengan teknologi konvensional pada sebagian besar kondisi wilayah Indonesia yang terdiri dari pulau-pulau kecil dan tidak terjangkau oleh jaringan PLN dan tergolong sebagai kawasan terpencil.

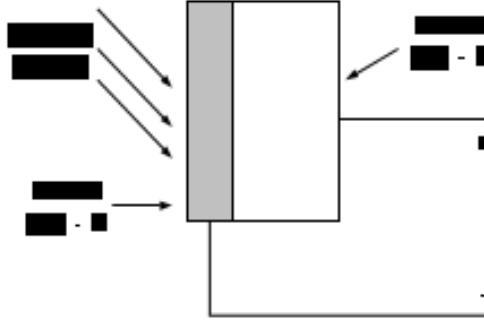
Selain itu, SESF merupakan suatu teknologi yang bersih dan tidak mencemari lingkungan. Beberapa kondisi yang sesuai untuk penggunaan SESF antara lain pada permukiman desa terpencil, lokasi transmigrasi dan perkebunan baik untuk penerangan rumah maupun fasilitas umum. Akan tetapi, sesuai dengan perkembangan jaman, saat ini di negara-negara maju, penerapan SESF telah banyak digunakan untuk suplai energi listrik di gedung-gedung dan perumahan di kota besar.

Pada umumnya, modul fotovoltaik dipasarkan dengan kapasitas 50 Watt-peak (Wp) dan kelipatannya. Unit satuan watt-peak adalah satuan daya (*Watt*) yang dapat dibangkitkan oleh modul fotovoltaik dalam keadaan standar uji (*Standard Test*

Condition – STC). Efisiensi pembangkitan energi listrik yang dihasilkan modul fotovoltaik pada skala komersial saat ini adalah 14 – 15%.

2.2.8. Teori Dasar Sel Surya

Sigalingging (1994:1) dalam Tugas Akhir (Putu, 2007), menyatakan bahwa pada umumnya sel surya memiliki ketebalan minimum 0.3 mm, yang terbuat dari irisan bahan semikonduktor dengan kutub Positif dan Negatif. Wasito (1995:164) dalam Tugas Akhir (Putu, 2007), menyatakan bahwa dioda listrik surya / sel surya merupakan suatu dioda yang dapat mengubah energi surya / matahari secara langsung menjadi energi listrik (berdasarkan sifat foto elektrik yang ada pada setengah penghantar). Sel surya ini biasanya berbentuk dioda pertemuan P – N yang memiliki luas penampang tertentu. Semakin luas permukaan atau penampang sel, semakin besar arus yang akan diperoleh. Satu sel surya dapat menghasilkan beda potensial sebesar 0.5 V DC (dalam keadaan cahaya penuh). Beberapa sel dapat dideretkan guna memperoleh tegangan 6, 9, 12, 24V, dan seterusnya. Sel surya dapat pula dijajarkan guna memperoleh arus keluaran lebih besar. Bahan dasar dari sel surya adalah Silikon, dimana Fosfor digunakan untuk menghasilkan Silikon tipe – N dan Boron digunakan sebagai pencemar untuk memperoleh bahan tipe – P. Untuk struktur dari sel surya dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Struktur Sel Surya.

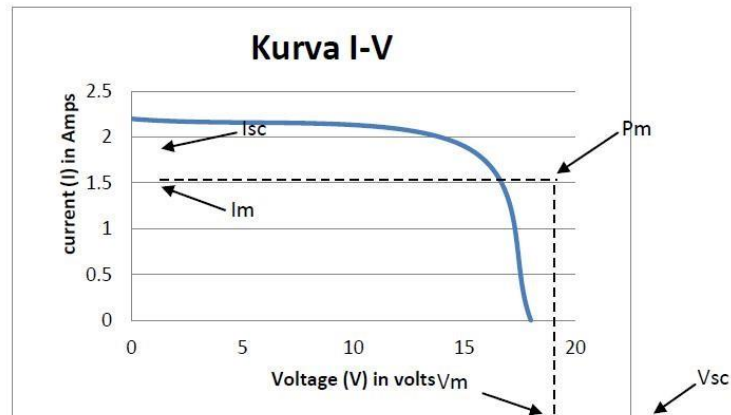
(Sumber : Wasito, *Vademekum Elektronika*, 1995:165, dalam Tugas Akhir, Putra. 2007)

2.2.9. Karakteristik Sel Surya

Terdapat 3 karakteristik dari sel surya yaitu dilihat dari produksi listriknya, temperature, dan intensitas cahaya matahari. Pertama, dilihat dari produksi listriknya, sel surya dibuat dari bahan semikonduktor berupa silikon yang berperan sebagai insulator ketika temperatur rendah dan sebagai konduktor apabila terdapat energi dan panas. Besaran luas bidang semikonduktor jenis silikon ini tidak menentukan produksi energi listrik (energi matahari menjadi foton) dari sel surya dan secara konstan akan menghasilkan energi berkisar kurang lebih mulai dari 0.5 volt hingga mencapai 600 mV dengan arusnya sebesar 2 amp dengan kekuatan radiasi solar matahari $1000 \text{ W/m}^2 = "1 \text{ Sun}"$. Kekuatan radiasi solar matahari tersebut akan menghasilkan arus listrik (I) sekitar 30 mA/cm^2 per sel surya.

Sel Surya akan menghasilkan energi maksimal apabila nilai V_m dan I_m juga maksimal. Sedangkan I_{sc} akan mengeluarkan arus listrik maksimal ketika nilai tegangan = nol dan I_{sc} berbanding langsung dengan tersedianya sinar matahari. V_{oc} sendiri akan maksimal apabila nilai arusnya nol dan V_{oc} akan naik secara logaritma

dengan peningkatan sinar matahari. Karakteristik inilah yang memungkinkan sel surya untuk mengisi aki.



Gambar 2.4. Kurva arus dan tegangan

(Sumber : Ika, Rancang Bangun Sistem Penggerak Pintu Air Dengan Memanfaatkan Energi Alternatif Matahari , 2010)

Keterangan:

Isc = arus hubung singkat (*short circuit*)

Voc = tegangan *open circuit*

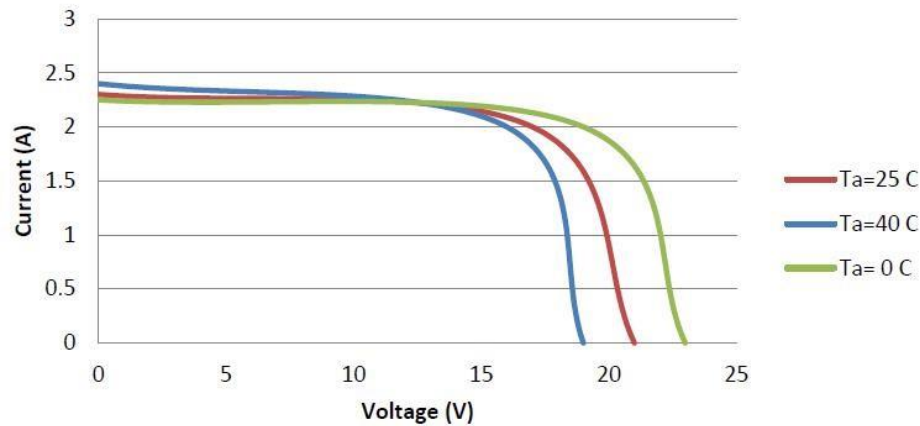
Vm = tegangan maksimal

Im = arus maksimal

Pm = daya keluaran maksimal dari PV array (watt)

Kedua, dilihat dari temperature, sel surya dapat beroperasi secara maksimal apabila suhunya tetap normal yaitu sebesar 25 derajat celcius. Namun, apabila suhunya naik lebih tinggi dari suhu normal, maka akan melemahkan nilai tegangan yang dihasilkan karena setiap kenaikan suhu sebesar 1 derajat celcius dari 25 derajat, maka akan mengurangi nilai tegangan sekitar 0.4 % dari total tenaga yang dihasilkan 8 atau akan

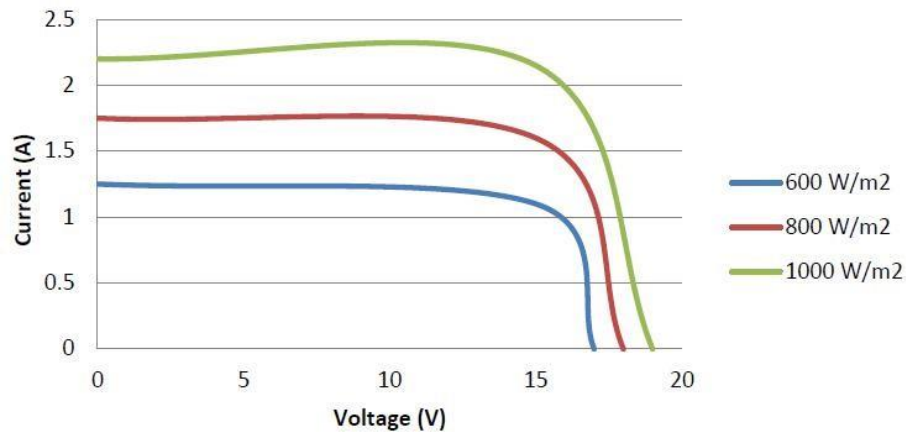
melemah 2 kali lipat untuk kenaikan suhu per 10 derajat celcius. Berikut grafik pengaruh temperatur pada sel surya :



Gambar 2.5. Grafik pengaruh *temperature* terhadap arus sel surya

(Sumber : Ika, *Rancang Bangun Sistem Penggerak Pintu Air Dengan Memanfaatkan Energi Alternatif Matahari*, 2010)

Ketiga, dilihat dari intensitas cahaya matahari, intensitas matahari akan banyak berpengaruh pada arus dan sedikit pada tegangan yaitu apabila intensitas cahaya yang diterima oleh sel surya semakin rendah, maka arus akan semakin rendah pula. Dengan hal tersebut dapat membuat titik *Maximum Power Point* berada pada titik yang semakin rendah juga. Berikut grafik antara arus dan tegangan berdasarkan intensitas matahari atau *insulation* dalam satuan W/m^2 :



Gambar 2.6. Grafik arus terhadap *insolation*

(Sumber : Ika, *Rancang Bangun Sistem Penggerak Pintu Air Dengan Memanfaatkan Energi Alternatif Matahari*, 2010)

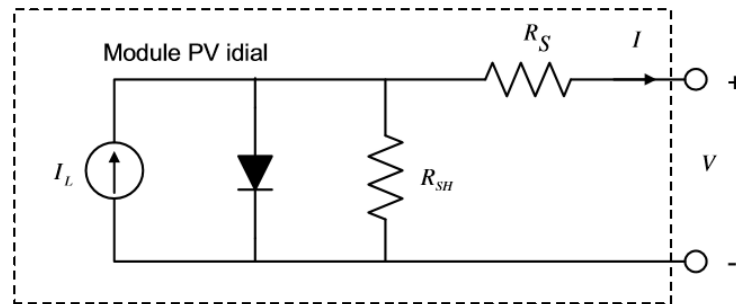
Efisiensi dari konversi energi surya dari sel surya di deskripsikan melalui persamaan:

$$\frac{\text{Daya Keluaran}}{\text{Daya Masukan}} \times 100\% \quad (2.1)$$

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

2.2.10. Sistem Solar Sel

Model matematik dikembangkan untuk menirukan solar sel. Gambar 2.6 menunjukkan rangkaian persamaan solar sel, dimana I dan V adalah arus dan tegangan solar sel, kemudian, I_L adalah *cell's photocurrent*. R_p dan R_s adalah tahanan shunt dan tahanan seri dari solar sel (Surojo. 2010).



Gambar 2.7. Rangkaian Persamaan Sel Surya

(Gambar : Surojo, *Desain Dan Simulasi Maximum Power Point Tracking (Mppt) Sel Surya Menggunakan Fuzzy Logic Control Untuk Kontrol Boost Konverter*, 2012:64)

Persamaan dari rangkaian diatas adalah :

$$I = I_L - I_o \left[\exp. \left(\frac{(V+IR_s)}{nkT} \right) - 1 \right] - \frac{(V+IR_s)}{R_{sh}} \quad (2.2)$$

Dimana :

I_o = arus saturasi reverse (Ampere)

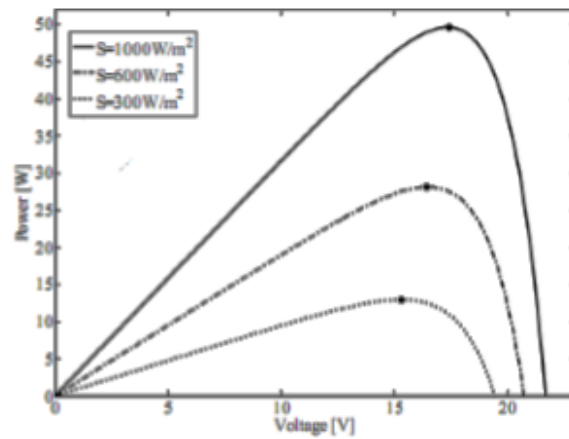
n =faktor ideal dioda (bernilai 1 untuk dioda ideal)

q =pengisian electron ($1.602 \cdot 10^{-19}$ C)

k =konstanta Boltzman ($1.3806 \cdot 10^{-23}$ J.K⁻¹)

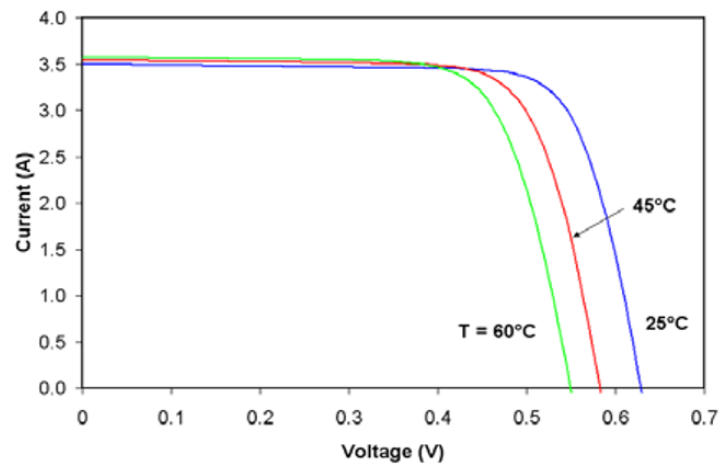
T =temperatur solar sel (°K)

Persamaan (2.2) digunakan dalam simulasi menggunakan komputer untuk mendapatkan karakteristik keluaran solar sel, seperti pada gambar 2.7 dan 2.8. Kurva ini menunjukkan sangat jelas bahwa karakteristik keluaran solar sel adalah non-linier dan sangat dipengaruhi oleh radiasi sinar matahari dan temperatur. Tiap titik mewakili MPP dari masing-masing kurva.



Gambar 2.8. Karakteristik P-V untuk level radiasi.

(Gambar : Surojo, *Desain Dan Simulasi Maximum Power Point Tracking (Mppt) Sel Surya Menggunakan Fuzzy Logic Control Untuk Kontrol Boost Konverter*, 2012:64)



Gambar 2.9. Karakteristik I-V pada temperatur.

(Gambar : Surojo, *Desain Dan Simulasi Maximum Power Point Tracking (Mppt) Sel Surya Menggunakan Fuzzy Logic Control Untuk Kontrol Boost Konverter*, 2012:64)

2.2.11. 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)

2.2.12. 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 H₂SO₄ (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 di gunakan 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 di tentukan oleh reaksi kimia dalam baterai.

b. Kapasitas baterai

Kapasitas baterai adalah ukuran muatan yang disimpan pada suatu baterai yang menggambarkan sejumlah energi maksimal yang di keluarkan 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_{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 :

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

Dimana :

I = Kuat arus listrik (Ampere)

Q = Muatan listrik (Coulomb setara dengan ampere second)

t = Waktu (detik) (Zuhal, 2004)

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 :

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

2.2.13. Konsep Energi Listrik

Pengertian energi listrik sering didefinisikan sebagai perkalian antara 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 :

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

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.

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

Dengan :

V = Tegangan listrik dalam satuan Volt (V)

R = Hambatan listrik dalam satuan Ohm (Ω)

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 hukum Ohm untuk menghasilkan persamaan tambahan dimana:

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

Dengan :

R = Hambatan Listrik satuan Ω (ohm)

P = Daya satuan W (Watt)

I = Arus satuan A (Ampere)

2.2.14. 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 :

- Σ Arus pada satu titik percabangan = 0
- Σ Arus yang masuk percabangan = Σ 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 : $\sum V = 0$

3. 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.

2.2.15. 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.

2.2.16. 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 teroptimal 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 variabel sensitifitas. Contohnya termasuk harga tenaga listrik pada jaringan transmisi, harga bahan bakar, suku bunga per tahun, dan lain-lain.

2.2.17. 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, dukan 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 diterima 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 energi 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 dalam 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 perencanaan 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 terhubung langsung dengan generator, sehingga menghasilkan energi listrik. Terdapat empat parameter pada input sumber energi angin, yaitu:

1. *Weibull shape factor*, Merupakan data pengukuran besar kecepatan angin dalam kurun waktu satu tahun.
2. *Autocorrelation factor*, merupakan pengukuran kecepatan angin dalam waktu satu jam, dan cenderung bergantung pada kecepatannya pada jam sebelumnya
3. *Diurnal pattern strength* dan *hour of peakwind speed*, merupakan parameter yang mengindikasikan magnitudo dan fase dari rata-rata pola harian kecepatan angin.

d. Sumber daya Biomassa (*Biomass Resource*)

Pada sumber energi biomassa, Homer memodelkan sistem tenaga biomassa untuk di ubah menjadi energi listrik. Sumber energi biomassa merupakan sumber energi yang keberadaannya tergantung dari usaha manusia. Sumber energi biomassa diubah menjadi bahan bakar gas yang selanjutnya digunakan

untuk menyalakan 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 bakar generator untuk menghasilkan energi listrik.
2. Menggunakan *input* sumber daya biomassa untuk mengetahui ketersediaan biomassa selama satu tahun.

e. Bahan Bakar (*Fuel*)

Homer 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*.