

STRATEGI APLIKASI SEL SURYA (PHOTOVOLTAIC CELLS) PADA PERUMAHAN DAN BANGUNAN KOMERSIAL

Danny Santoso Mintorogo

Staf Pengajar Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Jurusan Arsitektur
Universitas Kristen Petra, Surabaya

ABSTRAK

Krisis energi dunia dan tingginya harga sumber energi (minyak) di belahan dunia Eropa dan Barat menyebabkan inovasi dalam pemanfaatan energi alternatif yang tidak menimbulkan polusi udara CO₂ maupun radioaktif (nuclear power). Energi Sel Surya adalah jawaban tepat dalam menciptakan suatu lingkungan hidup dalam lingkup perumahan maupun bangunan komersial yang ramah lingkungan, abadi, dan gratis dalam tata surya kita ini. Teknologi Aplikasi Sel Surya terus dikembangkan baik dalam inovasi chip sel surya sendiri maupun aplikasi pada bangunan arsitektur dalam berbagai material bangunan seperti : bahan atap, penutup facade bangunan (cladding dan curtain wall atau glass), canopy atau atrium.

Kata kunci: sel surya, perumahan, bangunan komersial.

ABSTRACT

World Oil Energy crisis in the Europe and West countries that forces them to look for alternative energy in term of innovation of photovoltaics technology. Photovoltaics Energy that is so clean, it causes zero pollution and so simple to apply that you hardly know it sit there, no sound and noise, no smoke, no CO₂ and Nitrogen—just pure power. That imaginarily nice communities is here now. The communities, countries, and worlds are Solar. The photovoltaic technology has reached to both the invention of the solar cell materials, and to the application of highly applied solar cells technologies in term of building materials such as roofings, claddings—curtain walls and curtain glasses, as well as architectural atria and canopy.

Keywords: solar cell, housing, comercial building.

PENDAHULUAN

Sejarah perkembangan industri “*Photovoltaic*” (PV) telah berjalan sekitar 50 tahun, dan telah banyak pula penelitian dilakukan dengan harapan suatu saat dapat menghasilkan sel surya yang murah dan layak berbanding dengan tenaga listrik buatan (hidro atau nuklir) untuk memecahkan problem kebutuhan tenaga listrik yang ramah terhadap lingkungan hidup di seluruh lapisan dunia ini.

Pada sekitar akhir abad 19, aliran listrik surya ditemukan oleh ahli fisika Jerman bernama Alexandre Edmond Becquerel¹ secara kebetulan dimana berkas sinar matahari jatuh pada larutan elektro kimia—bahan penelitian, sehingga muatan elektron pada larutan meningkat, tidak ada penjelasan ilmiah pada peristiwa tersebut. Baru pada awal abad 20, Albert Einstein menamakan penemuan peristiwa listrik alami ini dengan sebutan “*Photoelectric*

Effect”², yang kemudian merupakan pengertian dasar pada “*Photovoltaic Effect*” (Albert Einstein mendapat Nobel Prize Fisika)

“*Photoelectric Effect*” didapat dari pengamatan Einstein pada selempeng metal yang melepaskan “Photon”—partikel energi cahaya ketika terkena sinar matahari. Photon-photon terus menerus mendesak atom-atom metal dan terjadi partikel “Energi Photon”—bersifat gelombang energi cahaya.

Gelombang cahaya sinar lembayung (*ultra-violet*) adalah sinar yang bermuatan energi photon tinggi dan panjang gelombangnya pendek, sedangkan sinar merah (*infra-red*) adalah sinar yang bermuatan energi photon rendah dan dalam bentuk gelombang panjang.

Kemudian sekitar tahun 1930, penelitian berlanjut dan berhubungan dengan penemuan konsep “*Quantum Mechanics*”—untuk menciptakan teknologi baru “*solid-state*”, dimana kemudian perusahaan *Bell Telephone Research*

¹ Strong, Steven J., The Solar Electric House, p.4.

² Siemens Solar, Early History of PV Industry, p.1

Laboratories menciptakan Sel Surya solid yang pertama.

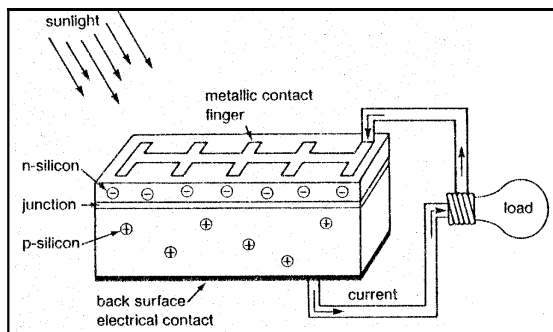
Tahun 1950 - 1960, teknologi disain dan efisiensi Sel Surya terus berlanjut dan di aplikasikan ke pesawat ruang angkasa (*photovoltaic energies*). Tahun 1970 an, dunia menggalangkan sumber energi alternatif yang "renewable" dan ramah lingkungan, maka PV mulai diaplikasikan ke "low power warning systems" 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 per sel-surya dapat lebih ditekan serendah mungkin.

SPESIFIKASI SEL SURYA

Dasar Sel Surya

Sel Surya diproduksi dari bahan semikonduktor yaitu silikon—berperan sebagai insulator 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").



Sumber : Steven J.Strong, *The Solar Electric House*, p.18

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

³ Sebuah proses yang menambahkan sejumlah bahan phosphorous dan boron ke bahan silikon murni, untuk menciptakan ketidak seimbangan antar atom silikon, phosphorous dan boron, sehingga menyebabkan terjadinya reaksi photovoltaic. (semikonduktor mempunyai atom yang berkategori 3, 4 & 5 elektron; sedangkan silikon = 4 elektron, phosphorous = 5 elektron, boron = 3 elektron).

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

Perkembangan Sel Surya

Pengembangan Sel Surya Silikon secara Individu (chip) :

a. *Mono-crystalline* (Si)

Dibuat dari silikon kristal tunggal yang didapat dari peleburan silikon dalam bentuk bujur. Sekarang *Mono-crystalline* dapat dibuat setebal 200 mikron, dengan nilai efisiensi sekitar 24%.

b. *Poly-crystalline/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 Poly-crystalline (efektivitas 18%), tetapi beaya lebih murah.

c. *Gallium Arsenide* (GaAs)

Sel Surya III-V semikonduktor yang sangat efisien sekitar 25%.

Sel Surya Silikon Terpadu "Thin Film"

a. *Amorphous Silikon* (a-Si)

Banyak dipakai pada jam tangan dan kalkulator, sekarang dikembangkan untuk sistim bangunan terpadu sebagai pengganti tinted glass yang semi-transparan.

b. *Thin Film Silikon* (tf-Si)

Dibuat dari thin-crystalline atau poly-crystalline pada grade bahan metal yang cukup murah (cladding system).

c. *Cadmium Telluride* (CdTe)

Terbentuk dari bahan materi thin film polycrystalline secara deposit, semprot, dan evaporasi tingkat tinggi. Nilai efisiensi 16%

d. *Copper Indium Diselenide* (CuInSe₂/CIS)

Merupakan bahan dari film tipis polycrystalline. Nilai efisiensi 17.7%.

e. *Chalcopyrites* [Cu(In,Ga)(S,Se)₂]⁵

f. *Electrochemical Cells*.

[Untuk detail nilai-nilai efisiensi, Voc & Jsc dapat dilihat pada Lampiran 1].

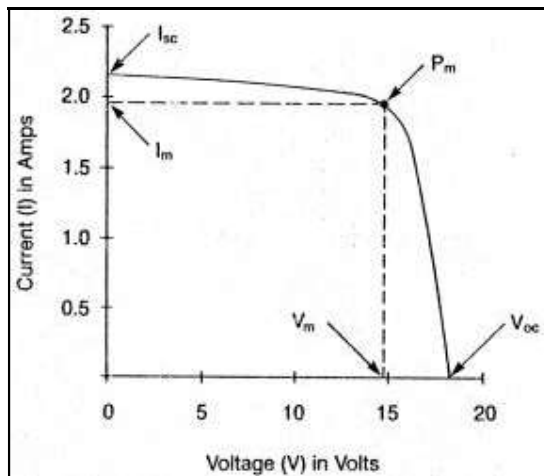
⁴ Lorenzo, Eduardo, *Solar Electricity*, p. 61.

⁵ European Research Conferences Photovoltaic Devices, p.4

Energi Listrik

Sebuah Sel Surya dalam menghasilkan energi listrik (energi sinar matahari menjadi photon) tidak tergantung pada besaran luas bidang Silikon, dan secara konstan akan menghasilkan energi berkisar ± 0.5 volt — max. 600 mV pada 2 amp⁶, dengan kekuatan radiasi solar matahari 1000 W/m² = "1 Sun" akan menghasilkan arus listrik (I) sekitar 30 mA/cm² per sel surya.⁷

Pada grafik I-V Curve dibawah yang menggambarkan keadaan sebuah Sel Surya beroperasi secara normal. Sel Surya akan menghasilkan energi maximum jika nilai V_m dan I_m juga maximum. Sedangkan I_{sc} adalah arus listrik maximum pada nilai volt = nol; I_{sc} berbanding langsung dengan tersedianya 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.



Sumber: Strong, Steven J, The Solar Electric House, p.58

Gambar 2. Grafik I-V Curve

- 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)

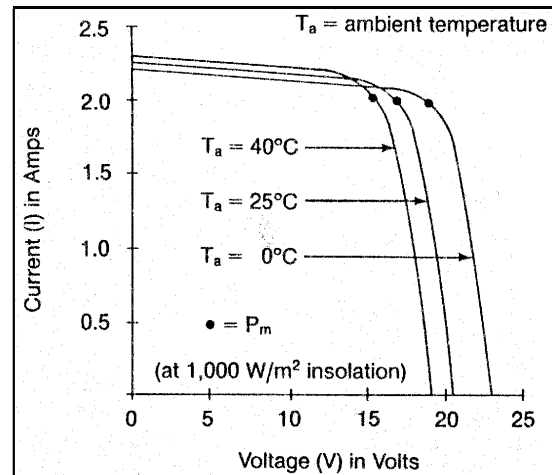
Faktor Pengoperasian Sel Surya

Pengoperasian maximum Sel Surya sangat tergantung pada :

- a. ambient air *temperature*
- b. radiasi solar matahari (*insolation*)

- c. kecepatan angin bertiup
- d. keadaan atmosfer bumi
- e. orientasi panel atau array PV
- f. posisi letak sel surya (*array*) terhadap matahari (*tilt angle*)

- a. Sebuah Sel Surya dapat beroperasi secara maximum jika temperatur sel tetap normal (pada 25 derajat Celsius), kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal pada PV sel akan melemahkan voltage (V_{oc}). Setiap kenaikan temperatur Sel Surya 1 derajat celsius (dari 25 derajat) akan berkurang sekitar 0.4 % pada total tenaga yang dihasilkan⁸ atau akan melemah 2x lipat untuk kenaikan temperatur Sel per 10 derajat C.



Sumber: Strong, Steven J, The Solar Electric House, p.58

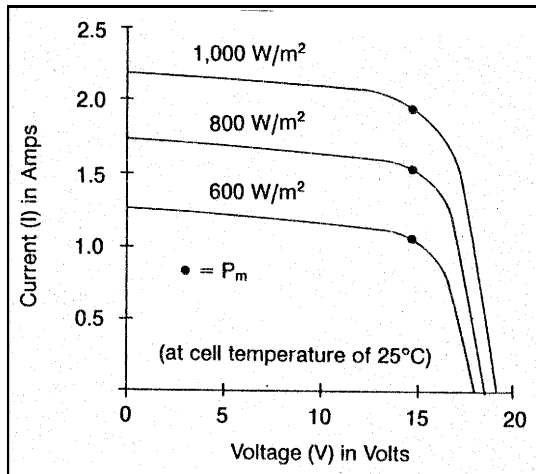
Gambar 3. Effect of Cell Temperature on Voltage (V)

- b. Radiasi solar 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 volt. (lihat gambar diagram 4)

⁶ Strong, Steven J, The Solar Electric House, p.18.

⁷ Photovoltaic Panel Simulation User's Guide, p.4.

⁸ Strong, Steven J, The Solar Electric House, p. 56.



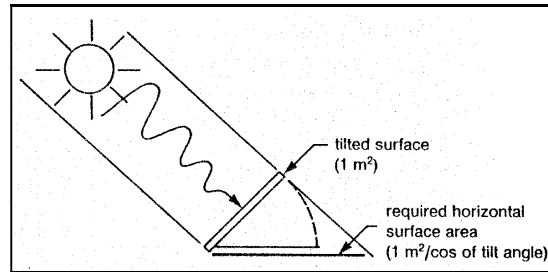
Sumber : Strong, Steven J, *The Solar Electric House*, p.58

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

- c. Kecepatan tiup angin disekitar lokasi PV array dapat membantu mendinginkan permukaan temperatur kaca-kaca PV array.
- d. Keadaan atmosfir bumi—berawan, mendung, jenis partikel debu udara, asap, uap air udara (Rh), kabut dan polusi sangat menentukan hasil maximum arus listrik dari deretan PV.
- e. Orientasi dari rangkaian PV (array) ke arah matahari secara optimum adalah penting agar panel/deretan PV dapat menghasilkan energi maximum. Selain arah orientasi, sudut orientasi (tilt angle) dari panel/deretan PV juga sangat mempengaruhi hasil energi maximum (lihat penjelasan tilt angle).

Sebagai guideline: untuk lokasi yang terletak di belahan Utara latitude, maka panel/deretan PV sebaiknya diorientasikan ke Selatan, orientasi ke Timur—Barat walaupun juga dapat menghasilkan sejumlah energi dari panel-panel/deretan PV, tetapi tidak akan mendapatkan energi matahari optimum.⁹

- f. Tilt Angle (sudut orientasi Matahari)
Mempertahankan sinar matahari jatuh ke sebuah permukaan panel PV secara tegak lurus akan mendapatkan energi maximum ± 1000 W/m² atau 1 kW/m². Kalau tidak dapat mempertahankan ketegak lurus antara sinar matahari dengan bidang PV, maka extra luasan bidang panel PV dibutuhkan (bidang panel PV terhadap sun altitude yang berubah setiap jam dalam sehari).



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

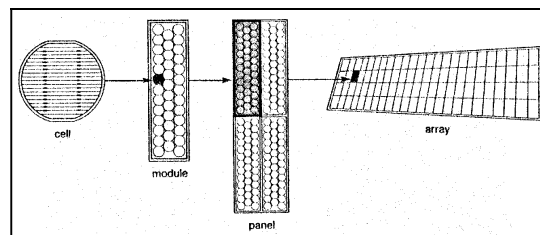
Gambar 5. Extra Luasan Panel PV dalam posisi datar

Solar Panel PV pada Equator (latitude 0 derajat) yang diletakkan mendatar (*tilt angle* = 0) akan menghasilkan energi maximum, sedangkan untuk lokasi dengan latitude berbeda harus dicarikan “tilt angle” yang optimum. Perusahaan BP Solar telah mengembangkan sebuah software untuk menghitung & memperkirakan energi optimum dengan letak latitude, longitude, dan optimum tilt angle untuk setiap lokasi diseluruh dunia. (lihat lampiran 2)

Photovoltaics (PV) Generator

Agar dapat memperoleh sejumlah voltage atau ampere yang dikehendaki, maka umumnya masing-masing sel surya dikaitkan satu sama lainnya baik secara hubungan “seri” ataupun secara “pararel” untuk membentuk suatu rangkaian PV yang lazim disebut “Modul”. Sebuah modul PV umumnya terdiri dari 36 sel surya atau 33 sel, dan 72 sel.

Beberapa modul pv dihubungkan untuk membentuk satu rangkaian tertentu disebut “PV Panel”, sedangkan jika berderet-deret modul pv dihubungkan secara baris dan kolom disebut “PV Array”.

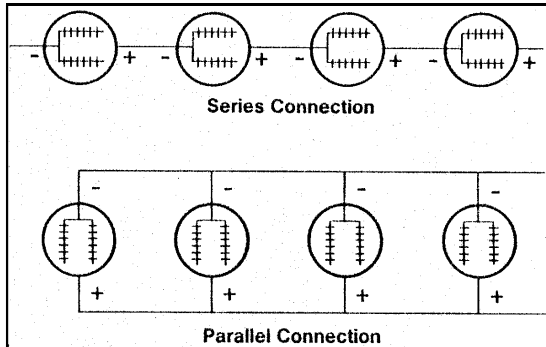


Sumber : Steven J.Strong, *The Solar Electric House*, p.54

Gambar 6. Diagram Hubungan Sel Surya, Modul, Panel & Array

⁹ BP Amoco, Building Power for The Future: PV Electric Energy in Wh/m², p.11.

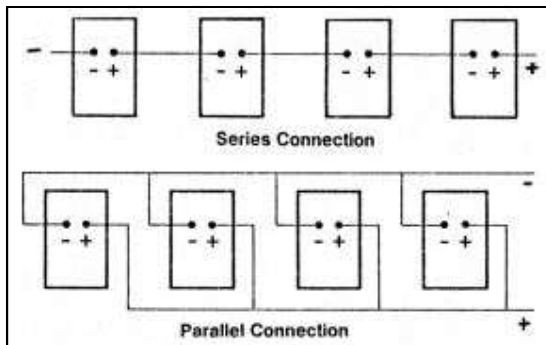
Hubungan sel-sel surya dalam Modul dapat dilakukan secara “Seri” untuk mendapatkan varian voltage umumnya 12V, dan secara “Pararel” untuk mendapatkan varian “Arus Listrik” (current).



Sumber: Steven J.Strong, *The Solar Electric House*, p.19

Gambar 7. Diagram Rangkaian Sel Surya (PV sel) dalam Modul

Hubungan Modul-modul PV pada Array juga dapat dihubungkan secara “Seri” untuk mendapatkan voltage yang tinggi, dan dihubungkan secara “Pararel” untuk mendapatkan amps yang besar. (lihat gambar 8)



Sumber: Steven J.Strong, *The Solar Electric House*, p.62

Gambar 8. Diagram Rangkaian Modul PV dalam Array.

“Seri “— 4 modul pv @ 12 volt, 2 amp dihubungkan secara seri akan mendapatkan 48 volt, 2 amp.

“Pararel “— 4 modul pv @ 12 volt, 2 amp dihubungkan secara seri akan mendapatkan 12 volt, 8 amp.

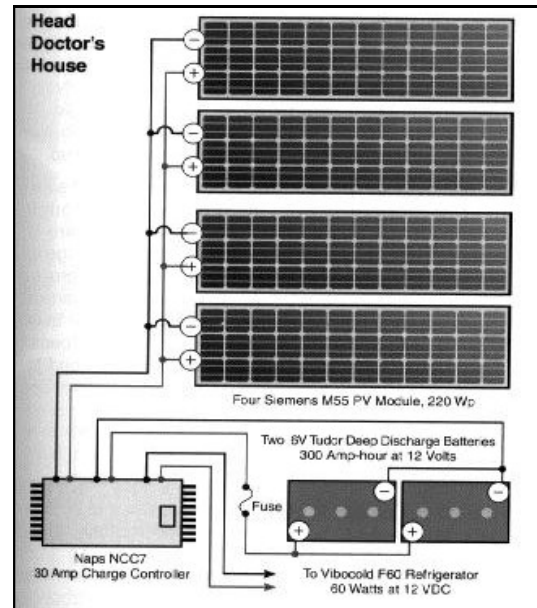
Photovoltaic (PV) System

Aliran listrik yang didapat dari panel/deretan PV akan berupa listrik DC—direct current, kemudian disimpan ke accu, dan sebagian listrik DC dirubah ke AC—alternating current dengan alat inverter (DC dirubah ke AC) untuk dipakai dengan alat “household”—lemari es, TV, lampu-lampu, pompa air, dsb., kemudian

sebagian DC dapat dipakai langsung untuk sebagian alat dengan spesifikasi DC.

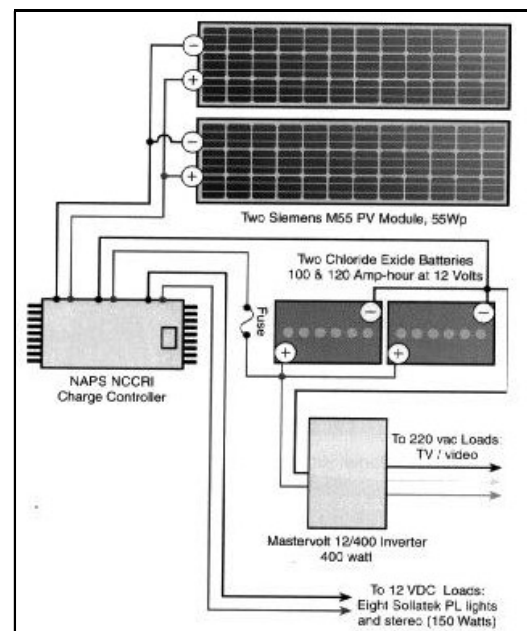
Ada 3 Sistim Rangkaian PV :

1. Sistim DC semua. (gambar 9)
2. Sistim DC dan AC (gambar 10)
3. Sistim interaktif DC, AC dan jaringan listrik lokal PLN. (gambar 11)



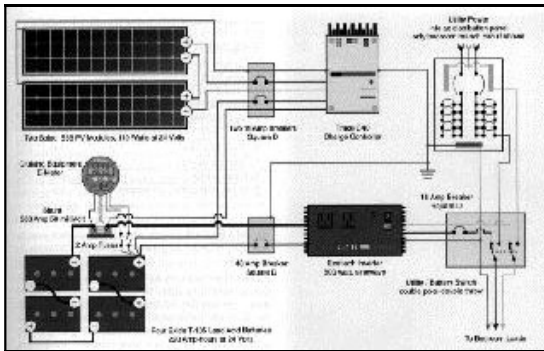
Sumber: Home Power Magazine # 64,p.41

Gambar 9. Sistim dan Beban dengan DC



Sumber: Home Power Magazine # 64,p.41

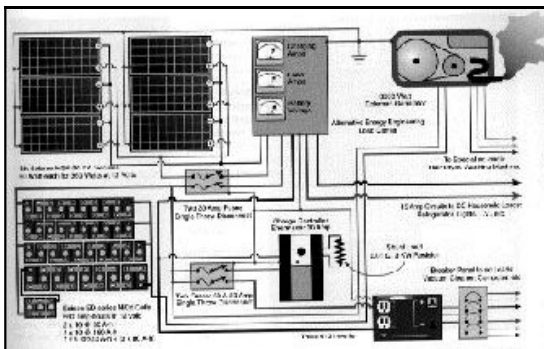
Gambar 10. Sistim DC dan AC



Sumber : Home Power Magazine # 60, p.19

Gambar 11. Interaktif DC, AC, dan Jaringan lokal PLN

Dalam sistem DC dan AC, memungkinkan penggunaan Generator set sebagai tenaga cadangan untuk membantu pengisian rangkaian battery-battery bila cuaca atau solar radiasi matahari tidak dapat menghasilkan tenaga listrik atau voltage untuk pengisian ke battery. (gambar 12)



Sumber : Home Power Magazine # 61, p.15

Gambar 12. Sistem DC dan AC + Back Up Generator

Rangkaian Photovoltaic (PV) sistem diatas, adanya alat "Charge Controller" berperan untuk mengatur jumlah beban listrik PV ke battery dan "Inverter" berperan untuk mengubah tegangan listrik DC 12V, 24V, atau 48V dari deretan battery-battery ke tegang listrik 110V atau 220V AC agar dapat diaplikasikan dengan alat-alat rumah tangga atau perkantoran seperti : lampu-lampu, lemari es, air conditioning, pompa air dan lainnya.

Pemilihan battery sebagai penyimpan listrik PV sistem ada 2 macam :

1. Jenis battery siklus pengisian pendek (shallow-cycle batteries), pengisian amp-hours (Ah) hanya mampu 10% - 20% dari kapasitas battery dalam sehari.
2. Jenis battery siklus pengisian panjang (deep-cycle batteries), dapat mengisikan amp hours

(Ah) sampai 60%-80% dari total kapasitas battery dalam sehari. Maka jenis battery ini yang sering dipakai pada perumahan dengan photovoltaic sistem.

Baik untuk deretan jenis battery shallow-cycle maupun deep-cycle dapat dikaitkan secara :

- a. Seri
- b. Paralel

Cara kedua jenis kaitan tersebut tidak akan mempengaruhi kelanggengan umur battery (umur battery lebih dipengaruhi oleh kebenaran pemasangan aplikasi-aplikasi, hubungan dan perhitungan beban antar unit sistem PV).

SEL SURYA PADA ARSITEKTUR

Revolusi aplikasi photovoltaic pada bangunan arsitektur telah mengalami perkembangan yang pesat, mulai dari teknologi biasa sampai teknologi tinggi pada generasi ke-3, yaitu :

1. Generasi Pertama (tahun 1980 an)
Panel-panel/deretan PV modul dengan rangka besi hanya diletakkan (mounting) pada bidang atap datar bangunan dengan alat penyangga (tracking).
2. Generasi Kedua (tahun 1990 an)
Sel-sel photovoltaic (PV) dikembangkan lebih menyatu menjadi bagian material bangunan yaitu: bahan atap (genteng, sirap).
3. Generasi Ketiga (tahun 1997)
Chip/modul PV dikembangkan menjadi kesatuan integrasi bangunan arsitektur dalam berbagai materi bangunan dan aplikasi canggih.



Generasi ke 1
Panel PV mounted



Generasi ke 2
Atap PV sirap



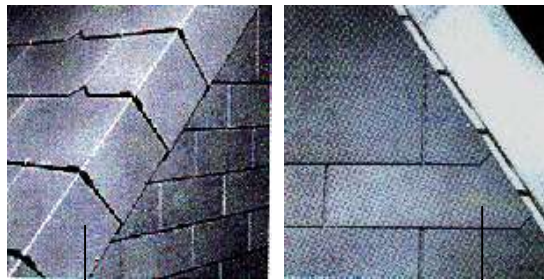
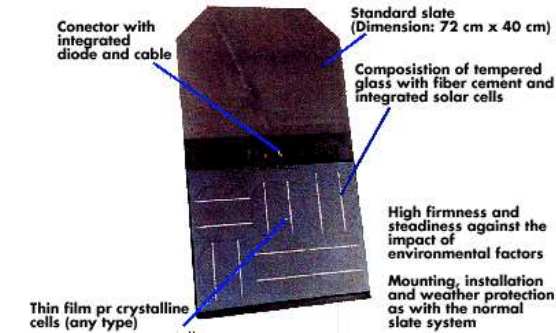
Generasi ke 3
Deretan Modul PV
Sebagai penutup Atrium



Deretan Modul PV
pada Canopy

Aplikasi PV Generasi ke 3

a. Bentuk Sirap (thin film crystalline)¹⁰



Deretan Modul PV sebagai penutup atap

b. Bentuk Cladding (curtain walls)



Deretan Modul PV sebagai penutup facade

Pada umumnya pemanfaatan energi Sel Surya (photovoltaic) telah populer dilakukan didunia dalam bidang :

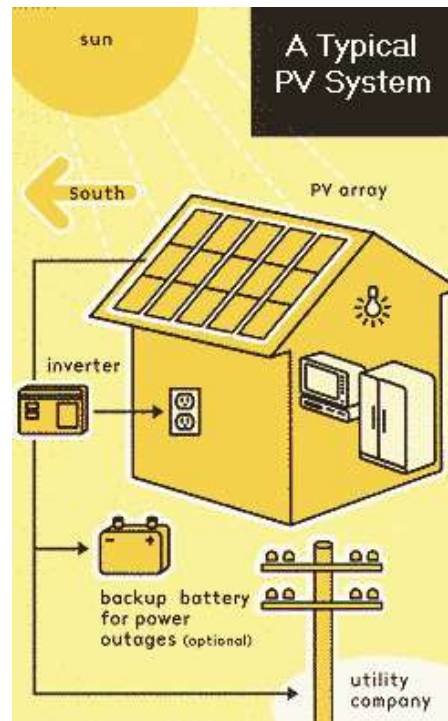
- perumahan & vila/penginapan (paling sering daerah yang jauh dari jaringan listrik).
- komersial (perkantoran, rumah sakit, institusi, stop-bis dan penerangan lampu jalan).

- industri (telekomunikasi, pembangkit listrik, stasiun pompa air, cadangan listrik).

Demikian juga untuk Indonesia dalam tahun 1998- 2000, telah melaksanakan project 50.000 “lighting systems” untuk masyarakat yang jauh dari jangkauan jaring PLN oleh perusahaan ‘BP Solar’.¹¹

APLIKASI PHOTOVOLTAIC PADA BANGUNAN PERUMAHAN

Typikal Aplikasi Modul-modul PV pada sebuah rumah sangat sederhana dan mudah dipasang, hanya dibutuhkan extra “ruang utilitas” untuk penempatan/menyimpan alat “regulator”, inverter, battery dan lainnya. (lihat skema dibawah ini)



Deretan Modul PV integrasi dengan struktur perumahan secara arsitektur pada aplikasi :

- atap (miring—pelana, perisai atau datar).
- lispalk overstack (leufel, canopy).
- dinding facade.

¹⁰ SUNSLATES, A new demension fot the architecture, www.geniuslaci.com/page2.html, p.1

¹¹ BP Amoco, Project Works, www.bpsolarex.com/1st_Project_Work.html, p.3.

Sedangkan agar dapat memperoleh energi optimum dari sisi perletakkan modul/deretan PV baik pada unit perumahan maupun bangunan komersial, maka ada 5 cara perletakkan deretan/modul PV:

1. *Fixed Array*
2. *Seasonally Adjusted Tilting*
3. *One axis tracking*
4. *Two axis tracking*
5. *Concentrator Arrays*

1. Fixed Array

Deretan modul PV diletakkan pada struktur peyanggah PV (rangka tersendiri) atau menyatu ke struktur atap. Pemasangan secara “PV Tetap” sering dilakukan karena paling mudah dalam pelaksanaan dan biaya sedikit.

Perhitungan sudut kemiringan (*tilt angle*) pada suatu lokasi berdasarkan “*Latitude*”— optimum pada posisi 21 Maret & 21 September (solstices) yaitu :

$$\text{“Latitude Angle Location + 23 derajat”}^{12}$$

Padahal sudut “altitude” dari matahari berubah secara konstan dalam hitungan hari dalam setahun, maka sudut deklinasi harus diperhitungkan untuk posisi matahari, yaitu : posisi tepat-->

$$\begin{aligned} \text{desember 21} &= - 23.45 \text{ derajat} \\ \text{maret 21} &= 0 \text{ derajat} \\ \text{juni 21} &= + 23.45 \text{ derajat} \\ \text{september 21} &= 0 \text{ derajat} \end{aligned}$$

maka untuk “Tilt Angle” berdasarkan sudut altitude matahari pada suatu lokasi dalam suatu waktu :

$$\text{Altitude Angle} = 90 \text{ derajat} - \text{latitude angle} + \text{declination angle}^{13}$$

Atau untuk suatu lokasi yang energi radiasi hampir konstan dalam setahun (sangat dekat ke Equator) maka dapat juga pakai rumus ini untuk “Tilt Angle” optimum fixed arrays, :

$$\text{Latitude} + 15 \text{ derajat}^{14}$$

Disamping menemukan “tilt angle” optimum, maka deretan modul-modul PV tetap diarahkan ke Utara untuk lokasi di latitude Selatan, dan sebaliknya.

A. Pemasangan Fixed Array PV pada Atap Perumahan Pelana/Perisai.

Ada 2 macam pemasangan “*Roof-Mounted Photovoltaics Arrays/Modules*” pada atap perumahan, yaitu :

1. *Shingle Module*

Deretan modul-modul PV dipasang dan dikaitkan dengan besi/rangkaian PV diatas penutup atap “sirap atau asbes gelombang”, genteng metal juga dimungkinkan karena cukup datar untuk perletakan rangka PV. (gambar 13)

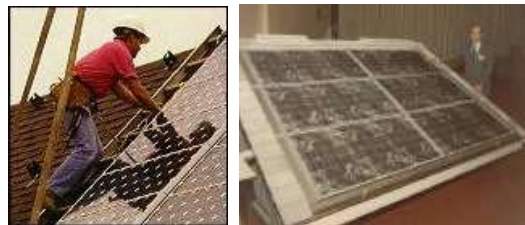


Sumber; Home Power Magazine # 64, p.38

Gambar 13. Shingle Modules PV

2. *Integral Roof Modules*

Deretan modul PV dipasang secara integrasi dengan struktur rangka atap (dibutuhkan gording dan jurai); modul PV sebagai pengganti sebagian atau seluruh penutup atap sesuai luasan modul PV yang dikehendaki. lihat gambar 14 & gambar 15 detail pemasangan modul P). Sistem modul PV integrasi dengan atap harus kedap air hujan baik pada deretan modul PV sendiri maupun pada hubungan modul PV dengan penutup atap lainnya.



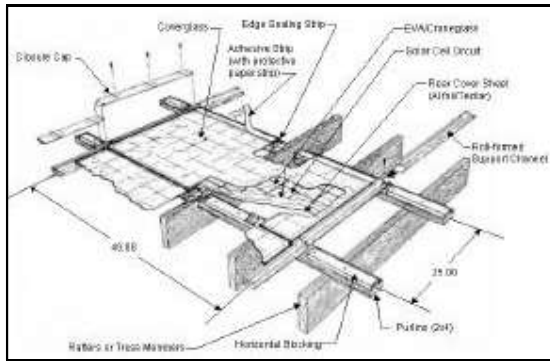
Sumber : www6,50megs.com/pvroofs/

Gambar 15. Integral Roof Modules PV

¹² Photovoltaic Panel Simulation User’s Guide, p.5.

¹³ Strong, Steven J, The Solar Electric House, p. 69.

¹⁴ Strong, Steven J, The Solar Electric House, p. 69.



Sumber : www.650megs.com/pvroofs/

Gambar 15. Detail Struktur Atap & Modules PV

B. Pemasangan Fixed Array PV pada Lisplank Overstack (Rain-Screen Cladding)

Deretan module PV dipasang secara tetap pada bidang lisplank overstack untuk menghasilkan energi listrik surya dan berfungsi sebagai bahan material bangunan. Sebagai contoh : 22 unit perumahan baru di Dordrecht, De Rietlanden mengaplikasikan modul PV seluas @ 10m² pada overstack dengan tilt angle 60 derajat, menghadap ke Selatan & menghasilkan ± 1 kwp (gambar 16).



Sumber: www.bear.nl/bear15theupvconf/html

Gambar 16. Modules PV pada Overstack Rumah

C. Pemasangan Fixed Array PV pada Dinding Bangunan (Curtain-Wall, Glass-Cladding).

Modul PV sebagai Wall-Cladding dipakai silikon efisiensi tinggi yaitu: “Mono-cyrstalline”;

dan sebagai Glass-Cladding (semi-transparan) dipakai silikon “Amorphous” dan “Crystalline”. Teknologi PV Glass-cladding memungkinkan para arsitek mendesain bangunan yang hemat energi (listrik surya), kreatif, inovatif, keseimbangan estetik pada desain: “Atrium, Curtain-wall, Rooflights, dan SunSpaces. (gambar 17).



Deretan Modul PV sebagai penutup SunSpace, memasukkan cahaya alami sambil mendapatkan listrik surya

Sumber : www.siemenssolar.com/residential_four_seasons.html

Gambar 17. PV Glass-Modules pada SunSpace

2. Seasonally Adjusted Tilting

Deretan modul PV dapat dirubah secara manual sesuai waktu (Maret/Juni/Sept./Des.) yang dikehendaki untuk pengoptimalan “tilt angle”. Untuk lokasi yang terletak pada “Mid-latitude” dapat mengubah sudut modul PV setiap 3 bulan, dan akan meningkatkan produksi energi surya ± 5%.¹⁵

3. One Axis Tracking

Panel modul PV dapat mengikuti lintasan pergerakan matahari dari Timur ke Barat secara otomatis; akan mendapatkan efisiensi ± 20% dibandingkan Fixed Arrays.

4. Two Axis Tracking

Panel modul PV dapat mengikuti lintasan pergerakan matahari dari Timur ke Barat serta orientasi Utara-Selatan secara otomatis; akan mendapatkan efisiensi ± 40% dibandingkan Fixed Arrays.

¹⁵ www.anu.edu.au/engn/solar/Sun/help/Pvguide.html,p.6.

5. Concentrator Arrays

Deretan lensa optik dan cermin yang memfokuskan pada suatu area Sel Surya (PV) efisiensi tinggi.



Concentrator Arrays

APLIKASI PHOTOVOLTAIC PADA BANGUNAN KOMERSIAL

Aplikasi Modul-modul PV pada bangunan komersial tetap juga memanfaatkan bidang-bidang atap datar, lisplank overstack atau “rain - screen cladding”, serta teknologi “Integrasi Bangunan” pada *Glass-cladding* (aplikasi “*daylighting*”) & (aplikasi “*photovoltaics*”) bersamaan secara terpadu dalam penghematan energi Contoh : Sebuah bangunan perkantoran sewa yang mengaplikasikan modul-modul PV dalam desain secara integrasi bangunan pada deretan PV modul sebagai bahan material penutup lisplank-lisplank overstack (gambar 18).



Sumber: <http://fastq.com/-lanegarr/pvprj.html>

Gambar 18. Deretan Modul PV dipasang pada Atap dan Lisplank Overstack (Building Integrated PV)

Bangunan College (institusi) juga memanfaatkan energi surya dalam penghematan energi

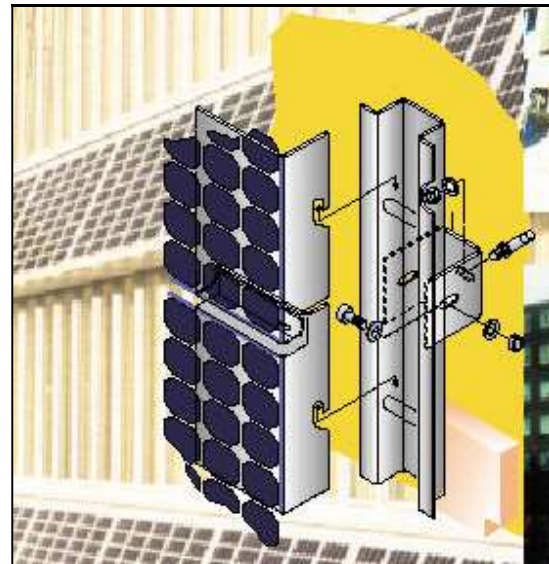
listrik operasional pada bidang atap datar yang luas (gambar 19).



Sumber: Home Power Magazine # 64, p.4

Gambar 19. Deretan Modul PV dipasang pada Atap Sebuah Sekolah (College)

Untuk pemanfaatan sebagai “Rain-Screen” Cladding pada University of Northumbria, UK. Dipakai 585 modul BP PV & terpasang seluas 390 m² pada facade; energi surya dihasilkan sebanyak 32 MWh/ tahun & sebanding dengan kebutuhan energi listrik pada bangunan ini sebanyak 30%-40% per tahun. (gambar 20).

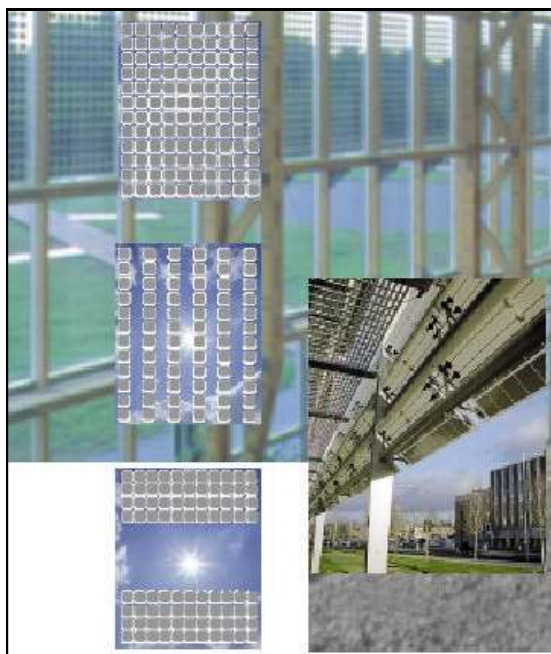


Sumber: BP Amoco, Building Power for the Future, Building Integrated Photovoltaics, p.6.

Gambar 20. Deretan Modul dipasang sebagai “Rain-Screens” dan Detail Laminate PV (semi-transparan PV)

Penggunaan sebagai Glass-Cladding pada bangunan komersial untuk selain memasukkan cahaya alami sebanyak mungkin dan juga sebagai faktor keseimbangan estetik antara modul-modul PV dan cahaya. Modul PV dari silikon “amorphous semi-transparent” dan

“crystalline transparant interspaces” dipakai sebagai glass-cladding berkategori efisiensi tinggi dan peka terhadap cahaya (matahari/pantulan cahaya).



Sumber: BP Amoco, Building Power for the Future, Building Integrated Photovoltaics, p.12.

Gambar 21. Deretan Modul PV semi-transparant & transparant interspaces sebagai curtain wall-glass

KOMENTAR

1. Letak geografis Indonesia-Surabaya yang strategis (latitude) dan jumlah-hari matahari bersinar (2 musim), mestinya harus mulai lebih memanfaatkan energi Sel Surya (PV) daripada negara yang mempunyai 4 musim dan letak latitude yang jauh dari equator yang kian hari bertambah antusias dalam pengembangan teknologi tinggi pada sistim dan aplikasi photovoltaic pada berbagai jenis bangunan arsitektur.
2. Indonesia dapat belajar banyak dalam hal penghematan energi bangunan dan penerapan aplikasi Sel Surya dari negara-negara tetangga yang kurang strategis dalam alam dan letak geografisnya.
3. Developer hunian perumahan “dapat mulai belajar” sadar akan penghematan dan pemanfaatan energi surya (gratis) ini sebagai energi cadangan dari jaringan pembangkit listrik

formal yang sebagian tidak ramah lingkungan (nuclear-power—polusi).

DAFTAR PUSTAKA

Lorenzo, Eduardo, *Solar Electricity, Engineering of Photovoltaic Systems*, Institute of Solar Energy, Polytechnic University of Madrid, 1994.

Strong, Steven J., *The Solar Electric House, A Design Manual for Home-Scale Photovoltaic Power Systems*, Pennsylvania, Rodale Press, 1987.

Journal/Magazine:

Home Power, Issue 59, St. Croix Press, Inc., Wisconsin, 1997.

Home Power, Issue 62, St. Croix Press, Inc., Wisconsin, 1998.

Home Power, Issue 64, St. Croix Press, Inc., Wisconsin, 1998.

Solar Today, The American Solar Energy Society Press, Sept/Oct., 1994

World Wede Web Sites:

www.altairenergy.com/about/pvwork.htm
www.anu.edu.au/engn/solar/Sun/help/PVguide.html
www.aqmd.gov/news/pvroofs.html
www.bear.nl/bear15theupvconf.html
www.bp.com/earthday/solar_challenge.asp
www.bp.com/earthday/solar_bipv.asp
www.buddycom.com/ecol/pv/pv2.html
<http://fastq.com/-lanegarr/pvproj.html>
www.geniusloci.com/page1.html
www.hmi.de/bereiche/F/ag_solar/eureseng.html
www.plastecs.com/solar_cells.htm
www.pv.unsw.edu.au/eff/eff_tab1.html
www.pv.unsw.edu.au/pvcdrom/peenergy.html
www.siemenssolar.com/history.html
www.siemenssolar.com/qt2.html
www.siemenssolar.com/architectural_utility_system.html
www.solarstrom.eh/english/enecoloe.htm
www.solarvt.com/SolarVT/ripvaticle.html
www.solarvt.com/SolarVT/pv.html
www.6.50megs.com/pvroofs/

LAMPIRAN 1

Solar Cell Efficiency Records

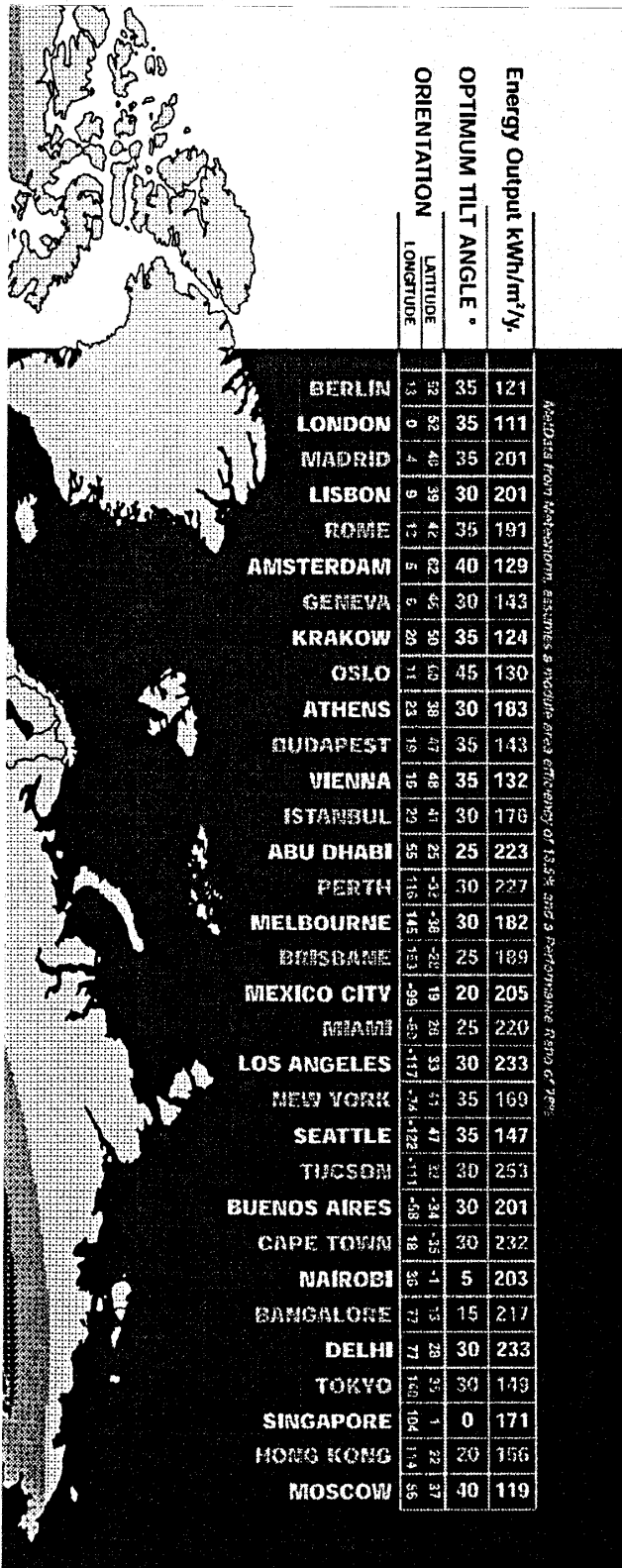
Center for Photovoltaic Engineering UNSW

Table I :
Confirmed Terrestrial Cell and Sub-module Efficiency measured under the global AM 1,5 spectrum (1000 W/m²) at 25 degree C.

Classification ^a	Effic. ^b (%)	Area ^c (cm ²)	Voc (V)	Jsc (mA/cm ²)	FF ^d (%)	Test Centre ^e (and Date)	Description
Silicon Cells							
Si (crystalline)	24.4 ± 0.5	4.00 (da)	0.696	42.0	83.6	Sandia (2/98)	UNSW PERL ¹²
Si (multicrystalline)	19.8 ± 0.5	1.09 (ap)	0.654	38.1	79.5	Sandia (2/98)	UNSW/Eurosolare ¹²
Si (supported film)	16.6 ± 0.5	0.98 (ap)	0.608	33.5	81.5	NREL (3/97)	AstroPower (Si-Film) ¹³
III-V							
GaAs (crystalline cell)	25.1 ± 0.8	3.91 (t)	1.022	28.2	87.1	NREL (3/90)	Kopin, AlGaAs window
GaAs (thin film cell)	23.3	4.00 (ap)	1.011	27.6	83.8	NREL (4/90)	Kopin, 5 mm CLEFT ¹⁴
GaAs (multicrystalline)	18.2 ± 0.5	4.011 (t)	0.994	23.0	79.7	NREL (11/95)	RTI, Ge substrate ¹⁵
InP (crystalline cell)	21.9 ± 0.7	4.02 (t)	0.878	29.3	85.4	NREL (4/90)	Spire, epitaxial ¹⁶
Polycrystalline Thin Film							
CdTe (cell)	16.0 ± 0.2	1.0 (ap)	0.840	26.1	73.1	JQA (3/97)	Matsushita 3.5 mm CSS
CdTe (submodule)	10.6 ± 0.3	63.8(ap)	6.565	2.26	71.4	NREL (2/95)	ANTEC ¹⁷
CIGS (cell)	16.4 ± 0.5	1.025(t)	0.678	32.0	75.8	NREL (11/94)	NREL, CIGS on glass ¹⁸
CIGS (submodule)	14.2 ± 0.2	51.7 (ap)	6.808	3.1	68.3	JQA (10/96)	Showa Shell ¹⁹
Amorphous Si							
a-Si (cell) ^g	12.7 ± 0.4	1.0 (da)	0.887	19.4	74.1	JQA (4/92)	Sanyo ²⁰
a-Si (submodule) ^g	12.0 ± 0.4	100 (ap)	12.5	1.3	73.5	JQA (12/92)	Sanyo ²¹
Photochemical							
Nanocrystalline dye	6.5± 0.3	1.6(ap)	0.769	13.4	63.0	FhG-ISE (1/97)	INAP
Multijunction Cells							
GaInP/GaAs	30.3	4.0 (t)	2.488	14.22	85.6	JQA (4/96)	Japan Energy (monolithic) ²²
GaAs/CIS (thin film)	25.8 ± 1.3	4.00 (t)	-	-	-	NREL (11/89)	Kopin/Boeing (4 terminal) ¹⁴
a-Si/CIGS (thin film) ^g	14.6 ± 0.7	2.40 (ap)	-	-	-	NREL (6/88)	ARCO (4 terminal) ²³
a-Si/a-Si/a-SiGe ^g	13.5 ± 0.7	0.27 (da)	2.375	7.72	74.4	NREL (10/96)	USSC (monolithic) ²⁴

Sumber : www.pv.unsw.edu.au/eff/eff_tab1.html

LAMPIRAN 2



	OPTIMUM TILT ANGLE °		Energy Output kWh/m ² /y.
	LATITUDE	LONGITUDE	
BERLIN	52	13	35 121
LONDON	52	0	35 111
MADRID	40	4	35 201
LISBON	39	9	30 201
ROME	42	12	35 191
AMSTERDAM	52	5	40 129
GENEVA	46	6	30 143
KRAKOW	50	20	35 124
OSLO	60	21	45 130
ATHENS	38	23	30 183
BUDAPEST	47	18	35 143
VIENNA	48	16	35 132
ISTANBUL	41	29	30 176
ABU DHABI	23	55	25 223
PERTH	-32	116	30 227
MELBOURNE	-36	145	30 182
BRISBANE	-27	153	25 189
MEXICO CITY	19	-99	20 205
MIAMI	26	-80	25 220
LOS ANGELES	33	-117	30 233
NEW YORK	41	-74	35 169
SEATTLE	47	-122	35 147
TUCSON	32	-111	30 253
BUENOS AIRES	-34	-58	30 201
CAPE TOWN	-33	18	30 232
NAIROBI	-1	36	5 203
BANGALORE	13	77	15 217
DELHI	28	77	30 233
TOKYO	35	140	30 149
SINGAPORE	1	104	0 171
HONG KONG	22	114	20 156
MOSCOW	56	37	40 119

MetData from Meteonorm, assumes a module area efficiency of 13.5% and a performance ratio of 78%

PERKIRAAN TILT ANGLE (dunia)

MetData from Meteonorm,
assumes a module efficiency Of 13.5%
and a Performance Ratio of 78%

Sumber : Building Integrated Photovoltaics,
(www.bpsolarex.com)