



OPTIMALISASI PEMANFAATAN SEL SURYA PADA BANGUNAN KOMERSIAL SECARA TERINTEGRASI SEBAGAI BANGUNAN HEMAT ENERGI

Amien Rahardjo*, Herlina** dan Husni Safruddin***

*Jurusan Teknik Elektro - Fakultas Teknik Universitas Indonesia
Kampus FT-UI Pondok Cina Depok 16424
Email : amien@eng.ui.ac.id

0,2 x 15 = 3

ABSTRAK

Potensi Energi matahari di Indonesia dapat dimanfaatkan sepanjang hari, hal ini sangat menguntungkan untuk membangkitkan energi listrik dengan menggunakan sel surya. Daya yang dapat dibangkitkan berdasarkan intensitas energi surya ketika mencapai permukaan bumi berjumlah sekitar 100 watt per m², pada efisiensi sel surya 10 %. Dengan demikian untuk memperoleh daya sebesar 1000 watt diperlukan luas 10 m².

Melihat kendala pemanfaatan sel surya yang memerlukan lahan yang sangat luas ini, maka penempatan sel surya secara terintegrasi pada bangunan komersial menjadi lebih efisien dan estetis. Penempatan sel surya pada bangunan komersial bisa ditempatkan pada atap bangunan atau pada bagian sisi-sisi bangunan komersial tersebut. Perkiraan dengan pemanfaatan sel surya di bangunan komersial dengan luas bangunan 500 m² akan membangkitkan energi listrik sekitar 87 MWh per tahun.

Oleh karena itu, penempatan sel surya pada bangunan komersial sebagai bangunan hemat energi perlu disosialisasikan dengan dukungan Pemerintah melalui kebijakan yang tepat dan kegiatan yang nyata.

Kata kunci : *optimalisasi, sel surya, bangunan komersial, terintegrasi, bangunan hemat energi*

1. PENDAHULUAN

Indonesia yang terletak di garis khatulistiwa dan memperoleh sinar matahari rata-rata 8 jam/hari memiliki potensi energi surya yang cukup besar. Besar daya yang dapat dibangkitkan energi surya sekitar 100 watt per m², pada efisiensi sel surya sekitar 10%. Untuk membangkitkan daya 1 kW diperlukan tanah seluas 10 m², 1.000 kW diperlukan tanah seluas 10.000 m² (1 ha). Dengan demikian, pada sistem yang semakin besar, hal ini akan menimbulkan keterbatasan-keterbatasan berupa penyediaan tanah yang terlampaui luas.

Keterbatasan tersebut diatas, menyebabkan energi surya jarang dimanfaatkan untuk sistem yang sangat besar pada kondisi saat ini. Hal ini menyebabkan energi surya lebih banyak dimanfaatkan untuk sistem-sistem yang kecil dan di daerah terpencil yang belum terjangkau aliran listrik. Di seluruh Indonesia, sampai tahun 2007 sudah sekitar 12 MW telah terpasang, baik yang bersifat "stand alone" maupun hybrid dengan pembangkit lain. Hampir keseluruhan pembangkit energi surya tersebut dipasang didaerah pedesaan/terpencil. Hal ini dikarenakan masih banyak daerah-daerah di pedesaan yang belum terjangkau oleh listrik PLN di satu sisi, sedangkan di sisi lainnya jumlah dan kepadatan penduduknya masih jarang sehingga tidak ekonomis bagi PLN apabila memasang atau membangun jaringan listrik.



Kondisi tersebut sebenarnya tidak perlu terjadi, apabila kita menerapkan pemasangan sel surya yang diintegrasikan dengan bangunan komersial atau gedung Pemerintah yang banyak terdapat di perkotaan. Sel surya ini dapat ditempatkan pada atap bangunan atau pada bagian sisi-sisi bangunan komersial tersebut. Dengan cara ini, kendala keterbatasan penyediaan tanah untuk pemasangan sel surya dapat dihindari, sehingga pemasangan sel surya ini dapat lebih optimal dari sudut pandang pemanfaatan lahan.

Pemasangan sel surya di perkotaan sangat tepat, terutama dengan melihat tingkat pemakaian energi listrik masyarakatnya yang tentunya jauh lebih tinggi dibandingkan masyarakat perdesaan. Disamping itu, karakteristik masyarakat perkotaan cenderung lebih mandiri baik dari segi "maintenance" terhadap peralatan maupun kemampuan finansial, sehingga pemakaian sel surya tersebut diharapkan dapat berkelanjutan (*sustainable*) secara mandiri.

Sel surya di perkotaan dapat dipasang antara lain pada perumahan, bangunan komersial atau gedung Pemerintah. Sebagai langkah awal, pemanfaatan pada bangunan komersial atau gedung pemerintah akan lebih tepat karena bisa menjadi ajang pengenalan bagi masyarakat luas.

Perkiraan pemanfaatan sel surya pada bangunan komersial dengan luas bangunan 500 m^2 dapat dihasilkan daya listrik sekitar 50 kW atau energi sebesar 87 MWh per tahun. Dengan menerapkan konsep seperti ini, beberapa keuntungan dapat diperoleh antara lain pemanfaatan energi surya tanpa mengorbankan lahan yang sebenarnya dapat digunakan untuk kepentingan lain, mengurangi pemakaian listrik dari PLN pada masyarakat perkotaan yang tingkat pemakaian energinya cukup tinggi dibandingkan masyarakat perdesaan. Dengan demikian, penempatan sel surya pada bangunan komersial sebagai bangunan hemat energi perlu disosialisasikan dengan dukungan Pemerintah melalui kebijakan yang tepat dan kegiatan yang nyata.

1.1 Sejarah Sel Surya

Pada sekitar akhir abad 19, aliran listrik surya ditemukan oleh ahli fisika Jerman bernama Alexandre Edmond Becquerel secara kebetulan dimana berkas sinar matahari jatuh pada larutan elektro kimia bahan penelitian, sehingga muatan elektron pada larutan meningkat. Pada awal abad 20, Albert Einstein menamakan penemuan ini dengan "Photoelectric Effect", yang kemudian menjadi pengertian dasar pada "Photovoltaic Effect", dimana selempeng metal melepaskan "Photon" partikel energi cahaya ketika terkena sinar matahari.

Gelombang cahaya sinar lembayung (ultraviolet) adalah sinar yang bermuatan energi Foton tinggi dan panjang gelombangnya pendek, sedangkan sinar merah (infra-red) adalah sinar yang bermuatan energi Foton rendah dan dalam bentuk gelombang panjang. Sekitar tahun 1930, ditemukan konsep "Quantum Mechanics" untuk menciptakan teknologi baru "solid-state", dimana perusahaan Bell Telephone Research Laboratories menciptakan Sel Surya padat yang pertama. Tahun 1950 - 1960, teknologi disain dan efisiensi Sel Surya terus berlanjut dan diaplikasikan ke

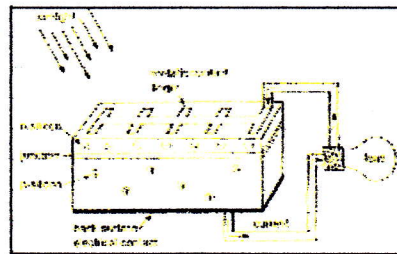


pesawat ruang angkasa (photovoltaic energies). Tahun 1970-an, dunia menggalakkan sumber energi alternatif yang terbarukan dan ramah lingkungan, maka PV mulai diaplikasikan ke "low power warning systems" dan "offshore buoys" (tetapi produksi PV tidak dapat banyak karena masih "handmade"). Baru pada tahun 1980 an, perusahaan-perusahaan PV bergabung dengan instansi energi pemerintah agar dapat lebih memproduksi PV sel dalam jumlah besar, sehingga harga sel-surya dapat serendah mungkin.

1.2 Spesifikasi Sel Surya

1.2.1 Dasar Sel Surya

Sel Surya diproduksi dari bahan semikonduktor yaitu silikon berperan sebagai isolator pada temperatur rendah dan sebagai konduktor bila ada energi dan panas. Sebuah Silikon Sel Surya adalah sebuah diode yang terbentuk dari lapisan atas silikon tipe n (silicon doping³ of "phosphorous"), dan lapisan bawah silikon tipe p (silicon doping of "boron") seperti gambar 1.



Sumber : Steven J. Stamp, *The Solar Electric House* p.13

Gambar 1. Diagram dari sebuah potongan Sel Surya (PV sel).

Elektron-elektron bebas terbentuk dari million photon atau benturan atom pada lapisan penghubung (junction= 0.2-0.5 micron⁴) menyebabkan terjadinya aliran listrik.

1.2.2 Perkembangan Sel Surya

Pengembangan Sel Surya semakin banyak menggunakan bahan semikonduktor yang bervariasi dan Silikon yang secara Individu (chip) banyak digunakan, diantaranya :

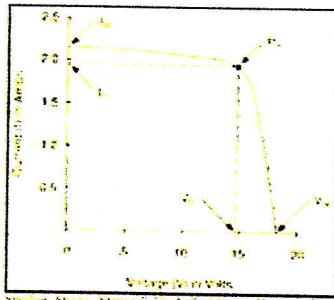
- Mono-crystalline (Si), dibuat dari silikon kristal tunggal yang didapat dari peleburan silikon dalam bentukan bujur. Sekarang Mono-crystalline dapat dibuat setebal 200 mikron, dengan nilai efisiensi sekitar 24%.
- Polycrystalline/Multi-crystalline (Si), dibuat dari peleburan silikon dalam tungku keramik, kemudian pendinginan perlahan untuk mendapatkan bahan campuran silikon yang akan timbul diatas lapisan silikon. Sel ini kurang efektif dibanding dengan sel Polycrystalline (efektivitas 18%), tetapi biaya lebih murah.
- Gallium Arsenide (GaAs). Galium Arsenide pada unsur periodik III-V berbahan semikonduktor ini sangat efisien dan efektif dalam menghasilkan energi listrik sekitar 25%. Banyak digunakan pada aplikasi pemakaian Sel Surya.



1.2.3 Energi Listrik

Sel surya dalam menghasilkan listrik tidak tergantung pada besaran luas bidang Silikon, dan secara konstan menghasilkan energi berkisar ± 0.5 volt maksimum 600 mV pada 2 amp⁶, dengan kekuatan radiasi solar matahari $1000 \text{ W/m}^2 = \text{''1 Sun''}$ akan menghasilkan arus listrik (I) sekitar 30 mA/cm^2 per sel surya.

Grafik I-V Curve (gambar 2) menggambarkan keadaan sebuah sel surya beroperasi secara normal. Sel surya menghasilkan energi maximum jika nilai V_m dan I_m juga maximum. I_{sc} adalah arus listrik maximum pada nilai volt = nol; I_{sc} berbanding langsung dengan ketersediaan sinar matahari. V_{oc} adalah volt maximum pada nilai arus nol; V_{oc} naik secara logaritma dengan peningkatan sinar matahari, karakter ini yang memungkinkan sel surya untuk mengisi accu.



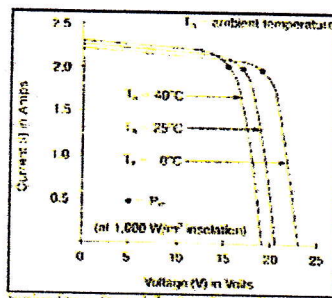
- I_{sc} = short-circuit current
- V_{sc} = open-circuit voltage
- V_m = voltage maximum power
- I_m = current maximum power
- P_m = Power maximum-output dari PV array (watt)

Gambar 2. Grafik I-V Curve.

1.2.4 Faktor Pengoperasian Sel Surya

Pengoperasian sel surya agar didapatkan nilai yang maximum sangat tergantung pada faktor berikut:

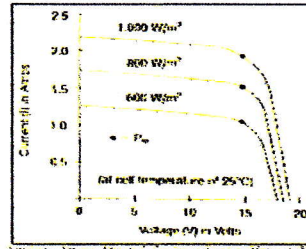
- a. Ambient air temperature. Sebuah sel surya dapat beroperasi secara maximum jika temperatur sel tetap normal (pada 25°C). Kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal pada sel surya akan melemahkan tegangan (V_{oc}). Pada gambar 3, setiap kenaikan temperatur sel surya 10 Celsius (dari 25°C) akan berkurang sekitar 0.4 % pada total tenaga yang dihasilkan atau akan melemah dua kali (2x) lipat untuk kenaikan temperatur sel per 10°C .



Gambar 3. Effect of Cell Temperature on Voltage (V)

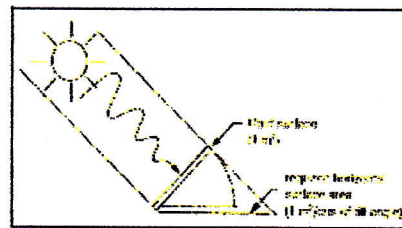
- b. Radiasi matahari. Radiasi matahari di bumi dan berbagai lokasi bervariasi, dan sangat tergantung keadaan spektrum solar ke bumi. Insolation solar matahari akan banyak berpengaruh

pada current (I) sedikit pada tegangan (lihat gambar 4).



Gambar 4. Effect of Insolation Intensity on Current (I)

- c. Kecepatan angin bertiup. Kecepatan tiup angin disekitar lokasi larik sel surya dapat membantu mendinginkan permukaan temperatur kaca-kaca larik sel surya.
- d. Keadaan atmosfer bumi. Keadaan atmosfer bumi berawan, mendung, jenis partikel debu udara, asap, uap air udara (Rh), kabut dan polusi sangat menentukan hasil maximum arus listrik dari deretan sel surya.
- e. Orientasi panel atau larik sel surya. Orientasi dari rangkaian sel surya (larik) ke arah matahari secara optimum adalah penting agar panel surya dapat menghasilkan energi maksimum. Sudut orientasi (tilt angle) dari panel surya juga sangat mempengaruhi hasil energi maksimum (lihat penjelasan tilt angle). Sebagai guideline: untuk lokasi yang terletak di belahan Utara latitude, maka panel surya sebaiknya diorientasikan ke Selatan, orientasi ke Timur Barat walaupun juga dapat menghasilkan sejumlah energi, tetapi tidak akan mendapatkan energi matahari optimum.
- f. Posisi letak sel surya (larik) terhadap matahari (tilt angle). Mempertahankan sinar matahari jatuh ke sebuah permukaan panel sel surya secara tegak lurus akan mendapatkan energi maksimum $\pm 1000 \text{ W/m}^2$ atau 1 kW/m^2 . Kalau tidak dapat mempertahankan ketegak lurus antara sinar matahari dengan bidang PV, maka ekstra luasan bidang panel sel surya dibutuhkan (bidang panel sel surya terhadap sun altitude yang berubah setiap jam dalam sehari).



Sumber : Strong, Steven. The Solar Electric House, p.66

Gambar 5. Ekstra Luasan Panel PV dalam posisi datar.

Panel sel surya pada Equator (latitude 0 derajat) yang diletakkan mendatar (tilt angle = 0) akan menghasilkan energi maksimum, sedangkan untuk lokasi dengan latitude berbeda harus dicarikan "tilt angle" yang optimum.



2. METODE PENELITIAN

Metode yang dipakai dalam penulisan makalah ini melalui studi literatur dan pembuatan hipotesa. Kemudian dilanjutkan dengan pengumpulan data, diantaranya data sekunder dari Bangunan/Gedung BPPT. Selanjutnya dilakukan analisa terhadap data sekunder tersebut.

2.1. Potensi di Indonesia

Indonesia memiliki potensi energi surya yang cukup besar, terutama karena hampir sepanjang tahun seluruh wilayah Indonesia terkena radiasi matahari.

Tabel 1 Potensi Sumber Daya Energi Surya di Beberapa Kota di Indonesia

NO	KOTA	PROVINSI	TAHUN PENGUKURAN	RADIASI RATA-RATA (kWh/m ²)
1	Banda Aceh	Aceh	1980	4.1
2	Palembang	Sumatera Selatan	1979 – 1981	4.95
3	Menggala	Lampung	1972 – 1979	5.23
4	Rawasragi	Lampung	1965 – 1979	4.13
5	Jakarta	Jakarta	1965 – 1981	4.19
6	Bandung	Jawa Barat	1980	4.15
7	Lembang	Jawa Barat	1980	5.15
8	Citius, Tangerang	Jawa Barat	1980	4.32
9	Darmaga, Bogor	Jawa Barat	1980	2.56
10	Serpong, Tangerang	Jawa Barat	1991 – 1995	4.45
11	Semarang	Jawa Tengah	1979 – 1981	5.49
12	Surabaya	Jawa Timur	1980	4.30
13	Kenteng, Yogyakarta	Yogyakarta	1980	4.50
14	Denpasar	Bali	1977 – 1979	5.26
15	Pontianak	Kalimantan Barat	1991 – 1993	4.55
16	Banjarbaru	Kalimantan Selatan	1979 – 1981	4.80
17	Banjarmasin	Kalimantan Selatan	1991 – 1995	4.57
18	Samarinda	Kalimantan Timur	1991 – 1995	4.17
19	Menado	Sulawesi Utara	1991 – 1995	4.91
20	Palu	Sulawesi Tenggara	1991 – 1994	5.51
21	Kupang	Nusa Tenggara Barat	1975 – 1978	5.12
22	Waingapu, Sumba Timur	Nusa Tenggara Timur	1991 – 1995	5.75
23	Maumere	Nusa Tenggara Timur	1992 – 1994	5.7

Sumber : Rencana Induk Pengembangan Energi Baru dan Terbarukan, 1997.
Direktorat Jenderal Listrik dan Pengembangan Energi, DESDM

2.2 Tipe-tipe pemasangan Sel Surya

Dalam pemasangannya, sel surya dapat dibedakan menjadi ¹⁾:

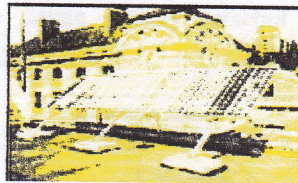
1. Tipe *stand-alone*, dimana tipe ini biasanya digunakan untuk beban listrik terisolasi atau di daerah terpencil, kapasitas kecil.
2. Tipe *isolated grid*, tipe ini biasanya digunakan untuk beban listrik besar terisolasi dan terkonsentrasi, bisa dikombinasikan dengan sumber energi lain dalam operasi hybrid.



3. Tipe *grid connected*, tipe ini digunakan pada daerah yang telah memiliki sistem jaringan listrik komersial, dan sistem langsung output energi surya ke dalam jaringan listrik.

Untuk daerah perkotaan yang sudah terjangkau aliran listrik PLN, biasanya sel surya dipasang secara *grid connected*. Revolusi aplikasi sel surya pada bangunan arsitektur telah mengalami perkembangan yang pesat, mulai dari teknologi biasa sampai teknologi tinggi pada generasi ke-3, yaitu ²¹:

1. Generasi Pertama (tahun 1980 an), panel-panel/deretan sel surya modul dengan rangka besi hanya diletakkan (*mounting*) pada bidang atap datar bangunan dengan alat penyangga (*tracking*).



Gambar 7. Panel sel surya mounted

2. Generasi Kedua (tahun 1990 an), sel surya dikembangkan lebih menyatu menjadi bagian material bangunan yaitu: bahan atap (*genting, sirap*).



Gambar 8. Bahan atap dari sel surya

3. Generasi Ketiga (tahun 1997), sel surya dikembangkan menjadi kesatuan integrasi bangunan arsitektur dalam berbagai materi bangunan dan aplikasi canggih.

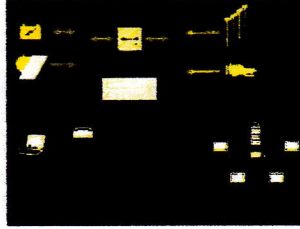


Gambar 9. Modul PV sebagai penutup atrium dan sebagai canopy

Pemasangan sel surya secara *grid connected* dengan jaringan listrik PLN yang telah ada pada bangunan komersial atau gedung Pemerintah, dapat digunakan sebagai :

1. Sebagai catu-daya back-up, dimana :

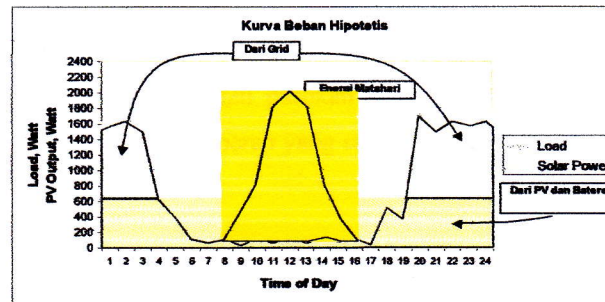
- Energi surya disimpan dalam battery storage dan digunakan pada saat terjadi padam listrik;
- Meningkatkan kualitas pelayanan daya listrik pada sistem yang lemah.



Gambar 10. Blok diagram Sel surya sebagai catu daya

2. Sebagai sarana *Load Shaving*, dimana :

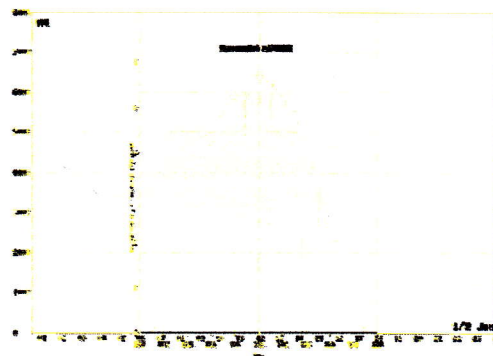
- Energi surya disimpan dalam battery storage dan digunakan pada saat beban tinggi;
- Energi yang tersimpan dalam battery tersebut dapat digunakan untuk membantu mengurangi beban puncak.



Gambar 11. Kurva Load Shaving

3. Sebagai *Peak Clipping* :

- Pada aplikasi grid-connected bisa terjadi koinsidensi beban puncak dan radiasi puncak;
- Pada kondisi ini energi surya dapat langsung berdampak pada penurunan konsumsi untuk beban puncak dari jaringan listrik.



Gambar 12. Kurva Peak Clipping



3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Potensi pemanfaatan energi surya di daerah perkotaan di Indonesia semakin terbuka lebar, terutama karena :

1. Adanya krisis listrik yang terjadi akhir-akhir ini, yang menyebabkan terjadinya pemadaman bergilir termasuk di kota-kota besar.
2. Energi listrik memiliki peranan yang sangat penting dalam berbagai kegiatan manusia, sehingga pertumbuhan permintaan listrik nasional diperkirakan masih akan terus meningkat. Dalam Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (RUKN) disebutkan bahwa pertumbuhan permintaan listrik nasional diperkirakan mencapai sekitar 7 % per tahun, sehingga pada tahun 2012 beban puncak di Jawa-Madura-Bali diperkirakan mencapai sekitar 22 ribu MW (diperlukan tambahan pembangkit 13 ribu MW) dan di luar Jawa-Madura-Bali sekitar 7 ribu MW (diperlukan tambahan pembangkit 5 ribu MW).

Dengan demikian, energi surya memiliki peluang yang cukup besar. Meskipun tidak mungkin memenuhi semua kekurangan pasokan tersebut seluruhnya dari energi surya, namun energi surya akan dapat memberikan peran yang cukup signifikan untuk ikut memenuhi kebutuhan tenaga listrik ke depan.

4. KESIMPULAN

1. Pemanfaatan sel surya secara terintegrasi pada bangunan komersial atau gedung Pemerintah dapat memberikan penghematan energi listrik.
2. Dalam studi kasus ini dapat dilakukan penghematan pemakaian listrik dari PLN sekitar $30 \times 365 = 10.950$ kWh atau 10.9 MWh.
3. Studi ini merupakan bagian dari konsep gedung hemat energi secara keseluruhan

UCAPAN TERIMA KASIH

Departemen Teknik Elektro – FT UI, Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi, Pusat Teknologi Konservasi Energi - Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi yang telah memfasilitasi studi kasus ini.



DAFTAR PUSTAKA

- 1] Prastawa, Andika., PLTS Sebagai Sumber Daya Listrik Alternatif, Pusat Teknologi Konservasi Energi, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Jakarta, Oktober 2008
- 2] Mintorogo, Danny,S., Strategi Aplikasi Sel Surya (Photovoltaic Cells) Pada Perumahan dan Bangunan Komersial, Jurnal Arsitektur Universitas Kristen Petra, 2000.
- 3] Lorenzo, Esuardo, Solar Electricity, Engineering of Photovoltaic System, Institute of Solar Energy, Polytechnic University of Madrid, 1994
- 4] Strong, Steven., The Solar Electric House, A Design Manual for Home-Scale Photovoltaic Power System, Pennsylvania, Rodale Press, 1987
- 5] Buresch, Matthew., Photovoltaic Energy Systems : Design and Installation, Mc Graw Hill Book Company, United States of America.