

STUDI POTENSI ENERGI MATAHARI UNTUK SISTEM
PHOTOVOLTAIK DI SULAWESI SELATAN BERBASIS
“RETSCREEN INTERNATIONAL TOOLS”



OLEH :

GIOVANNY RYLAND R

D411 08867

RAHMAT HADIKUSUMA

D411 08864

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2013

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah dengan memanjatkan puji syukur kehadiran Tuhan YME atas segala rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyusun tugasakhir ini sampai selesai. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat yang harus di penuhi untuk menempuh ujian sarjana pada jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Dengan judul tugas akhir penulis adalah :

STUDI POTENSI ENERGI MATAHARI UNTUK SISTEM PHOTOVOLTAIK DI SULAWESI SELATAN BERBASIS RETSCREEN INTERNATIONAL TOOLS

Penyusunan tulisan ini didasarka pada teori-teori/literature-literatur yang berhubungan dengan topic pembahasan serta bahan-bahan kuliah yang penulis peroleh di bangku kuliah, dan atas bimbingan serta petunjuk-petunjuk dari dosen pembimbing penulis.

Atas terwujudnya tulisan ini,Maka penulis mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada

1. Bapak Ibu dosen pembimbing penulis:

- Dr. Eng. Syafaruddin., ST., M.Eng (Pembimbing I)
- Ir.Ansar suyuti., MT (Pembimbing II)

Yang telah rela meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dalam membimbing penulis sehingga tulisan ini dapat selesai.

2. Bapak Dr. Ir. H Andani Achamd, MT. sebagai Ketua Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak-bapak dan ibu-ibu Dosen beserta seluruh staf Jurusan Teknik Elektro.

4. Kedua orang tua dan saudara-saudara kami tercinta, serta seluruh keluarga atas segala doa restu, bantuan, nasehat dan motivasinya Semoga tuhan membalasnya.
Aamiin
5. Terima kasih kepada teman-teman jurusan teknik elektro sudah banyak membantu dalam menyelesaikan Tugas akhir ini . Keep on fighting till the end

Atas segala jerih payah,bimbingan , bantuan serta dorongan semangat yang telah member manfaat bagi penulis dengan hati terbuka akan menerima setiap saran dan kritik untuk perbaikan tulisan ini.Akhirnya penulis berharap semoga tulisan yang sederhana ini bias bermanfaat bagi semua pihak yang memerlukan.

Makassar, 2012

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR.....	
viii	
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
ABSTRAK.....	xii
ABSTRAC.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1. Latar Belakang.....	1
2. Perumusan Masalah.....	4
3. Tujuan Penelitian.....	4
4. Batasan Masalah.....	4
5. Sistematika Penulisan.....	5
BAB. II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Photovoltaik.....	7
2.1.1 Informasi Umum.....	7

2.1.2 Panel Surya.....	7
2.1.3 Bahan Sel Surya.....	9
2.1.3.1 Silikon Untuk Sel surya.....	9
2.1.4 Prinsip Kerja Photovoltaik.....	16
2.1.5 Lama Usia Dari Solar Sel.....	16
2.1.6 Charge Controller – Solar Controller.....	17
2.1.7 Baterai atau Aki.....	20
2.1.8.1 Charging dan Discharging Baterai atau Aki Pada Photovoltaik...	23
2.1.8.1.1 Charging Baterai atau Aki.....	23
2.1.9 Inverter.....	25
2.1.10 Pemeliharaan panel Surya.....	28
2.1.11 Faktor Pengoperasian Sel Surya.....	28
2.1.12 Sistem PLTS.....	30
2.1.12.1 PLTS-Grid Connected.....	31
2.1.12.2 PLTS Berdiri Sendiri (Stand Alone).....	32
2.2 Aspek Ekonomi terhadap PLTS.....	33
2.3 Kabel Instalasi Photovoltaik.....	34

BAB. III METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian.....	36
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian.....	36
3.3 Pengolahan Data.....	36
3.4 Retscreen International.....	37

3.5 Penentuan Manufaktur.....	39
3.6 Metode Analisa.....	39
3.6.1 Inetnsitas Cahaya Matahari.....	40
3.7 Langkah-langkah Penelitian.....	41

BAB. IV PENUTUP UJI COBA DAN IMPLEMENTASI

4.1 Objek Lokasi Penelitian.....	42
4.1.1 Kondisi Geografis Wilayah Makassar (Bandar Udara Hasanuddin).....	43
4.1.1.1 Orientasi Wilayah.....	43
4.1.1.2 Foto Lokasi Penelitian di Kota Makassar (Bandara Udara Sultan Hasanuddin).....	44
4.1.1.3 Data Intensitas Cahaya Rata-rata Bulanan Dalam 1 Tahun.....	45
4.1.2. Kondisi Geografis Wilayah Pare-pare.....	45
4.1.2.1 Orientasi Wilayah.....	45
4.1.3 Kondisi Geografis Wilayah Bone.....	47
4.1.3.1 Orientasi Wilayah.....	47
4.1.3.2 Foto Lokasi Penelitian di Kota Bone.....	48
4.1.3.3 Data intensitas Cahaya Rata-rata Bulanan dalam 1 Tahun.....	49
4.1.4 Kondisi Geografis Wilayah Palopo.....	49
4.1.4.1 Orientasi Wilayah.....	50
4.1.4.2 Foto lokasi penelitian di Kota Palopo.....	50

4.1.4.3 Data Intensitas Cahaya Rata-rata Bulanan dalam 1 Tahun.....	51
4.1.5 Kondisi Geografis Wilayah Toraja (Rantepao).....	51
4.1.5.1 Orientasi Wilayah.....	51
4.1.5.2 Foto lokasi penelitian di Kota Toraja.....	52
4.1.5.3 Data Intensitas Cahaya Rata-rata Bulanan dalam 1 tahun.....	49
4.2 Manufaktur.....	53
4.2.1 Manufaktur Helios tipe mono-Si-6T-245W.....	54
4.2.2 Manufaktur Schott tipe poly-Si-235W.....	55
4.3 Perhitungan Intensitas cahaya Di setiap Daerah Sulawesi Selatan.....	56
4.3.1 Menghitung Intesitas Cahaya Kota Makassar (Bandara Hasanuddin)....	56
4.3.2 Menghitung Intensitas Cahaya Kota Pare-pare.....	60
4.3.3 Menghitung Intensitas Cahaya Kota Bone.....	62
4.3.4 Menghitung Intensitas Cahaya Kota Palopo.....	65
4.3.5 Menghitung Intensitas Cahaya Kota Toraja (Rantepao).....	67
4.4 Perbandingan Daya.....	70
4.5 Perbandingan spesifikasi Modul Manufaktur.....	72
4.6 Efisiensi Manufaktur.....	74
4.7 Biaya Manufaktur.....	75
4.7.1 Biaya Manufaktur Permodul.....	75
4.7.2 Total Biaya Manufaktur Untuk Pembangkitan 100kW.....	77
4.8 Sistem Pembangkitan 100 kW.....	80

BAB V SIMPULAN DAN SARAN

5.1 SIMPULAN.....	90
5.2 SARAN.....	91

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Hubungan sel surya, modul, panel & array.....	8
Gambar 2.2	Panel Surya Monokristal.....	10
Gambar 2.3	Panel Surya Polykristal.....	12
Gambar 2.4	Panel Surya Amorphous.....	13
Gambar 2.5	Panel Surya Coumpound pada Satelit Komunikasi Luar Angkasa.....	13
Gambar 2.6	Diagram sistem PLTS-Grid connected.....	32
Gambar 2.7	Diagram sistem PLTS berdiri sendiri dengan baterai.....	33
Gambar 4.1	Foto Objek lokasi penelitian Di Kota Makassar.....	44
Gambar 4.2	Foto Objek Lokasi Penelitian di Kota Pare-pare.....	46
Gambar 4.3	Foto objek Lokasi penelitian di Kota Bone.....	48
Gambar 4.4	Foto Objek Lokasi Penelitian di Kota Palopo.....	50
Gambar 4.5	Foto Objek Lokasi Peneliian di Kota Toraja.....	52
Gambar 4.6	Helios tipe mono-Si-6T-245W	75
Gambar 4.7	Schott tipe poly-Si - Schott poly 235W	76
Gambar 4.8	Daya Output (kW/h) tiap manufaktur	71
Gambar 4.9	Perbandingan tingkat efisiensi (%).....	75
Gambar 4.10	Perbandingan biaya manufaktur (Rp).....	76
Gambar 4.11	Tabel Intensitas cahaya pada daerah-daerah yang berpotensi untuk pembangunan PLTS.....	79
Gambar 4.12	Sistem pembangkit 100 kW.....	80
Gambar 4.13	Informasi proyek pada Retscreen International.....	87
Gambar 4.14	Hasil Simulasi Analisa lingkungan.....	88

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbedaan bahan secara umum.....	15
Tabel 2.2	Gauge kabel standard Amerika.....	35
Tabel 4.1	Data lokasi, koordinat dan ketinggian setiap daerah.....	43
Tabel 4.2	Data Suhu Udara, Kelembaban dan intensitas cahaya Kota Makassar.....	45
Tabel 4.3	Data Suhu Udara, Kelembaban dan intensitas cahaya Kota Pare – pare.....	47
Tabel 4.4	Data Suhu Udara, Kelembaban dan Intensitas cahaya Kota Bone.....	49
Tabel 4.5	Data Suhu Udara, Kelembaban dan Intensitas cahaya Kota Palopo.....	51
Tabel 4.6	Data Suhu Udara, Kelembaban dan Intensitas cahaya Kota Toraja.....	53
Tabel 4.7	Intensitas Cahaya Di Wilayah Makassar.....	57
Tabel 4.8	Intensitas Cahaya Di Wilayah Pare-pare.....	60
Tabel 4.9	Intensitas Cahaya Di Wilayah Bone.....	62
Tabel 4.10	Intensitas Cahaya Di Wilayah Palopo.....	65
Tabel 4.11	Intensitas Cahaya Di Wilayah Toraja (Rantepao).....	67
Tabel 4.12	Tabel Simulasi Perbandingan Daya.....	71
Tabel 4.13	Perbandingan Spesifikasi manufaktur jenis Helios tipe mono-Si-6T-245W dan Schott tipe poly-Si - Schott poly 235 W 235W...	72
Tabel 4.14	Efisiensi Manufaktur (%).....	74
Tabel 4.15	Tabel daftar biaya manufaktur.....	76
Tabel 4.16	Tabel total biaya investasi untuk pembangkitan 100 kW.....	77

Tabel 4.17	Tabel Intensitas cahaya matahari di daerah-daerah yang berpotensi untuk pengembangan PLTS.....	78
Tabel 4.18	Perbandingan Emisi Gas Rumah Kaca.....	80
Tabel 4.19	perbandingan modul jenis monokristal dan polykristal pada setiap Daerah di Sulawesi Selatan.....	82
Tabel 4.20	Modul jenis monokristal untuk sistem 100 kW untuk daerah Sulawesi Selatan.....	84
Tabel 4.21	Modul jenis polykristal untuk sistem 100 kW untuk daerah Sulawesi Selatan.....	86

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1: Hasil simulasi Retscreen International untuk sistem Photovoltaik 100kW pada KotaMakassar.....	92
Lampiran 2: Hasil simulasi Retscreen International untuk sistem Photovoltaik 100 kW pada Kota Parepare.....	95
Lampiran 3: Hasil simulasi Retscreen International untuk sistem Photovoltaik 100 kW pada Kota Toraja (Rantepao).....	98
Lampiran 4: Hasil simulasi Retscreen International untuk sistem Photovoltaik 100 kW pada Kota Bone.....	101
Lampiran 5: Hasil simulasi Retscreen International untuk sistem Photovoltaik 100kW pada Kota Palopo.....	104

ABSTRAK

Giovanny Ryland R (D41108867) dan Rahmat Hadikusuma (D4108864). **Studi Potensi Energi Matahari Untuk Sistem Photovoltaik Di Sulawesi Selatan Berbasis Retscreen International Tools (2012)**. Dibimbing Oleh Dr. Eng. Syafaruddin. ST. M.Eng dan Ir. Ansar suyuti. MT.

Dewasa ini Kebutuhan akan energi khususnya energi listrik semakin meningkat, hal ini memaksa kita untuk terus mencari energi alternatif. Retscreen International Tools merupakan program berbasis Microsoft Excel, program ini dapat digunakan untuk memfasilitasi studi pra-kelayakan dan studi kelayakan proyek-proyek energi bersih. Retscreen International tools juga menyediakan fasilitas studi kelayakan untuk berbagai teknologi energi bersih yaitu: energi angin energi skala kecil, energi surya, energi biomassa dan lain-lain. Ada beberapa output yang dihasilkan pada program Retscreen International Tools adalah analisa finansial, analisa sensitifitas dan analisa resiko dan estimasi pengurangan emisi gas rumah kaca. Tujuan dari penelitian ini adalah menghitung potensi energi matahari untuk pemanfaatan photovoltaik di Sulawesi Selatan, menentukan manufaktur yang memiliki tingkat efisiensi yang baik.

Hasil dari penelitian ini dapat diketahui potensi energi surya di setiap daerah-daerah yang menjadi objek penelitian untuk penerapan sistem pembangkit listrik tenaga surya di Sulawesi Selatan.

Kata kunci : *photovoltaik, Retscreen International Tools, pembangkit listrik tenaga surya, monokristal, polykristal, sel surya.*

ABSTRAC

Giovanny Ryland R (D41108867) and Rahmat Hadikusuma (D4108864).

Solar Energy Potential Study for photovoltaic systems in South Sulawesi

Retscreen International-Based Tools (2012). Guided By Dr. Eng. Syafaruddin.

ST. M.Eng and Ir. Ansar Suyuti. MT.

Today the need for energy especially electricity increases, it forces us to continue to look for alternative energy. Retscreen International Tools is a Microsoft Excel-based program, the program can be used to facilitate the study of pre-feasibility and feasibility studies for clean energy projects. Retscreen International tools also provide feasibility studies for a variety of clean energy technologies, namely: small-scale wind power energy, solar energy, biomass and others. There are several output produced on Retscreen International Tools program is financial analysis, sensitivity analysis and analysis resiko dan estimate greenhouse gas emission reductions. purpose of this research is to calculate the potential for the use of photovoltaic solar energy in South Sulawesi, define manufacturing with a good level of efficiency.

Results from The studies can know the potential of solar energy in any areas that become the object of study for the application of solar power plants in South Sulawesi.

BAB I

PENDAHULUAN

I. LATAR BELAKANG

Kebutuhan akan energi yang terus meningkat dan semakin menipisnya cadangan minyak bumi memaksa manusia untuk mencari sumber-sumber energi alternatif. Negara-negara maju juga telah bersaing dan berlomba membuat terobosan-terobosan baru untuk mencari dan menggali serta menciptakan teknologi baru yang dapat menggantikan minyak bumi sebagai sumber energi. Semakin menipisnya persediaan energi dan juga ketergantungan pada salah satu jenis energi dimana hingga saat ini pemakaian bahan bakar minyak sangat besar sekali dan hampir semua sektor kehidupan menggunakan bahan bakar ini, sementara itu bahan bakar minyak merupakan komoditi ekspor yang dominan untuk pendapatan negara.

Kondisi geografis Indonesia yang terdiri atas beberapa pulau yang besar dan ribuan gugusan pulau-pulau kecil, banyak pulau terpencil yang menyebabkan sulit untuk dijangkau oleh jaringan listrik yang bersifat interkoneksi. Matahari merupakan salah satu sumber daya alam yang sangat berlimpah di Indonesia. Dengan penyinaran matahari konstan sepanjang tahun selama 12 jam per hari, tentu ini merupakan salah satu sumber energi yang sangat potensial dikembangkan di negara kita Indonesia. Disamping adanya bahan bakar yang berlimpah ruah, tentu saja sumber energi matahari ini sangat ramah lingkungan. Listrik dari sumber energi surya ini tentu saja akan sangat berguna untuk pemerataan listrik ke daerah-daerah terpencil yang belum terjangkau saluran transmisi PLN.

Dalam upaya pencarian sumber energi baru sebaiknya memenuhi syarat yaitu menghasilkan jumlah energi yang cukup besar, biaya ekonomis dan tidak berdampak negatif terhadap lingkungan. Oleh karena itu pencarian tersebut diarahkan pada pemanfaatan energi matahari baik secara langsung maupun tidak langsung. Sebagai salah satu sumber energi alternatif yang dapat dimanfaatkan dalam pemenuhan kebutuhan akan energi listrik ialah energi matahari. Namun, tidak semua daerah memiliki potensi intensitas cahaya yang sama, begitu juga di Indonesia. Salah satu daerah di Indonesia yang memiliki potensi energi matahari adalah daerah Sulawesi Selatan. Di mana intensitas cahaya matahari di Sulawesi Selatan sangat baik. Di daerah Sulawesi Selatan sendiri telah terdiri beberapa kota, disetiap kota mempunyai intensitas cahaya yang berbeda dan ada juga yang hampir sama, namun data yang tersedia di program Retscreen International hanya mewakili beberapa daerah di Sulawesi Selatan, karena dapat mewakili intensitas cahaya dari beberapa daerah itu sendiri. Sebagai contoh Kota Makassar mempunyai intensitas cahaya yang hampir sama antara kota Maros dan kota Gowa.

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui potensi energi matahari di Propinsi Sulawesi Selatan sebagai energi alternatif untuk memenuhi kebutuhan masyarakat yang semakin meningkat. Dalam mengkaji potensi energi matahari di Propinsi Sulawesi Selatan diperlukan data intensitas cahaya dari beberapa daerah di Sulawesi Selatan.

Photovoltaik (PV) adalah sektor teknologi dan penelitian yang berhubungan dengan aplikasi [panel surya](#) untuk [energi](#) dengan mengubah [sinar matahari](#) menjadi [listrik](#). Karena permintaan yang terus meningkat terhadap sumber energi bersih, pembuatan [panel surya](#) dan [kumpulan photovoltaik](#) telah meluas secara dramatis dalam beberapa tahun belakangan ini.

Prinsip kerja sederhana photovoltaik adalah sinar matahari dapat dianggap sebagai sebuah gelombang cahaya atau sebagai paket energi (photon). Untuk menjelaskan efek pada sel photovoltaik yang paling mudah adalah dengan menganggap sinar matahari sebagai paket energi (photon). Elektron dapat pindah dari lapisan N ke P tetapi tidak sebaliknya. Photon dengan energi cukup yang mengenai sel tersebut berfungsi untuk mendorong elektron dari lapisan P ke lapisan N karena pada lapisan N terjadi kelebihan elektron sedang pada lapisan P kekurangan elektron. Hal ini menimbulkan beda tegangan yang dapat digunakan sebagai suatu sumber tenaga.

Ada beberapa keuntungan dari segi lingkungan yang dapat diperoleh yaitu tenaga matahari bebas polusi dalam penggunaannya, tidak memerlukan bahan bakar dan pemeliharaan serta jumlahnya cukup besar secara kontinu. Beberapa kekurangan dari segi lingkungan untuk pembangkit listrik tenaga matahari selalu lebih mahal dibandingkan listrik yang dihasilkan oleh sumber yang lain dan listrik tenaga matahari tidak dapat bekerja pada malam hari dan kurang efektif jika dalam cuaca berawan, oleh karena itu diperlukan sebuah sistem penyimpanan.

Disamping itu jika ditinjau dari segi ekonomi mempunyai kelebihan yaitu biaya operasional sangat rendah dibandingkan teknologi pembangkit yang ada saat ini, serta mempunyai kekurangan dari segi ekonomi yaitu biaya produksi sel surya terbilang mahal, sel surya harus memiliki perangkat-perangkat pendukung seperti baterai, inverter, penghantar, dan infrastruktur.

II. PERUMUSAN MASALAH

- Bagaimana menghitung seberapa besar potensi energi matahari di Sulawesi Selatan untuk pengaplikasian photovoltaik.

- Bagaimana memperoleh gambaran penghematan biaya dalam hal emisi CO₂ dan investasi ekonomi sistem.

III. TUJUAN PENELITIAN

- Menghitung potensi energi matahari di beberapa daerah di Sulawesi Selatan untuk pemanfaatan photovoltaik bentuk monokristal dan polykristal.
- Menentukan manufaktur yang memiliki tingkat efisiensi yang dapat digunakan di daerah Sulawesi Selatan.

IV. BATASAN MASALAH

Beberapa batasan masalah yang terdapat pada tugas akhir ini adalah :

1. Menghitung rata-rata intensitas cahaya matahari dalam setahun di beberapa daerah di Sulawesi Selatan.
2. Menentukan manufaktur photovoltaik yang dapat digunakan berdasarkan data intensitas cahaya yang diperoleh dari parameter :
 - Menghitung daya yang mampu dibangkitkan untuk setiap daerah di Sulawesi Selatan.
 - Menghitung biaya manufaktur yang dibutuhkan dalam proses pembangunan pembangkit listrik tenaga surya.

V. SISTEMATIKA PENULISAN

Untuk mempermudah penulisan agar pembahasan yang disajikan lebih sistematis, maka laporan ini dibagi dalam lima bab, isi masing-masing bab diuraikan secara singkat dibawah ini :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini dijelaskan tentang alasan mengambil topik ini sebagai skripsi, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini akan dibahas tentang penjelasan-penjelasan umum mengenai teori-teori yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan seperti unsur-unsur klimatologi yang akan digunakan dan program Retscreen International.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini dijelaskan mengenai langkah-langkah perancangan sistem prediksi intensitas cahaya dari program Retscreen Internatioal.

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisi analisis dari pengujian (validasi) dibandingkan dengan data aktual dari program Retscreen International.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari penelitian yang dilakukan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Photovoltaik

2.1.1 Pengertian Photovoltaik

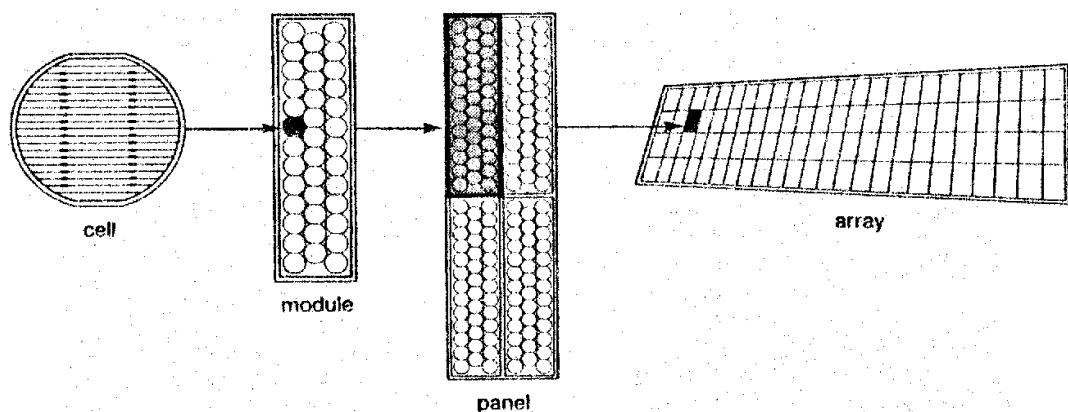
Photovoltaik (PV) adalah sektor teknologi dan penelitian yang berhubungan dengan aplikasi [panel surya](#) untuk [energi](#) dengan mengubah [sinar matahari](#) menjadi [listrik](#). Karena permintaan yang terus meningkat terhadap sumber energi bersih, pembuatan [panel surya](#) dan [kumpulan photovoltaik](#) telah meluas secara dramatis dalam beberapa tahun belakangan ini. Sel surya atau sel photovoltaik adalah sebuah alat semikonduktor yang terdiri dari sebuah wilayah besar dioda P-N junction dimana dalam hadirnya cahaya matahari mampu menciptakan energi listrik yang berguna. Perubahan ini disebut efek photovoltaik. Bidang riset berhubungan dengan sel surya dikenal sebagai photovoltaik. Sel surya memiliki banyak aplikasi seperti, satelit pengorbit (bumi), kalkulator genggam, pompa air, dan sebagainya. Sel surya (dalam bentuk modul atau panel surya) dapat dipasang di atap gedung di mana mereka berhubungan dengan inverter ke grid listrik dalam sebuah pengaturan net metering [2], [4].

2.1.2 Panel Surya

Panel surya adalah alat yang terdiri dari sel surya yang mengubah cahaya menjadi listrik. Matahari merupakan sumber cahaya terkuat yang dapat dimanfaatkan. Panel surya sering kali disebut sel photovoltaik, photovoltaik dapat diartikan sebagai cahaya listrik. Sel surya atau sel PV bergantung pada efek

photovoltaik untuk menyerap energi matahari dan menyebabkan arus mengalir antara dua lapisan bermuatan yang berlawanan.

Jumlah penggunaan panel surya di porsi pemroduksian listrik dunia sangat kecil, tertahan oleh biaya tinggi per watt-nya dibandingkan dengan bahan bakar fosil yang dapat lebih tinggi sepuluh kali lipat, tergantung keadaan. Sekarang ini biaya panel listrik surya membuatnya tidak praktis untuk penggunaan sehari-hari di mana tenaga listrik kabel telah tersedia. Bila biaya energi naik dalam jangka tertentu, atau bila penerobosan produksi terjadi yang mengurangi ongkos produksi panel surya, ini sepertinya tidak akan terjadi dalam waktu dekat. Berikut diagram hubungan antara sel surya, modul, panel surya dan array [5], [6].



Gambar 2.1 Hubungan sel surya, modul, panel & array (Yusliharya, 2007, jbptunikomp, online, 11 Juli 2012).

Menghitung Energi Surya

Untuk menghitung energi surya dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q_p = L_{MS} \times H_{td} \dots\dots\dots \{2.1\}$$

Dimana :

$$L_{MS} = \text{Luas Modul Surya (m}^2\text{)}.$$

$$H_{td} = \text{Insolasi Disain/Radiasi Standar (} \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \text{/d)}.$$

2.1.3 Bahan Sel Surya

2.1.3.1 Silikon untuk sel surya

Sel surya dibuat dari silikon yang berbentuk bujur sangkar pipih dengan ukuran 5 x 5 cm atau 10 x 10 cm persegi. Ketebalan silikon ini sekitar 2 mm. Lempengan bujur sangkar pipih ini disebut dengan wafer silikon untuk sel surya. Bentuk wafer silikon sel surya berbeda dengan wafer silikon untuk semikonduktor lain (*chip*, prosesor komputer, RAM memori) yang berbentuk bundar pipih meski memiliki ketebalan yang sama. Wafer silikon dibuat melalui proses pembuatan wafer silikon dengan memanfaatkan silikon berkadar kemurnian tinggi sebelumnya (*semiconductor grade silicon*). Berikut beberapa cara membuat wafer silikon untuk keperluan sel surya yaitu :

- monokristal silikon.

Monokristal di sini berarti silikon tersebut tersusun atas satu kristal saja. Wafer silikon monokristal dibuat melalui proses Czochralski (Cz) yang merupakan jantung dari proses pembuatan wafer silikon untuk semikonduktor pula. Prosesnya melibatkan peleburan silikon semikonduktor *grade*, diikuti dengan pemasukan batang umpan silikon ke dalam leburan silikon. Ketika batang umpan ini ditarik perlahan dari leburan silikon, maka secara otomatis silikon dari leburan akan menempel di batang umpan dan membeku sebagai satu kristal besar silikon. Suhu proses berkisar antara 1000 - 1200 °C, yakni suhu di mana silikon dapat melebur atau meleleh atau mencair. Silikon yang telah membeku ini akhirnya dipotong-potong menghasilkan wafer dengan ketebalan sekitar 2 mm.



Gambar 2.2 Panel Surya Monokristal (Sumber : Modul Pengenalan Teknologi Tenaga Surya, 2008, online, 25 Juli 2012).

- Polykristal Silikon.

Wafer silikon monokristal relatif jauh lebih sulit dibuat dan lebih mahal. Silikon monokristal inilah yang digunakan untuk bahan dasar semikonduktor pada mikrochip, prosesor, transistor, memori dan sebagainya. Keadaannya yang monokristal (mengandung hanya satu kristal tunggal) membuat silikon monokristal nyaris tanpa cacat dan sangat baik tingkat hantar listrik dan panasnya. Sel surya akan bekerja dengan sangat baik dengan tingkat efisiensi yang tinggi jika menggunakan silikon jenis ini.

Namun demikian, perlu diingat bahwa isu besar sel surya ialah bagaimana menurunkan harga yang masih jauh dari jangkauan masyarakat. Penggunaan silikon monokristal jelas akan melonjakkan harga sel surya yang akhirnya justru kontraproduktif. Komunitas industri dan peneliti sel surya akhirnya berpaling ke jenis silikon yang lain yang lebih murah, lebih mudah dibuat, meski agak sedikit mengorbankan tingkat efisiensinya. Saat ini, baik silikon monokristal maupun polikristal sama-sama banyak digunakan oleh masyarakat.

Pembuatan silikon polykristal pada intinya sama dengan mengecor logam. *Semikonduktor grade silikon* dimasukkan ke dalam sebuah tungku atau tanur bersuhu tinggi hingga melebur atau meleleh. Leburan silikon ini akhirnya dimasukkan ke dalam cetakan cor dan selanjutnya dibiarkan membeku. Persis seperti pengecoran besi, aluminium, tembaga maupun logam lainnya. Silikon yang beku kemudian dipotong-potong menjadi berukuran 5 x 5 cm atau 10 x 10 cm persegi dengan ketebalan kira-kira 2 mm untuk digunakan sebagai sel surya.

Proses pembuatan silikon polykristal dengan cara ini merupakan proses yang paling banyak dilakukan karena sangat efektif baik dari segi ekonomis maupun teknis.



Gambar 2.3 Panel Surya Polykristal (Sumber : Modul Pengenalan Teknologi Tenaga Surya, 2008, online, 25 Juli 2012).

- Amorphous

Silikon amorphous (a-Si) digunakan sebagai bahan baku panel surya untuk kalkulator pada waktu tertentu. Meskipun kinerjanya rendah daripada sel surya c-Si (*crystalline*) tradisional, hal ini tidak terlalu penting dalam kalkulator, yang menggunakan tenaga sangatlah minim. Saat ini perkembangan pada teknik a-Si membuat mereka menjadi lebih efektif untuk area yang luas digunakan solar sel panel. Efisiensi tinggi dapat dicapai dengan penyusunan beberapa layar sel a-Si yang tipis di bagian atas satu sama lain, setiap rangkaian diatur untuk bekerja pada frekuensi cahaya tertentu. Pendekatan ini tidak berlaku untuk sel c-Si, dimana sangatlah tebal sebagai hasil dari teknik pembangunan dan buram, menghalangi cahaya pada lapisan ditiap susunan. Keuntungan dari dasar a-Si menggunakan sekitar 1% silikon daripada sel c-Si dan biaya untuk silikon adalah faktor terbesar dalam biaya sel.



Gambar 2.4 Panel Surya Amorphous (Sumber : Modul Pengenalan Teknologi TenagaSurya, 2008, online, 25 Juli 2012).

- Compound (GaAs)

Compound Gallium Arsenide (GaAs) dapat mengkonversi sekitar 40% radiasi matahari menjadi listrik, sehingga dua kali lebih efektif dibandingkan silikon. Efisiensi ini membuat gallium arsenide menjadi bahan pilihan untuk membangun sel surya pesawat ruang angkasa, tetapi harga gallium *arsenide* sangat mahal.



Gambar 2.5 Panel Surya Coumpound pada Satelit Komunikasi Luar Angkasa (Sumber: Modul Pengenalan Teknologi Tenaga Surya, 2008, online, 25 Juli 2012).

- Sel surya film tipis (Thin film solar cells)

Sel surya yang terbuat dari film tipis (*Thin film solar cells*) diantaranya ada tiga material yang sedang dikembangkan secara intensif yaitu CuInSe_2 (atau paduannya seperti CuInS_2 atau CuInGaSe_2), CdTe dan silikon amorphous. Sel surya film tipis CdTe telah dapat diproduksi dalam bentuk modul percobaan dengan efisiensi sekitar 10%. Diterima dengan baik karena mengandung unsur cadmium. Material CuInSe_2 adalah juga diharapkan dapat digunakan secara luas. Material dengan daya absorpsi cahaya yang besar ini, secara teoritik mempunyai efisiensi 20% bahkan lebih. Dalam skala laboratorium saat ini telah dibuat efisiensi di atas 15%. Yang terakhir adalah silikon amorphous, material ini juga dikenal sebagai bahan dasar pembuatan flat panel display untuk layar komputer atau televisi portabel. Ini dimungkinkan karena material ini bisa ditumbuhkan dalam ukuran besar dengan lebar lebih dari satu meter. Film tipis silikon amorphous biasanya dibuat dengan menguraikan gas monosilane (SiH_4) dalam plasma yang dibangkitkan oleh penguat frekuensi radio (*glow discharge*).

Tabel 2.1 Perbedaan bahan secara umum (sumber : jenis panel surya, 2010, online, 19 juli 2012).

	Efisiensi Perubahan Daya	Daya Tahan	Biaya	Keterangan	Penggunaan
Monokristal	Sangat Baik	Sangat baik	Baik	Kegunaan pemakaian luas	Sehari – hari
Polykristal	Baik	Sangat baik	Sangat baik	Cocok untuk produksi massal di masa depan	Sehari – hari
Amorphous (a-Si)	Cukup baik	Cukup baik	Baik	Bekerja baik dalam pencahayaan fluorescent	Sehari – hari dan perangkat komersial (kalkulator)
Compound (GaAs)	Sangat baik	Sangat baik	Cukup baik	Berta dan rapuh	Pemakaian diluar angkasa

Bagian utama perubah energi sinar matahari menjadi listrik adalah *absorber* (penyerap), meskipun demikian, masing-masing lapisan juga sangat berpengaruh terhadap efisiensi dari solar sel. Sinar matahari terdiri dari bermacam-macam jenis gelombang elektromagnetik. Oleh karena itu absorber disini diharapkan dapat menyerap sebanyak mungkin solar radiation yang berasal dari cahaya matahari [17].

2.1.4 Prinsip Kerja

Prinsip kerja sederhana photovoltaik adalah sinar matahari dapat dianggap sebagai sebuah gelombang cahaya atau sebagai paket energi (photon). Untuk menjelaskan efek pada sel photovoltaik yang paling mudah adalah dengan menganggap sinar matahari sebagai paket energi (photon). Elektron dapat pindah dari lapisan N ke P tetapi tidak sebaliknya. Photon dengan energi cukup yang mengenai sel tersebut berfungsi untuk mendorong elektron dari lapisan P ke lapisan N karena pada lapisan N terjadi kelebihan elektron sedang pada lapisan P kekurangan elektron. Hal ini menimbulkan beda tegangan yang dapat digunakan sebagai suatu sumber tenaga [4].

2.1.5 Lama Usia dari Solar Sel

Sebuah photovoltaik (PV) sistem dengan perawatan yang baik dapat bertahan hingga lebih dari 20 tahun. Sebenarnya dengan kondisi dimana sistem solar sel tidak dipindah-pindah dan terinterkoneksi langsung pada alat listrik, modul solar sel yang melalui fabrikasi yang baik mampu bertahan hingga 30 tahun. Cara terbaik agar sistem solar sel dapat bertahan lama serta tetap stabil performansinya (efisiensinya) adalah dengan melakukan pemasangan dan perawatan yang sesuai serta dalam waktu yang teratur. Berbagai kasus dalam permasalahan solar sel yang paling banyak dijumpai adalah dikarenakan buruknya cara pemasangan serta tidak rapinya proses instalasi. Kasus yang sering dijumpai tersebut antara lain seperti koneksi yang tidak baik, ukuran kabel yang tidak tepat, ataupun komponen yang tidak sesuai untuk aliran DC.

Selain itu juga kesalahan sering terjadi pada tidak seimbangya sistem (*balance of system* atau BOS) bagian-bagian yang dipasang yaitu kontroler, inverter, serta proteksi komponen. Baterai dapat lebih cepat rusak jika diberi beban kerja diluar batas spesifikasinya. Pada sistem sel surya, baterai digunakan dan diberi muatan secara perlahan-lahan bahkan hingga periode beberapa hari bahkan satu minggu. Kondisi ini berbeda dengan cara kerja baterai yang umumnya langsung diisi segera setelah digunakan, yang menyebabkan baterai pada sistem solar sel dapat lebih cepat rusak jika tidak menggunakan tipe baterai yang sesuai dengan karakteristik ini.

2.1.6 Charge Controller - Solar Controller

Charge Controller adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengatur pengisian arus searah dari panel surya ke baterai dengan mengatur penyaluran arus dari baterai ke peralatan listrik (beban). *Solar charge controller* mengatur *overcharging* (kelebihan pengisian - karena baterai sudah penuh). Bila baterai sudah penuh terisi maka secara otomatis pengisian dari arus panel surya berhenti. Cara deteksi adalah melalui monitor level tegangan baterai. *Charge controller* akan mengisi baterai sampai level tegangan tertentu, kemudian apabila level tegangan telah mencapai level terendah, maka baterai akan diisi kembali. Apabila telah terjadi pengisian secara terus – menerus dan tanpa dibatasi oleh *charge controller* dapat mengurangi umur baterai. *Charge controller* adalah indikator yang akan memberikan informasi mengenai kondisi baterai sehingga penggunaan PLTS dapat mengendalikan konsumsi energi menurut ketersediaan listrik yang terdapat didalam baterai. *Solar charge controller* menerapkan

teknologi [Pulse width modulation](#) (PWM) untuk mengatur fungsi pengisian [baterai](#) dan pembebasan arus dari baterai ke beban. Jadi tanpa *solar charge controller*, [baterai](#) akan rusak oleh *over charging* dan ketidakstabilan tegangan. Baterai umumnya di *charge* pada tegangan 14 – 14,7 Volt. Beberapa fungsi detail dari *solar charge controller* adalah sebagai berikut:

- Mengatur arus untuk pengisian ke [baterai](#), menghindari *overcharging*, dan *overvoltage*.
- Mengatur arus yang dibebaskan atau diambil dari baterai agar baterai tidak *full discharge* dan *overloading*.
- Monitoring temperatur baterai.

Beberapa yang perlu diperhatikan dalam pemilihan *solar charge controller* adalah :

- *Voltage* 12 Volt DC / 24 Volt DC.
- Kemampuan (dalam arus searah) dari *controller*. Misalnya 5 Ampere, 10 Ampere dan seterusnya.
- *Full charge* dan *low voltage cut*.

Dalam pengaturan *charging* , umumnya [baterai](#) diisi dengan tiga tahapan metode *charging*:

1. *Fase bulk* : baterai akan di-*charge* sesuai dengan tegangan setup (*bulk* - antara 14,4 – 14,6 Volt) dan arus diambil secara maksimum dari

[panel surya atau solar sel](#). Pada saat [baterai](#) sudah pada tegangan setup (*bulk*) dimulailah *fase absorption*.

2. *Fase absorption* : pada fase ini, tegangan [baterai](#) akan dijaga sesuai dengan tegangan *bulk*, sampai [solar charge controller timer](#) (umumnya satu jam) tercapai, arus yang dialirkan menurun sampai tercapai kapasitas dari [baterai](#).
3. *Fase float* : [baterai](#) akan dijaga pada tegangan *float setting* (umumnya 13,4 – 13,7 Volt). Beban yang terhubung ke baterai dapat menggunakan arus maksimum dari [panel surya atau solar sel](#) pada *stage* ini.

Solar Charge Controller biasanya terdiri dari : 1 input (2 terminal) yang terhubung dengan *output* [panel surya atau solar sel](#), 1 output (2 terminal) yang terhubung dengan [baterai atau aki](#) dan 1 output (2 terminal) yang terhubung dengan beban (*load*). Arus listrik DC yang berasal dari baterai tidak mungkin masuk ke panel sel surya karena biasanya ada dioda *protection* yang hanya melewatkan arus listrik DC dari panel surya atau solar sel ke baterai, bukan sebaliknya. Ada dua jenis teknologi yang umum digunakan oleh *solar charge controller* :

1. PWM (*Pulse Wide Modulation*), seperti namanya menggunakan lebar pulse dari on dan off elektrik, sehingga menciptakan seakan-akan *sine wave electrical form*.
2. MPPT (*Maximun Power Point Tracker*), yang lebih efisien konversi DC ke DC. MPPT dapat mengambil maksimum daya dari PV. MPPT *charge controller* dapat menyimpan kelebihan daya yang tidak digunakan oleh

beban ke dalam [baterai](#), dan apabila daya yang dibutuhkan beban lebih besar dari daya yang dihasilkan oleh PV, maka daya dapat diambil dari baterai [10].

2.1.7 Baterai atau aki

Baterai atau aki adalah sebuah alat penyimpan tenaga listrik arus searah (DC). Ada beberapa jenis baterai atau aki di pasaran yaitu :

1. Baterai atau aki basah atau konvensional.
2. *Hybrid*.
3. *Maintenance Free* (MF).

Aki basah atau konvensional berarti masih menggunakan asam sulfat (H_2SO_4) dalam bentuk cair, sedangkan aki MF sering disebut juga aki kering karena asam sulfatnya sudah dalam bentuk gel atau selai. Dalam hal mempertimbangkan posisi peletakkannya maka aki kering tidak mempunyai kendala, lain halnya dengan aki basah. Aki konvensional juga kandungan timbalnya (Pb) masih tinggi sekitar 2,5% untuk masing-masing sel positif dan negatif, sedangkan jenis *hybrid* kandungan timbalnya sudah dikurangi menjadi masing-masing 1,7%, hanya saja sel negatifnya sudah ditambahkan unsur *Calcium*, sedangkan aki MF / aki kering sel positifnya masih menggunakan timbal 1,7% tetapi sel negatifnya sudah tidak menggunakan timbal melainkan *Calcium* sebesar 1,7%. Pada *Calcium* baterai Asam Sulfatnya (H_2SO_4) masih berbentuk cairan, hanya saja hampir tidak memerlukan perawatan karena tingkat penguapannya kecil sekali dan dikondensasi kembali. Teknologi sekarang bahkan

sudah memakai bahan silver untuk campuran sel negatifnya. Berikut ini beberapa pertimbangan dalam pemilihan aki yaitu :

1. Tata letak, apakah posisi tegak, miring atau terbalik. Bila pertimbangannya untuk segala posisi maka aki kering adalah pilihan utama karena cairan air aki tidak akan tumpah. Aki kering tahan guncangan sedangkan aki basah bahan elektrodanya mudah rapuh terkena guncangan.
2. *Voltage*/tegangan, dipasaran yang mudah ditemui adalah yang bertegangan 6V, 12V dan 24V. Ada juga yang *multipole* yang mempunyai beberapa titik tegangan.
3. Kapasitas aki yang tertulis dalam satuan Ampere *hour* (Ah), yang menyatakan kekuatan aki, seberapa lama aki tersebut dapat bertahan menyuplai arus untuk beban atau *load*.
4. *Cranking* Ampere yang menyatakan seberapa besar arus *start* yang dapat disuplai untuk pertama kali pada saat beban dihidupkan. Aki kering biasanya mempunyai *cranking* ampere yang lebih kecil dibandingkan aki basah, akan tetapi suplai tegangan dan arusnya relatif stabil dan konsisten. Itu sebabnya perangkat audio mobil banyak menggunakan aki kering.
5. Pemakaian dari aki itu sendiri apakah untuk kebutuhan rutin yang sering dipakai ataukah cuma sebagai *back-up* saja. Aki basah, tegangan dan kapasitasnya akan menurun bila disimpan lama tanpa *recharge*, sedangkan aki kering relatif stabil bila disimpan untuk jangka waktu lama tanpa *recharge*.

6. Harga, karena aki kering mempunyai banyak keunggulan maka harganya pun jauh lebih mahal daripada aki basah.

Secara garis besar, baterai dibedakan berdasarkan aplikasi dan konstruksinya. Berdasarkan aplikasi maka baterai dibedakan untuk *automotif*, *marine* dan *deep cycle*. *Deep cycle* itu meliputi baterai yang biasa digunakan untuk Photovoltaik dan *back up power*. Sedangkan secara konstruksi maka baterai dibedakan menjadi tipe basah, gel dan AGM (*Absorbed Glass Ma*). Baterai jenis AGM biasanya juga dikenal dgn VRLA (*Valve Regulated Lead Acid*).

Adapun jenis baterai kering *deep cycle* juga dirancang untuk menghasilkan tegangan yang stabil dan konsisten. Penurunan kemampuannya tidak lebih dari 1-2% per bulan tanpa perlu *discharge*. Bandingkan dengan baterai konvensional yang bisa mencapai 2% per minggu untuk *self discharge*. Konsekuensinya untuk *charging* pengisian arus ke dalam baterai *Deep Cycle* harus lebih kecil dibandingkan baterai konvensional sehingga butuh waktu yang lebih lama untuk mengisi muatannya. Antara tipe gel dan AGM hampir mirip hanya saja baterai AGM mempunyai semua kelebihan yang dimiliki tipe gel tanpa memiliki kekurangannya. Kekurangan tipe Gel adalah pada waktu *di-charge* maka tegangannya harus 20% lebih rendah dari baterai tipe AGM ataupun basah. Bila *overcharged* maka akan timbul rongga di dalam gelya yang sulit diperbaiki sehingga berkurang kapasitas muatannya. Karena tidak ada cairan yang dapat membeku maupun mengembang, membuat baterai *Deep Cycle* tahan terhadap cuaca ekstrim yang membekukan. Ada 2 rating untuk baterai yaitu CCA dan RC yaitu :

- *Cold Cranking Ampere* (CCA) menunjukkan seberapa besar arus yang dapat dikeluarkan serentak selama 30 detik pada titik beku air yaitu 0 °C.
- *Reserve Capacity* (RC) menunjukkan berapa lama (dalam menit) baterai tersebut dapat menyalurkan arus sebesar 25 A sambil tetap menjaga tegangannya di atas 10,5 Volt.
- Baterai *Deep Cycle* mempunyai 2-3 kali lipat nilai RC dibandingkan baterai konvensional. Umur baterai AGM rata-rata antara 5-8 tahun [7], [8].

2.1.8.1 Charging dan discharging baterai atau aki pada Photovoltaik

2.1.8.1.1 Charging Baterai atau Aki

Waktu pengisian [baterai aki atau sealed lead acid](#) adalah 12 sampai 16 jam. Dengan arus pengisian yang lebih tinggi dan metode pengisian *multi-stage*, waktu pengisian dapat berkurang sampai dengan 10 jam atau kurang.

Pengisian *multi-stage*, terdiri dari 3 *stage* atau tahap, *constant-current charge*, *topping charge* dan *float charge*. Selama *constant-current charge*, [baterai](#) diisi sampai 70 % dalam waktu 5 jam, sisanya 30 persen adalah pengisian pelan-pelan dalam *topping charge*. *Topping charge* butuh sekitar 5 jam yang lain dan ini sangat penting untuk menjaga baterai tetap baik. Jika pola pengisian baterai tidak lengkap sesuai dengan kedua *stage* diatas, maka baterai akan kehilangan kemampuan untuk menerima *full charge* dan kinerja baterai akan berkurang. Tahap ketiga adalah *float charge*, kompensasi *self discharge* setelah baterai terisi penuh.

[Baterai atau aki](#), terdiri dari beberapa sel. Baterai aki 12 Volt, terdiri dari 6 sel. Batas tegangan satu sel umumnya mulai dari 2,30 V sampai 2,45 V. Jadi baterai aki 12 Volt, tegangan sebenarnya adalah antara 13,8 V – 14,7 Volt. Kondisi baterai aki tergantung dari suhu. Suhu tinggi menyebabkan baterai cepat rusak. Pada saat *charging* baterai pada suhu ruangan melebihi 30 derajat celsius, tegangan yang direkomendasikan adalah 2,35 V/sel. Pada saat *charging* dan suhu ruangan tetap dibawah 30 °C, tegangan charger untuk masing-masing sel disarankan 2,40 Volt sampai 2,45 Volt.

Tegangan float *charge* yang direkomendasikan dari kebanyakan [baterai aki lead acid](#) adalah di antara 2,25 sampai 2,30 V/sel. Kompromi yang baik adalah 2,27 V. *Float charge* yang optimal bergeser tergantung dari suhu. Pada suhu tinggi dibutuhkan tegangan lebih kecil dan suhu lebih rendah dibutuhkan tegangan lebih tinggi. *Charger* dengan suhu yang fluktuatif harus dilengkapi dengan sensor suhu untuk mengoptimalkan *float voltage*.

[Baterai aki](#) memerlukan periodik *discharge*, untuk memperpanjang umur baterai. Penerapan sekali dalam sebulan, dimana *discharge* dilakukan hanya berkisar 10% dari total kapasitas. *Full discharge* sebagai bagian dari pemeliharaan rutin tidak direkomendasikan karena akan mengurangi siklus hidup baterai.

[Baterai aki](#) memiliki tegangan puncak bervariasi pada suhu yang bervariasi saat pengisian ulang dan *float charge*. Menerapkan kompensasi suhu pada charger untuk menyesuaikan suhu ekstrim memperpanjang umur baterai hingga 15 %, ini benar jika dijalankan pada suhu tinggi [8], [11].

2.1.8.1.2 *Discharging* Baterai atau Aki

Kapasitas [baterai](#) sebesar 100 Ampere *hour* (Ah), artinya arus baterai akan habis dalam satu jam, bila beban menggunakan 100 Ampere. *Level discharge* [baterai aki](#) yang direkomendasikan adalah sampai dengan tegangan 1,75 Volt per sel. Baterai aki akan rusak apabila tegangan per sel lebih kecil dari 1,75 Volt (atau 10,5 Volt untuk baterai 12 Volt).

Masa [baterai](#) dihitung dalam jumlah *cycle*. Satu *cycle* adalah satu kali penggunaan dan pengisian. *Depth of discharge* (jumlah pemakaian ampere baterai), mempengaruhi jumlah *cycle* baterai aki. Pada suhu 25 derajat Celcius [8].

- 150 - 200 cycle dengan 100 % *depth of discharge* (*full discharge*).
- 400 - 500 cycle dengan 50 % *depth of discharge* (*partial discharge*).
- 1000 atau lebih dengan 30 % *depth of discharge* (*shallow discharge*).

2.1.9 [Inverter](#)

[Inverter](#) adalah perangkat elektrik yang digunakan untuk mengubah arus listrik searah (DC) menjadi arus listrik bolak balik (AC). Inverter mengkonversi DC dari perangkat seperti [baterai, panel surya atau solar sel](#) menjadi AC. Penggunaan [inverter](#) dari dalam [Pembangkit Listrik Tenaga Surya](#) (PLTS) adalah untuk perangkat yang menggunakan AC (Alternating Current), kulkas, televisi dan lain - lain.

Beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan [inverter](#):

- Kapasitas beban dalam Watt, usahakan memilih [inverter](#) yang beban kerjanya mendekati dengan beban yang hendak kita gunakan agar efisiensi kerjanya maksimal.
- Input DC 12 Volt atau 24 Volt.
- *Sinewave* ataupun *square wave output AC*.

True sine wave inverter diperlukan terutama untuk beban-beban yang masih menggunakan motor agar bekerja lebih mudah, lancar dan tidak cepat panas. Oleh karena itu dari sisi harga maka *true sine wave inverter* adalah yang paling mahal diantara yang lainnya karena dialah yang paling mendekati bentuk gelombang asli dari jaringan listrik PLN [9].

Dalam perkembangannya dipasaran juga beredar *modified sine wave inverter* yang merupakan kombinasi antara *square wave* dan *sine wave*. Perangkat yang menggunakan kumparan masih bisa beroperasi dengan *modified sine wave inverter*, hanya saja kurang maksimal, sedangkan pada *square wave inverter* beban-beban listrik yang menggunakan kumparan atau motor tidak dapat bekerja sama sekali. Selain itu dikenal juga istilah *Grid Tie Inverter* yang merupakan special inverter yang biasanya digunakan dalam sistem energi listrik terbarukan, yang mengubah arus listrik DC menjadi AC yang kemudian diumpankan ke jaringan listrik yang sudah ada. *Grid Tie Inverter* juga dikenal sebagai *synchronous inverter* dan perangkat ini tidak dapat berdiri sendiri, apalagi bila jaringan tenaga listriknya tidak tersedia. Dengan adanya *grid tie inverter*

kelebihan KWh yang diperoleh dari sistem PLTS ini bisa disalurkan kembali ke jaringan listrik PLN untuk dinikmati bersama dan sebagai pengantinya besarnya KWh yang disuplai harus dibayar PLN ke penyedia PLTS, tentunya dengan tarif yang telah disepakati sebelumnya. Sayangnya sampai sekarang ketentuan tarif semacam ini masih terus digodok seiring dengan aturan mengenai listrik swasta. Tugas lain yang harus dilakukan *grid tie inverter* adalah proses metering bersih. Metode metering bersih ini akan memungkinkan anda untuk menyimpan sedikit energi pada listrik. Pemeliharaan menjadi lebih mudah karena tidak menggunakan baterai. GTIs akan dimatikan otomatis jika tidak ada saat diidentifikasi. *Grid-tie inverter* dirancang untuk memutuskan sambungan dari kotak jika grid utilitas turun. Jika terjadi pemadaman, maka *Grid-tie inverter* akan mencegah energi yang dihasilkan yang dapat merugikan pekerja. *Grid tie inverter* yang digunakan dengan baterai disebut inverter multi fungsi. *Grid* energi terbarukan terdiri dari banyak bagian penting yang berbeda tetapi bagian yang jauh lebih penting dan mutlak bagi sistem adalah *grid tie inverter*. Tanpa *grid tie inverter* sistem tidak dapat bekerja dengan baik. *Grid-tie inverter* termasuk *tracker* titik maksimum *power* pada sisi input yang memungkinkan inverter untuk mengambil jumlah yang optimal dari sumber daya listrik tertentu.

Rugi-rugi atau *loss* tegangan yang terjadi pada [inverter](#) biasanya berupa dissipasi daya dalam bentuk panas. Efisiensi tertinggi dipegang oleh *grid tie inverter* yang diclaim bisa mencapai 95-97% bila beban outputnya hampir mendekati *rated* bebannya. Sedangkan pada umumnya efisiensi *inverter* adalah berkisar 50-90% tergantung dari beban outputnya. Bila beban outputnya semakin

mendekati beban kerja inverter yang tertera maka efisiensinya semakin besar, demikian pula sebaliknya. *Modified sine wave* inverter ataupun *square wave inverter* bila dipaksakan untuk beban-beban induktif maka efisiensinya akan jauh berkurang dibandingkan dengan *true sine wave inverter*. Perangkatnya akan menyedot daya 20% lebih besar dari yang seharusnya [13].

2.1.10 Pemeliharaan Panel Surya

Pada umumnya [panel surya atau solar sel](#) tidak membutuhkan pemeliharaan yang rutin seperti genset. Genset umumnya diharuskan untuk dihidupkan satu kali seminggu, pemeriksaan oli, pemeriksaan [baterai](#), dan lain-lain. Pemeliharaan panel surya atau solar sel:

- Dibersihkan berkala untuk tidak mengurangi penyerapan intensitas matahari.
- Mengatur letak dari panel surya atau solar sel supaya mendapatkan sinar matahari langsung dan tidak terhalangi objek (pohon, jemuran, bangunan, dan lain-lain).

2.1.11 Faktor pengoperasian sel surya

Beberapa faktor dari pengoperasian sel surya agar mendapatkan nilai yang maksimum sangat tergantung pada:

- a) Radiasi matahari

Radiasi matahari di bumi pada lokasi yang berbeda akan bervariasi dan sangat tergantung dengan keadaan sepektrum matahari ke bumi. Insolasi

matahari akan banyak berpengaruh terhadap arus (I) dan sedikit terhadap tegangan (V) [15].

b) *Ambient* temperatur udara

Sebuah sel surya dapat beroperasi secara maksimum jika temperatur sel tetap normal pada 25 °C. Kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal pada sel surya akan melemahkan tegangan V_{oc} . Setiap kenaikan temperatur sel surya 10 °C dari 25 °C akan berkurang sekitar 0,4 % pada total tenaga yang dihasilkan atau akan melemah dua kali lipat untuk kenaikan temperatur sel per 10 °C [14].

c) Kecepatan angin bertiup

Kecepatan tiupan angin disekitar lokasi sel surya akan sangat membantu terhadap pendinginan temperatur permukaan sel surya sehingga temperatur dapat terjaga dikisaran 25 °C [15].

d) Keadaan atmosfer bumi

Keadaan atmosfer bumi berawan, mendung, jenis partikel debu udara, asap, uap air udara, kabut dan polusi sangat menentukan hasil maksimum arus listrik dari sel surya [15].

e) Orientasi panel kearah matahari secara optimum

Orientasi dari rangkaian panel kearah matahari secara optimum adalah sangat penting untuk menghasilkan energi yang maksimum. Selain arah

orientasi sudut orientasi (*tilt angle*) dari panel juga sangat mempengaruhi hasil energi yang maksimum. Untuk lokasi yang terletak di belahan utara *latitude*, maka panel sebaiknya diorientasikan ke selatan. Begitu juga yang letaknya di belahan selatan *latitude*, maka panel sebaiknya diorientasikan ke utara. Walaupun panel diorientasikan ke barat atau ke timur akan tetap menghasilkan energi, tetapi tidak akan menghasilkan energi yang maksimum [15].

f) Posisi letak sel surya terhadap matahari (*tilt angle*)

Mempertahankan sinar matahari jatuh ke sebuah permukaan modul surya secara tegak lurus akan mendapatkan energi maksimum. Untuk mempertahankan ke tegak lurus antara sinar matahari terhadap panel surya dibutuhkan pengaturan posisi modul surya, karena *sun latitude* akan berubah setiap jam dalam sehari [15].

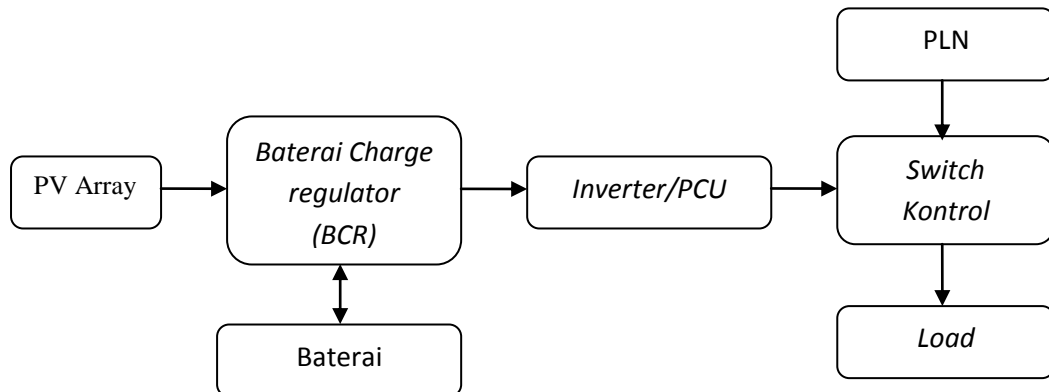
2.1.12 Sistem PLTS

Sistem PLTS pada umumnya diklasifikasikan menurut konfigurasi komponennya. Pada umumnya ada dua klasifikasi, yaitu PLTS yang terhubung dengan jaringan listrik (*PLTS-Grid connected*) dan PLTS berdiri sendiri (*Stand Alone*).

2.1.12.1 PLTS-Grid Connected

Sistem PLTS-*Grid connected* pada dasarnya adalah menggabungkan PLTS dengan jaringan listrik (PLN). Komponen utama dari sistem ini adalah inverter atau *power conditioning unit* (PCU). *Inverter* inilah yang mengubah daya DC yang dihasilkan oleh PLTS menjadi daya AC sesuai dengan persyaratan dari jaringan listrik yang terhubung (*utility grid*). Sesuai namanya, *Grid Connected-PV*, maka sistem ini akan tetap berhubungan dengan jaringan PLN dengan mengoptimalkan pemanfaatan energi Photovoltaik (PV) untuk menghasilkan energi listrik semaksimal mungkin.

Pada siang hari modul Surya yang terpasang pada atap akan mengkonversi sinar matahari menjadi energi listrik arus searah (DC). Selanjutnya sebuah komponen yang disebut *Grid-inverter* merubah listrik arus searah (DC) dari PV menjadi listrik arus bolak-balik (AC) yang kemudian dapat digunakan untuk mensuplai berbagai peralatan rumah tangga seperti lampu, TV, kulkas, mesin cuci serta peralatan yang menggunakan arus bolak-balik. Pada siang hari, kebutuhan energi listrik berbagai peralatan disuplai langsung oleh modul surya. Jika pada kondisi ini terdapat kelebihan energi dari PV maka kelebihan energi ini dapat dijual ke PLN (tergantung kebijakan). Pada malam hari atau jika kondisi cuaca mendung maka peralatan akan disupport oleh jaringan PLN. Hal ini dimungkinkan karena sistem ini tetap terkoneksi dengan jaringan PLN. Berikut gambar sistem PLTS-*Grid connected* di bawah ini :



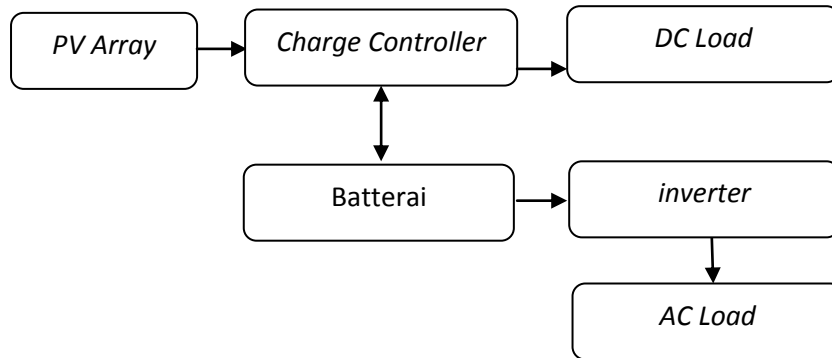
Gambar 2.6 Diagram sistem PLTS-Grid connected (sumber : Florida Energy Centre, unut, 2011, online, 11 Juli 2011).

Cara kerja sistem adalah Selama modul surya menghasilkan listrik maka beban di suplai oleh PLTS. Apabila beban yang dicatu melebihi kemampuan PLTS, maka listrik dari PLN akan masuk membantu. Untuk alasan keamanan, bila listrik dari PLN mati dan PLTS menghasilkan daya yang kurang dari beban yang ada, maka sistem otomatis akan mati. Hal ini mencegah terjadinya *islanding*. Ukuran dari PLTS *grid connected* dapat beragam sesuai dengan kemampuan. Kapasitas yang tersedia dipasaran dari 30 Watt sampai 3000 Watt. Dengan desain sistem bersifat modular, sistem seperti ini bisa dibuat menjadi ratusan MW atau tanpa batas, dengan cara menggabungkan sistem satu atau dengan yang lainnya. Keuntungan sistem modular ini adalah sistem bisa dibuat dari kapasitas kecil sampai kapasitas yang besar [16].

2.1.12.2 PLTS Berdiri Sendiri (Stand Alone)

Sistem PLTS yang berdiri sendiri (*Stand Alone*) dirancang beroperasi mandiri untuk memasok beban DC atau AC. Jenis ini dapat diaktifkan oleh *array* photovoltaik saja atau dapat menggunakan sumber tambahan energi lain,

seperti: angin, air dan diesel. Baterai banyak digunakan dalam sistem PLTS berdiri sendiri untuk menyimpan energi. Diagram dibawah ini akan menunjukkan PLTS berdiri sendiri.



Gambar 2.7 Diagram sistem PLTS berdiri sendiri dengan baterai (sumber : Florida Energy Centre, 2011, online, 11 Juli 2011).

Pada diagram sistem pembangkit listrik tenaga surya berdiri sendiri (*stand alone*) dirancang untuk beroperasi secara tunggal atau tanpa bantuan pembangkit lainnya. Cara kerjanya photovoltaik memproduksi listrik secara tunggal kemudian *charge controller* meneruskan ke baterai dan beban DC, kemudian pada baterai akan diteruskan ke *inverter* untuk mengubah arus DC menjadi AC kemudian masuk ke peralatan listrik [16].

2.2 Aspek Ekonomi Terhadap PLTS

Pertimbangan aspek ekonomi pembangkit umumnya meliputi 3 lingkup besar, yaitu biaya investasi awal, biaya operasional dan biaya perawatan pembangkit. Sifat ekonomis sebuah sistem pembangkit listrik dapat dilihat dari harga jual listrik untuk setiap kWh (kilo Watt per-jam). Salah satu faktor yang mempengaruhi bahwa pembangkit listrik ekonomis (harga jual listrik serendah mungkin untuk setiap kWh) adalah biaya bahan bakar.

2.3 Kabel Instalasi Photovoltaik

Kabel untuk menghubungkan komponen perangkat dalam implementasi [pembangkit listrik tenaga surya](#) sebaiknya memperhatikan spesifikasi perkabelan untuk mengurangi *loss* (kehilangan) daya, pemanasan pada kabel dan kerusakan pada perangkat. Untuk menghubungkan perangkat [charge controller](#) dan [panel surya](#) atau [solar sel](#) perhatikan spesifikasi kabel, karena dalam dengan tegangan 12 Volt, spesifikasi kabel yang sesuai dapat mengurangi *loss* 3% ataupun mengurangi penurunan tegangan.

Kabel memiliki resistansi (dalam Ohm), semakin besar kabel, resistansinya semakin kecil. Pada tegangan 12 Volt, pengurangan tegangan terjadi pada kabel yang panjang, sehingga mengurangi efisiensi dari instalasi [pembangkit listrik tenaga surya](#) kita. Untuk itu kita mesti memperhatikan tabel gauge kabel standard Amerika (AWG) yang tertera pada Tabel 2.2:

Diameter kabel yang kecil memiliki nomor *wire gauge* yang besar. Tabel 2.2 adalah untuk ukuran kabel tunggal. Salah satu contoh saja, kabel UTP cat 5 adalah 24 AWG [18].

Tabel 2.2 : *Gauge* kabel standard Amerika (AWG) (sumber : Kabel instalasi panel surya, 2011,online, 12 juli 2012).

AWG	Diameter (mm)	Resistansi (Ω /km)
0000 (4/0)	11,68	0,16
000 (3/0)	10,4	0,2
00 (2/0)	9,27	0,26
0 (1/0)	8,25	0,32
1	7,35	0,41
2	6,54	0,51
3	5,83	0,65
4	5,19	0,82
5	4,62	1,03
6	4,12	1,3
7	3,67	1,63
8	3,26	2,06
9	2,91	2,6
10	2,59	3,28
11	2,31	4,13
12	2,05	5,21
13	1,83	6,57
14	1,63	8,29
15	1,45	10,45
16	1,29	13,17
17	1,15	16,61
18	1,02	20,95
19	0,91	26,42
20	0,81	33,31
21	0,72	42
22	0,64	52,96
23	0,57	66,79
24	0,51	84,22
25	0,46	106,2