

BAB II

TINJAUAN TEORI

2.1 Karakteristik Bangunan di Indonesia

Bangunan di Indonesia memiliki ciri khas yang terlihat dari bentuk bangunan, pola pemukiman, material bangunan, sampai ornament bangunan. Ciri khas tersebut pada umumnya dapat dikerucutkan menjadi beberapa bagian, seperti:¹

1. Penggunaan atap dengan kemiringan 25° - 30° , mengikuti material yang digunakan.
2. Penggunaan teritisan (*sun shading*) untuk menghalang masuknya sinar matahari langsung ke bukaan.
3. Orientasi bangunan utara – selatan.

2.1.1 Karakteristik Bangunan Perkantoran

Bangunan perkantoran pada umumnya terbagi menjadi dua berdasarkan sistem struktur, yaitu bangunan bertingkat tingkat tinggi dan bangunan tingkat rendah.² Karakteristik bangunan kantor di Indonesia yang bertingkat rendah cenderung menggunakan kisi-kisi pada fasade. Bangunan bertingkat tinggi pada umumnya tidak memakai *sun shading* ataupun kisi-kisi serta material penutup dinding yang digunakan adalah kaca dan panel aluminium menerus setinggi bangunan.

Beberapa bangunan mengidahkan karakteristik bangunan tropis dengan menggunakan teritisan, seperti Niaga Tower dan S. Widjojo Center.³ Gedung S. Widjojo yang berlokasi di Jl. Sudirman memanfaatkan *sun shading* pada seluruh permukaan façade. *Angled eggcrate* menjadi pilihan *sun shading* pada bangunan ini. Niaga Tower yang berlokasi di Jl. Sudirman menggunakan *sun shading* pada tiap bukaannya. *Sun shading* yang digunakan adalah tipe *solid overhang*.

¹ Frick, Heinz. 2006. *Arsitektur Ekologis*. Kanisius:Yogyakarta

² Jimmy, Juwana S. 2005. *Panduan Sistem Bangunan Tinggi*. Erlangga: Jakarta

³ Hasil survey

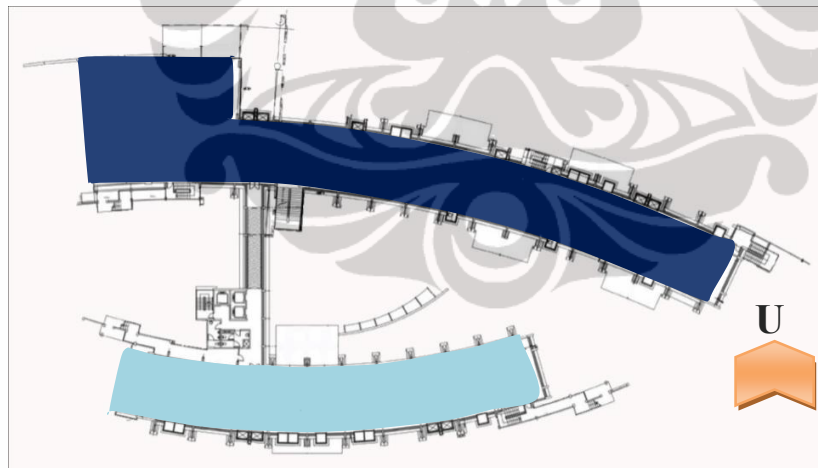
2.1.2 *Engineering center*

Salah satu bangunan perkantoran orientasi utara-selatan, bertingkat rendah dengan 80% permukaan façade menggunakan kaca dan *sun shading*, adalah *engineering center*.⁴ *Engineering center* pada awalnya dibangun untuk memenuhi kebutuhan akan adanya perpustakaan yang memadai. Seiring berjalannya waktu, kebutuhan akan ruang perkuliahan dan perkantoran serta fasilitas penunjang seperti toko buku, ruang seminar menyebabkan beberapa perubahan desain pada *engineering center*. Total luas bangunan *engineering center* adalah 7716 m². Luas Bangunan *engineering center* terbagi menjadi dua bangunan, yaitu:

1. Bangunan perkantoran, seluas 1292 m²/ lantai (3 lantai)
2. Perpustakaan dan ruang kuliah, seluas 640 m²/ lantai (6 lantai).

Dilihat dari bentuk bangunan, *engineering center* hanya mengambil intisari dari pola bangunan tropis seperti:

1. Orientasi bangunan utara-selatan.



Gambar 2-1 denah tipikal *engineering center*

Gambar 2-1 di atas menunjukkan *engineering center* mengikuti kaidah bangunan tropis, yaitu menghadap utara-selatan, dengan lebar yang kecil sehingga dalam bangunan terang.

⁴ Hasil Survey

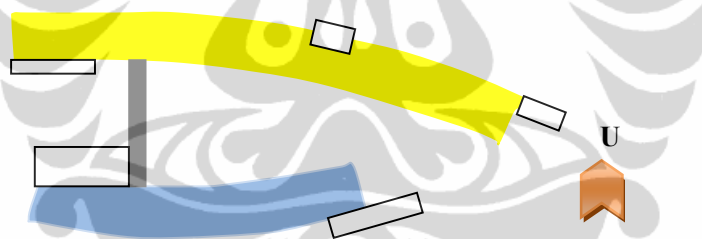
2. Menggunakan kisi-kisi pada fasade bangunan untuk mengurangi masuknya sinar matahari.



Gb. 2-2. Tampak utara *engineering center*

Gambar 2-2 menunjukkan fasade utara *engineering center* menggunakan kisi-kisi sepanjang bukaan.

3. Penggunaan sistem *double-core* pada sisi barat-timur sebagai acuan pada karakteristik kantor bangunan tropis.



Gambar 2-3 Penempatan core pada Engineering center

Gambar 2-3 di atas menunjukkan perletakkan *core* pada *engineering center*. *Core* juga ditempatkan pada tengah bangunan karena bangunan cukup panjang.

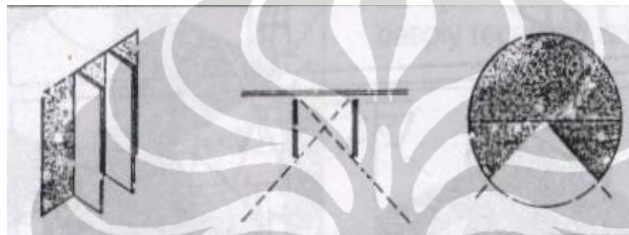
Engineering center sebagai *Engineering Data & Information Center* atau disingkat EDIC adalah aktivitas utama *engineering center* (EC) – Universitas Indonesia. Di EDIC ini lah database besar informasi ilmu pengetahuan dan ilmu keteknikan dibangun, dikumpulkan, dipelihara dan dikembangkan. Aktivitas yang dilakukan didalam *engineering center* erat hubungannya dengan pemanfaatan energi listrik untuk keperluan telekomunikasi dan Informasi. Penggunaan perangkat computer dan elektronik lainnya yang terbaru ditunjang dengan ketersediaan listrik yang cukup. Ketersediaan listrik untuk *engineering center* sebesar 84.000 watt, dengan pendistribusian energi seperti pada gambar dibawah ini.

2.1.3 Sun shading pada Bangunan

Berdasarkan teori sunshading, ada 3 dasar cara perletakkan sun shading pada fasade bangunan, yaitu *vertical shading device*, *horizontal shading device* dan *eggcrate shading type device*.⁵

Vertical Shading Device, terdiri dari tiga macam, yaitu:⁶

1. *Vertical perpendicular fins*



Gambar 2-4 *vertical perpendicular fins*

Sumber : The Energi Design Handbook, p:161

Gambar 2-4 di atas menunjukkan bahwa pada tipe ini bidang penghalang (*shading*) diletakkan *vertical* dengan kemiringan 0° pada bukaan. Sinar matahari masuk melalui celah antar bidang yang disusun paralel.

2. *Vertical angled fins*



Gambar 2-5 *Vertical Angled fins*

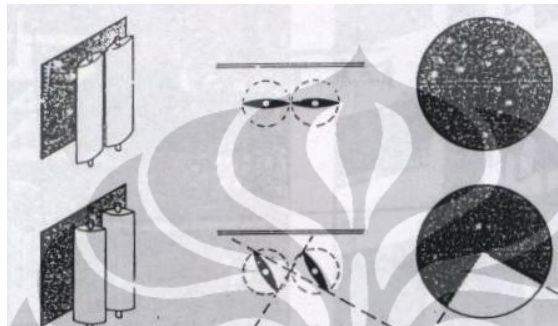
Sumber : The Energi Design Handbook, p:161

⁵ Watson, Donald. FAIA. 1993. *The Energi Design Handbook*. The American Institute of Architects Press: New York

⁶ Watson, Donald. FAIA. 1993. *The Energi Design Handbook*. The American Institute of Architects Press: New York

Gambar 2-5 di atas menunjukkan pada tipe ini bidang penghalang (*sun shading*) diletakkan vertikal pada bukaan dengan membentuk sudut tertentu. Sinar matahari masuk melalui celah antar bidang yang disusun paralel

3. Adjustabel *vertical fins*



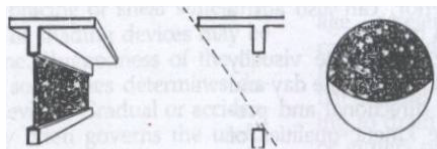
Gambar 2-6 Adjustabel *vertical fins*

Sumber : The Energi Design Handbook, p:161

Pada gambar 2-6 menunjukkan *adjustabel vertical fins* merupakan gabungan dari *vertical perpendicular* dengan *vertical angled fins*. Pada tipe ini bidang penghalang (*shading*) diletakkan vertikal pada bukaan. Bidang dapat berubah orientasi sesuai dengan arah sinar matahari pada jam tertentu. Pada saat sinar matahari enggan dimasukkan ke dalam bangunan, maka bidang penghalang menutupi bukaan. Sedangkan bila ingin memasuki sinar matahari, maka bidang penghalang dimiringkan dengan sudut tertentu.

Horizontal shading device terdiri dari empat macam perletakkan *shading*, yaitu:⁷

1. *Solid overhang*



Gambar 2-7 *Solid overhang Horizontal*

Sumber: The Energi Design Handbook, p:156

⁷ Watson, Donald. FAIA. 1993. *The Energi Design Handbook*. The American Institute of Architects Press: New York

Gambar 2-7 menunjukkan bahwa pada tipe *solid overhang* bidang penghalang (*shading*) diletakkan horizontal diatas bukaan. Bidang penghalang bersifat tetap atau statis.

2. Louvered overhang paralel



Gambar 2-8 Louvered Overhang Paralel

Sumber : The Energi Design Handbook, p:156

Gambar 2-8 menunjukkan bahwa pada tipe ini bidang penghalang (*shading*) diletakkan horizontal diatas bukaan. Bidang disusun berlapis ke depan dengan kemiringan tertentu.

3. Louvered overhang pendicular

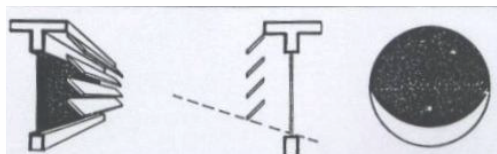


Gambar 2-9 Louvered Overhang Pendicular

Sumber : The Energi Design Handbook, p:156

Gambar 2-9 menunjukkan bahwa pada tipe ini bidang penghalang (*shading*) diletakkan horizontal diatas bukaan. Bidang disusun paralel dan membentuk sudut 90° terhadap bukaan.

4. Horizontal louvers



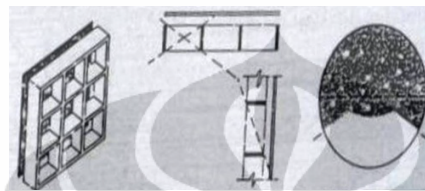
Gambar 2-10 Horizontal Louvers

Sumber : The Energi Design Handbook, p:156

Gambar 2-10 menunjukkan bahwa pada tipe ini bidang penghalang (*shading*) diletakkan horizontal diatas bukaan. Bidang disusun paralel ke bawah dan membentuk sudut tertentu terhadap bukaan.

Eggcrate Shading Type device memiliki 3 macam tipe, yaitu:⁸

1. *Fixed Eggcrate*

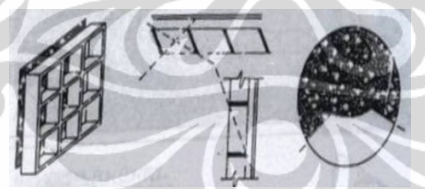


Gambar 2-11 *Fixed Eggcrate*

Sumber : *The Energi Design Handbook*, p:162

Gambar 2-11 menunjukkan bahwa tipe *eggcrate* merupakan gabungan *horizontal shading device* dan *vertical shading device*. Pada tipe ini bidang penghalang (*shading*) membentuk persegi tanpa kemiringan tertentu.

2. *Angled Eggcrate*



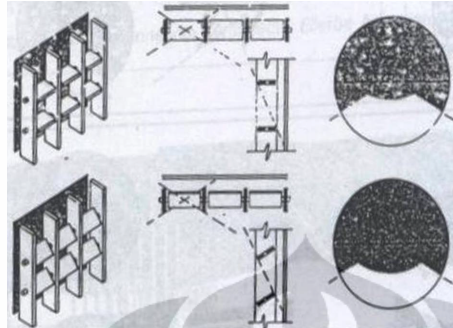
Gambar 2-12 *Angled Eggcrate*

Sumber : *The Energi Design Handbook*, p:162

Pada gambar 2-12 terlihat bidang penghalang (*shading*) membentuk persegi. Bidang yang horizontal memiliki kemiringan sedangkan bidang yang vertikal tanpa kemiringan tertentu.

⁸ Watson, Donald. FAIA. 1993. *The Energi Design Handbook*. The American Institute of Architects Press: New York

3. Adjustabel Eggcrate



Gb.2-13 Adjustabel Eggcrate

Sumber : The Energi Design Handbook, p:162

Pada gambar 2-13 terlihat bidang penghalang (*shading*) membentuk persegi. Bidang yang vertikal memiliki kemiringan sedangkan bidang yang horisontal tanpa kemiringan tertentu.

Bila dilihat dari posisi *engineering center* dengan lokasi 6°3' LS, maka tipe yang mungkin digunakan adalah *solid overhang*, *louvered overhang parallel* dan *horizontal louvers*.

2.2 Karakteristik Energi Matahari

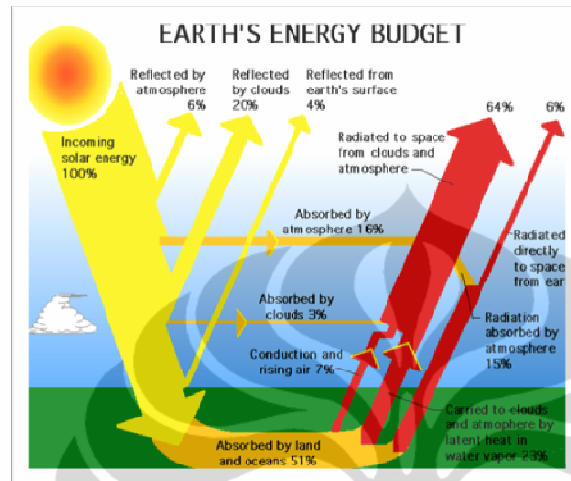
Kinerja panel surya(PV) tergantung pada besarnya radiasi yang dipancarkan oleh matahari sampai ke sel surya. Oleh sebab itu perlu diketahui aspek dan prinsip dasar yang berkaitan dengan proses konversi energi radiasi matahari menjadi energi listrik oleh panel surya. Aspek yang akan dibahas antara lain mengenai matahari dan radiasi matahari ke bumi, intensitas energi, pergerakan matahari serta yang berhubungan dengan kinerja panel surya.

2.2.1 Radiasi Surya

Radiasi Matahari adalah sejumlah energi yang dikeluarkan oleh matahari, biasanya berupa energi elektromagnetik.⁹ Secara umum radiasi matahari yang dipancarkan ke bumi

⁹ en.wikipedia.org/wiki/Solar_radiation

konstan sepanjang tahun. Namun radiasi matahari banyak mengalami reduksi saat memasuki atmosfer bumi akibat dari berbagai macam gas yang harus dilaluinya.



Gb.2-14 persentase energi matahari yang diserap dan dipantulkan oleh permukaan bumi

Sumber : asd-www.larc.nasa.gov

Gambar 2-14 menunjukkan tidak semua radiasi matahari diserap oleh permukaan bumi. Hanya 51% dari total radiasi yang diserap oleh permukaan bumi dan permukaan laut. 15% dari total radiasi matahari diserap oleh atmosfer. Radiasi yang diserap oleh atmosfer inilah yang ditangkap oleh sel surya.¹⁰

Intensitas radiasi matahari yang jatuh ke suatu tempat dipengaruhi oleh parameter-parameter dibawah ini:¹¹

1. Garis lintang lokasi (*latitude*)
2. Tanggal pengukuran pada kalender matahari
3. Waktu pengukuran

Intensitas tersebut dapat dihitung berdasarkan rumus:

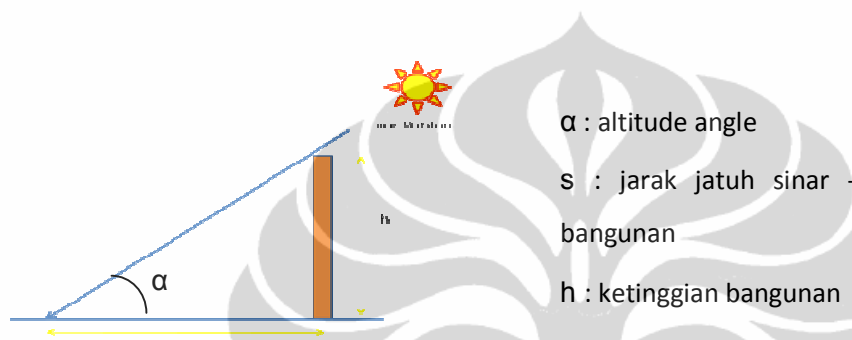
$$I_{so} = 1,353 \times 0,7 \times (\text{air Mass})^{0,678} \text{ kW/m}^2$$

I_{so} : Intensitas radiasi matahari

¹⁰ asd-www.larc.nasa.gov

¹¹ Thekaekara, M.P and A.J Drummond. 1971. *Standard Values for The Solar Constant and Its Spectral Components*. *Nat Phys. Sct*,2 29,6.

Air mass adalah suatu koefisien yang merupakan fungsi dari garis lintang, tanggal pada kalender matahari, dan jam yang dapat dicari harganya melalui tabel atau menggunakan cara grafis. Pada gambar 2-15 menunjukkan ketinggian bangunan menentukan arah jatuhnya bayangan disekitar bangunan. Semakin tinggi bangunan jarak jatuh sinar akan semakin panjang, maka kemungkinan jatuhnya bayangan bangunan yang tercipta semakin panjang.



Gambar 2-15 perhitungan air mass menggunakan panjang bayangan benda dengan tinggi tertentu¹²

Secara umum radiasi matahari yang jatuh pada suatu bidang permukaan ada dua, yaitu :

1. Radiasi Langsung
Yaitu radiasi matahari yang jatuh langsung pada permukaan tanpa melalui bidang lain atau pemantul.
2. Radiasi Baur
Yaitu radiasi matahari yang jatuh pada permukaan secara tidak langsung tetapi melalui bidang lain atau pemantu.

Berdasarkan parameter-parameter yang mempengaruhi intensitas radiasi matahari, lokasi dan waktu pengukuran menjadi faktor yang mempengaruhi. Hal ini dikarenakan pergerakan matahari antar daerah di permukaan bumi. Oleh sebab itu ketinggian bangunan juga mempengaruhi besarnya radiasi yang ditangkap oleh panel surya yang berimbas pada kinerja panel surya.

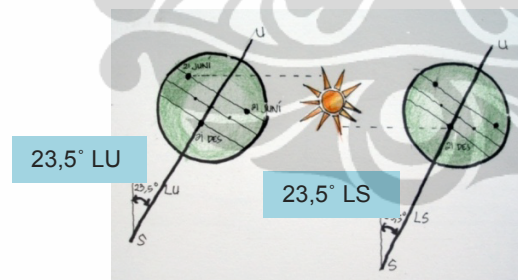
¹² Wienham, S.R., *et all Applied Photovoltaic*, National Library Australia, hal.5

2.2.2 Pergerakan Relatif Matahari

Bila diamati dari bumi, seakan-akan matahari bergerak mengelilingi bumi, walaupun pada kenyataannya bumilah yang mengitari matahari. Pergerakan matahari terhadap bumi memiliki siklus 1 tahun matahari. Lintasan matahari yang teramati tergantung pada garis lintang pengamat, yaitu garis yang tercipta antara bumi dan matahari (latitude). Kota Depok dengan garis lintang $6,3^{\circ}$ LS tidak memiliki perbedaan yang mencolok dalam arah pergerakan matahari maupun jatuhnya bayangan pada permukaan dengan kota Jakarta $6,1^{\circ}$ LS.

Untuk menentukan koordinat atau posisi matahari dapat ditentukan oleh dua sudut yaitu:¹³

- Sudut deklinasi ; perjalanan bumi mengitari matahari ditempuh dalam waktu 365 hari. Bumi berputar terhadap porosnya membutuhkan waktu selama 24 jam, dengan sudut yang terbentuk adalah $23,5^{\circ}$ terhadap matahari. Hal ini mengakibatkan sudut deklinasi yang berubah-ubah sesuai dengan waktu dimana matahari berada. Pada gambar 2-16, sudut deklinasi $23,5^{\circ}$ LU terjai pada tanggal 21 juni dan sudut deklinasi $23,5^{\circ}$ LS (garis balik selatan) terjadi pada tanggal 21 desember. Hal ini berpengaruh terhadap penyinaran dan pembayangan matahari terhadap bangunan.



Gambar 2-16 Sudut Deklinasi

Sumber : The Energi Design Handbook, 1993

- Sudut jam H ; yaitu sudut antara proyeksi sinar matahari dalam bidang equatorial (x-y) dan meridian local (x). variasi jamnya bernilai negative sebelum tengah hari (solar noon) dan bernilai positif setelah setengah hari.

¹³ Dewi, Patricia, MT. 2005. *Optimasi Penggunaan panel PV ditinjau dari Aspek Ratio Bangunan, Orientasi dan Konfigurasi Atap Bangunan Hunian Bertingkat*. Tesis Magister Arsitektur ITB

Untuk menentukan posisi matahari pada saat tertentu diberikan oleh Wieder persamaan sbb:

$$\cos D^\circ = \sin 23,5^\circ \sin \frac{360^\circ n}{365,25 \text{ hari}}$$

Dimana :

- D° = sudut codeklinasi (sudut matahari yang diukur dari kutub utara)
- n = jumlah hari setelah vernal equinox (21 maret)

Selanjutnya untuk menentukan besar sudut jam H , dapat dihitung dengan persamaan sbb:

$$H = \frac{360^\circ}{24 \text{ jam}} \times t$$

Dimana : t = jumlah jam sebelum atau sesudah setengah hari

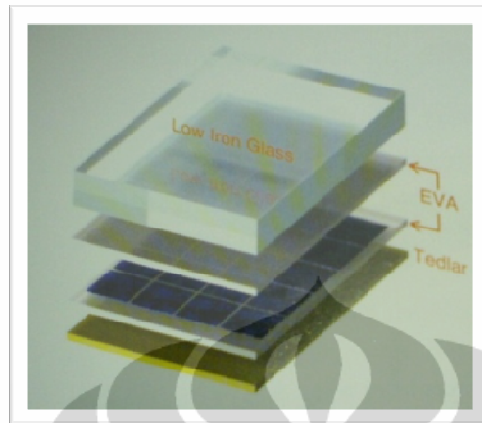
Berdasarkan uraian teori mengenai radiasi matahari diatas dapat diketahui bahwa kinerja panel surya bergantung terhadap orientasi bangunan dan orientasi panel surya itu sendiri, karena besarnya radiasi yan didapat panel surya bergantung pada pergerakan matahari, waktu, serta lokasi panel surya digunakan.

Radiasi matahari langsung sekarang sudah banyak digunakan khususnya untuk bangunan yaitu dengan menggunakan bahan semikonduktor yang mampu menampung radiasi matahari tersebut. Teknologi ini disebut *photovoltaics* yang dipengaruhi oleh beberapa aspek selain orientasi terhadap sinar matahari.

2.3 Panel Surya sebagai Sumber Energi Alternatif

Panel surya dikenal juga dengan sebutan *photovoltaics*. *Photovoltaics* terdiri dari lapisan mikro tipis, setiap lapisan terdapat kabel filament. Pada gambar 2-17 terlihat masing-masing lapisan transparan (modul mono-poly silicon Kristal).¹⁴ Di atas lapisan mono-poly silicon dipasang low iron glass untuk melindungi mono-poly silicon dari hujan.

¹⁴ Deo Prasad. 2005. *Designing with Solar Power*. Images publishing:Sydney



Gambar 2-17 Lapisan mono-poly silicon Kristal

Sumber : Designing with Solar power, h:25

2.3.1 Perkembangan Panel Surya

Pengembangan sel surya silicon secara individu :¹⁵

- Mono-crystalline (Si) ; silikon kristal tunggal yang didapat dari peleburan silikon dalam bentuk bujur sangkar dengan nilai efisiensi sekitar 24%.
- Poly-crystalline/multi crystalline (Si) ; dibuat dari peleburan silikon dalam tungku keramik, kemudian pendinginan perlahan untuk mendapatkan bahan campuran silikon. Nilai efisiensi hanya 15-18%.
- Amorphous Silicon (a-Si) ; banyak dikembangkan untuk bangunan terpadu sebagai pengganti tinte glass yang transparan.
- Gallium arsenide (GaAs); sel surya III-V semikonduktor yang sangat efektif dengan nilai efisiensi 25%.

Sekarang sudah banyak dikembangkan sel surya silikon terpadu atau yang biasa disebut thin film, antara lain:¹⁶

- Thin film silicon, biasanya digunakan untuk cladding sistem.
- Cadmium telluride dan cadmium Sulfida ; terbentuk dari polycrystalline dengan nilai efisiensi 16%.

¹⁵ Deo Prasad. 2005. *Designing with Solar Power*. Images publishing:Sydney

¹⁶ Deo Prasad. 2005. *Designing with Solar Power*. Images publishing:Sydney

- c. Copper indium diselenide ; terbuat dari bahan film tipis polycrystalline dengan nilai efisiensi 17.7 %

Setiap bahan transparan *photovoltaics* memiliki kemampuan menyerap energi radiasi matahari yang berbeda. Berikut ini tabel perbandingan efisiensi menyerap radiasi matahari.¹⁷

Tabel 2-1 perbandingan efisiensi menyerap radiasi matahari

	Typical Efficiencies	Maximum recorded outdoors	Maximum recorded laboratory efficiency
	%		%
Mono-Crystalline	12-15	22.7% ± 0.6	24.7
Poly Crystalline	11-14	15.3% ± 0.4	19.8
Amorphous silicon	6-8	10.4% ± 0.5	12.7
Cadmium telluride	7-10	10.7% ± 0.5	16.0
Copper Indium diselenide	8-12	13.0% ± 0.6	18.8
Gallium Arsenide		25.1% ± 0.8	
Titanium Dioxide Gratzel sel	10	n/a	

Dari tabel 2-1 di atas terlihat bahwa mono-crystalline memiliki tingkat efisiensi tertinggi yaitu sebesar 12-15%, yang diikuti oleh poly-crystalline dengan tingkat efisiensi sebesar 11-14%. Tingkat efisiensi tersebut merupakan efisiensi panel surya untuk menangkap radiasi matahari.

2.3.2 Spesifikasi Sel Surya

Salah satu sel surya yang digunakan adalah panel surya dengan kemampuan daya listrik sebesar 50 watt. Gambar 2-18 di bawah menunjukkan bentuk sel surya tipe *poly-crystalline* dengan tingkat efisiensi sebesar 11-14%.



Gambar 2-18 sel surya tipe *poly-crystalline*

Sumber : Designing with solar power

¹⁷ Deo Prasad. 2005. *Designing with Solar Power*. Images publishing:Sydney

Spesifikasi sel surya tipe *poly-crystalline* seperti pada tabel II-2 dibawah ini.

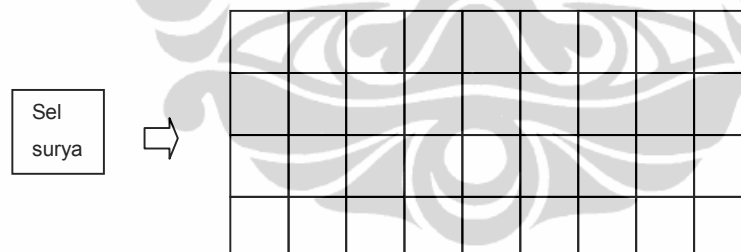
Tabel 2-2 spesifikasi sel surya poly-crystalline

Spesifikasi	keterangan
Output daya listrik	50 watt
Ukuran	2,3 inch x 2,3 inch
Bahan	Poly-crystalline, high durable plastic, waterproof backing material
Masa hidup	20 tahun

Pada tabel 2-2 di atas, diketahui ukuran satu sel surya sebesar 2,3 inch x 2,3 inch atau sekitar 5,75cm x 5,75cm. Satu panel surya terdiri dari 24-36 sel atau setara dengan 12 volt.¹⁸ Dengan mengetahui ukuran panel surya tersebut dapat diketahui besar panel surya yang bisa digunakan pada penelitian. Ada dua jenis susunan sel surya pada panel, seperti:

Susunan sel surya pada solar panel

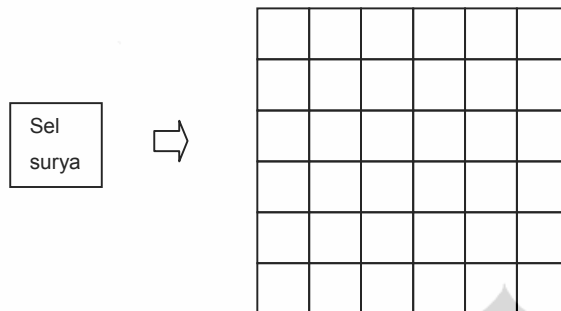
Dimensi panel surya dipengaruhi oleh susunan sel pada panel. Gambar 2-19 menunjukkan panel surya yang terdiri dari 36 sel surya. 9 sel disusun seri dan 4 sel disusun parallel. Dimensi panel yang didapat dengan susunan demikian adalah 35 cm x 55 cm.



Gambar 2-19 susunan sel (23 x 51,75)cm = 35 x 55

Gambar 2-20 menunjukkan panel surya yang terdiri dari 36 sel surya. 6 sel disusun seri dan 6 sel disusun parallel. Dimensi panel yang didapat dengan susunan demikian adalah 40 cm x 40 cm.

¹⁸ Deo Prasad.2005. *Designing with solar panell*Images publishing: Sydney



Gambar 2-20 susunan sel $(34,5 \times 34,5)\text{cm} = (40 \times 40)\text{cm}$

Kebutuhan lebar bebas panel sebagai sun shading dimensi 35cm x 55cm sebesar 32cm dan dimensi 40cm x 40cm sebesar 36cm. Bila dibandingkan teritisan pada bangunan rendah di Indonesia dengan lebar 80 cm – 200 cm¹⁹, kedua susunan sel di atas dapat digunakan sebagai *sunshading* di Indonesia.

2.3.3 Kinerja Sel Surya

Sebuah sel surya dalam menghasilkan energi listrik tidak tergantung pada besaran luas silicon, tetapi secara konstan masing-masing sel akan menghasilkan energi berkisar 0,5 volt-max 600mV pada 2 amp, dengan kekuatan radiasi surya 1000 W/m², sehingga mampu menghasilkan arus listrik (I) sebesar 300 A/cm² per sel surya.²⁰ Dari sel-sel surya tersebut tersusun menjadi sebuah modul surya yang terdiri dari 24 sel surya sehingga menghasilkan maksimum 12 volt untuk mendekati tegangan 1 buah baterai.²¹

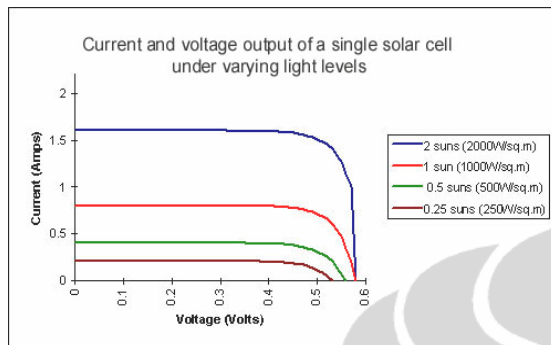
Perbandingan intensitas energi surya dengan daya listrik yang dihasilkan pada waktu tertentu adalah konstan, maka pengukuran untuk mengetahui kinerja modul surya dapat dilakukan kapanpun. Dengan kuantitas data yang memenuhi dan pengolahan data statistik dapat diketahui kinerja modul surya tersebut. Satu sel surya memiliki tegangan maksimal 0,6 volts dengan besar kuat arus maksimal 1,5 Ampere. Oleh sebab itu dibutuhkan jumlah sel surya yang banyak dalam satu panel untuk mendekati tegangan baterai sebesar 12 volt.

¹⁹ Lippsmeier, Georg, 1997, *Bangunan Tropis*, Erlangga, Jakarta

²⁰ Photovoltaic Panel Simulation User's Guide, p.4

²¹ Zanghis Chan, Staff ahli Photovoltaics balai Konservasi Energi BPPT- Puspiptek Serpong.

Secara umum hubungan antara parameter dalam modul surya ditampilkan dalam gambar 2-21 berikut:²²



Keterangan :

I_{sc} = short-circuit current

V_{oc} = open-circuit voltage

V_{mp} = maximum power voltage

I_{mp} = maximum power current

P_m = power maximum output dari PV array (watt)

Gambar 2-21. Hubungan Maximum Power voltage dan Circuit current

Pada penelitian ini yang perlu diperhatikan untuk optimasi sel surya adalah maximum power current dan output, maka jumlah sel surya yang digunakan pada panel berjumlah 36 sel untuk mencapai nilai energi maksimum yaitu 12volt.²³ Nilai 12 volt ini setara dengan satu baterai. Oleh sebab itu jumlah sel ini menjadi dasar dari kebutuhan jumlah panel surya dan sistem PV yang akan digunakan.

Sebagai contoh, bila menggunakan sel surya jenis *polycrystalline silicone* sel dengan kemampuan mengubah energi sinar matahari secara efisien sebesar 13%. Jika daya intensitas matahari pada tengah hari 1000 Watt/m², maka daya (P) yang dibangkitkan untuk sel surya segi empat yang mempunyai dimensi 5,5 cm x 10 cm dapat mencapai:

$$P = 13\% \times 1000 \text{ Watt/m}^2 \times 55 \text{ cm}^2 = 0,72 \text{ Watt}$$

Selanjutnya untuk menghasilkan daya yang lebih besar, sejumlah solar sel ini dihubungkan secara seri menjadi satu panel. Panel-panel surya ini dihubungkan lagi secara paralel menjadi satu hamparan sel surya atau solar sel array.

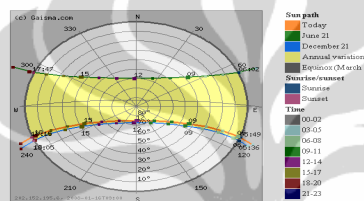
²² Wienham, S.R., *et al Applied Photovoltaic*, National Library Australia, hal.38

²³ Zanghis Chan, Staff ahli Photovoltaics Balai Konservasi Energi BPPT- Puspiptek Serpong.

2.3.4 Faktor Yang Mempengaruhi Operasional Sel Surya

Orientasi bangunan

Orientasi PV kearah matahari sangat berpengaruh untuk menghasilkan energi yang maksimum, selain itu sudut orientasi PV juga mempengaruhi hasil energi maksimum. Sebagai guideline untuk orientasi yang terletak di lintang belahan utara, maka panel *photovoltaics* (PV) sebaiknya diorientasikan ke selatan. Orientasi barat-timur walaupun dapat menghasilkan sejumlah energi tetapi tidak maksimal.²⁴



Gb.2-22 Pergerakan Matahari dalam setahun

Gambar 2-22 menunjukkan bahwa matahari berada di belahan utara bumi pada bulan juni – September. Sedangkan matahari berada di belahan selatan bumi pada bulan desember-maret.

Kemiringan Panel surya

Perhitungan sudut kemiringan (*tilt angle*) pada suatu lokasi berdasarkan *latitude* optimum pada posisi 21 maret dan 21 september yaitu:²⁵

$$\text{Latitude angle location} + 23^\circ$$

Wilayah Indonesia, khususnya Jakarta mendapatkan energi radiasi yang relative konstan dalam setahun, maka dapat menggunakan rumus *tilt angle* optimum untuk mengetahui kemiringan panel surya. Persamaan tersebut:²⁶

$$\text{Latitude} + 15^\circ$$

²⁴ BP Amoco Building Power for The Future:PV Electric Energi in Wh/m², p:11

²⁵ Patricia, Dewi. 2005. Optimasi panel photovoltaics ditinjau dari aspek rasio serta orientasi dan konfigurasi atap bangunan hunian bertingkat. ITB: bandung, hal; 25

²⁶ Patricia, Dewi. 2005. Optimasi panel photovoltaics ditinjau dari aspek rasio serta orientasi dan konfigurasi atap bangunan hunian bertingkat. ITB: bandung, hal; 26

Parameter acuan Optimasi kinerja

Parameter yang berpengaruh pada energi yang dihasilkan antara lain :

1. *Performace ratio* panel surya.

Performance ratio adalah persentase kinerja panel surya berdasarkan perbandingan antara energi yang dihasilkan panel surya dengan energi maksimal yang dihasilkan. Nilai yang optimal untuk performance ratio adalah 61-100%.²⁷

2. *Solar Fraction* panel surya.

Solar fraction(f) adalah perbandingan energi matahari yang dihasilkan modul dengan total energi yang digunakan. Nilai f yang optimal antara 0 - 1.²⁸ Nilai f yang paling optimal apabila energi yang tersedia dapat digunakan semuanya atau dengan kata lain f =1.

3. *Missing Energy*.

Missing energy adalah energi yang hilang selama perambatan dari modul panel surya menuju inverter. Semakin kecil energi yang hilang selama perambatan berarti letak panel sudah optimal.²⁹

4. Energi yang tersedia.

Energi yang tersedia adalah energi tersedia pada inverter. Semakin besar energi yang tersedia pada inverter, letak panel sudah optimal.³⁰

Kinerja PV dipengaruhi oleh perubahan sistem listrik dari DC-AC. Perubahan sistem listrik tersebut menyebabkan hilangnya sejumlah energi yang dihasilkan oleh sistem modul PV. Hilangnya energi dari modul menuju inverter dan keluar di panel listrik bisa mempengaruhi energi sebesar 77%.³¹

Komponen *Derate* Faktors³²

1. PV module nameplate DC rating

Setiap panel PV yang dijual dipasaran, pada umumnya telah melakukan uji coba efisiensi panel. Nilai tegangan dan arus listrik (A) yang tercantum pada panel (modul) panel inilah yang disebut module nameplate atau Standard Test Condition (STC).

²⁷ www.pvwatts.com/component_derate_factors

²⁸ www.pvwatts.com/component_derate_factors

²⁹ www.pvwatts.com/component_derate_factors

³⁰ www.pvwatts.com/component_derate_factors

³¹ www.pvwatts.com/component_derate_factors

³² www.pvwatts.com/component_derate_factors

2. Inverter and Transformer

Inverter adalah komponen pendukung panel surya untuk mengubah DC (direct current) menjadi AC (alternating current). Selama perubahan aliran listrik ini terjadi penurunan tegangan yang dihasilkan oleh sel surya sebesar 8%.

3. Mismatch

Ketidakesuaian dalam penyusunan panel baik secara seri ataupun paralel mampu menurunkan tegangan sebesar 2%.

4. Diodes and connections

Dioda adalah komponen pendukung untuk mengubah aliran AC menjadi DC. Adanya aliran bolak-balik yang terjadi selama proses pemakaian panel surya serta sambungan dalam sistem pengkabelan mampu menurunkan tegangan sebesar 0,5%.

5. DC wiring

Ukuran dan tipe kabel yang digunakan sebagai penghantar aliran langsung (DC) harus cukup besar untuk mengantar aliran listrik tanpa kehilangan tegangan. Bila kabel tidak mampu menghantar aliran listrik tersebut akan terjadi penurunan tegangan sebesar 2%

6. AC wiring

Ukuran dan tipe kabel yang digunakan sebagai penghantar aliran bolak-balik (AC) harus cukup besar untuk mengantar aliran listrik tanpa kehilangan tegangan. Bila kabel tidak mampu menghantar aliran listrik tersebut akan terjadi penurunan tegangan sebesar 1%

7. Soiling

Soiling atau permukaan panel dipengaruhi dengan ada atau tidak adanya debu yang menutupi sinar matahari ke panel bisa mengurangi tegangan sebesar 5%.

8. Sistem availability

Sistem panel surya yang digunakan, baik grid connected atau hybrid, bisa mengurangi tegangan selama pemakaian panel. Tegangan berkurang sebesar 2%.

9. *Shading*

Bayangan yang terbentuk akibat penyusunan panel yang salah atau akibat bayangan bangunan disekitar mampu mengurangi tegangan sebesar 1.

10. Sun-tracking

Lintasan matahari berubah-ubah sepanjang tahun. Hal ini menyebabkan energi yang didapatkan oleh panel tidak sama sepanjang tahun. Oleh sebab itu pada saat energi yang diterima berkurang, aliran listrik mengalami gangguan yang mampu menurunkan tegangan sebesar 1.

11. Age

Setiap sel surya memiliki usia maksimum 10-20 tahun. Semakin lama penggunaan panel maka kemampuan panel akan berkurang karena adanya kerusakan ataupun kondisi flat collector tidak sebersih pada awal pemakaian. Faktor usia mampu mempengaruhi kinerja perubahan aliran DC-AC sebesar 1.

Uraian faktor yang mempengaruhi aliran DC menjadi AC di atas, dapat disimpulkan pada tabel berikut ini:

Tabel 2.3 faktor yang menyebabkan berkurangnya energi pada perubahan sistem DC-AC

Faktor-faktor pada sistem AC - STC		
Component Derate Faktors	PVWATTS Default	Range
PV module nameplate DC rating	0.95	0.80 - 1.05
Inverter and Transformer	0.92	0.88 - 0.96
Mismatch	0.98	0.97 - 0.995
Diodes and connections	0.995	0.99 - 0.997
DC wiring	0.98	0.97 - 0.99
AC wiring	0.99	0.98 - 0.993
Soiling	0.95	0.30 - 0.995
Sistem availability	0.98	0.00 - 0.995
Shading	1.00	0.00 - 1.00
Sun-tracking	1.00	0.95 - 1.00
Age	1.00	0.70 - 1.00
Nilai DC-AC	0.77	

Faktor-faktor yang diuraikan pada tabel 2-3 dapat disimpulkan dalam persamaan :

$$DC - AC = 0.95 \times 0.92 \times 0.98 \times 0.995 \times 0.98 \times 0.99 \times 0.95 \times 0.98 \times 1.00 \times 1.00 \times 1.00 = 0.77$$

Selain faktor komponen yang mempengaruhi perubahan aliran DC ke AC, faktor-faktor yang menyebabkan berkurangnya energi listrik pada panel DC antara lain:

1. Standard Test Condition

Jumlah energi sebenarnya biasanya dibawah jumlah energi standard pada panel PV. Asumsi standard pada suhu 25° radiasi matahari sebesar 1000 W/m², dalam keadaan

sebenarnya modul 100 W hanya menghasilkan 95 W. Dengan demikian terjadi pengurangan energi sebesar 5%.

2. Debu dan kotoran

Debu dan kotoran bisa berkumpul di atas modul PV. Hal ini menghalang sinar matahari ke modul PV sehingga energi bisa berkurang 93%.

3. Daur Hidup Panel Surya

Kemampuan panel surya dalam jangka waktu tertentu tidak akan sama dengan kemampuan pada tahun pertama pemakaian. Pvwatts memperkirakan kemampuan panel surya akan berkurang 1% per tahun. Sehingga dalam jangka waktu 11 tahun diperkirakan kemampuan panel surya sebesar 90%.³³

4. Kesalahan pemasangan dan Rambatn kabel

Energi maksimal total PV lebih kecil dari Energi maksimal per panel PV karena ketidakseimbangan performa sistem anatar modul (module mismatch). Energi hilang sebesar 2%, sedangkan akibat jauhnya inverter ke panel PV energi hilang sebesar 3% selama perjalanan jaringan kabel.

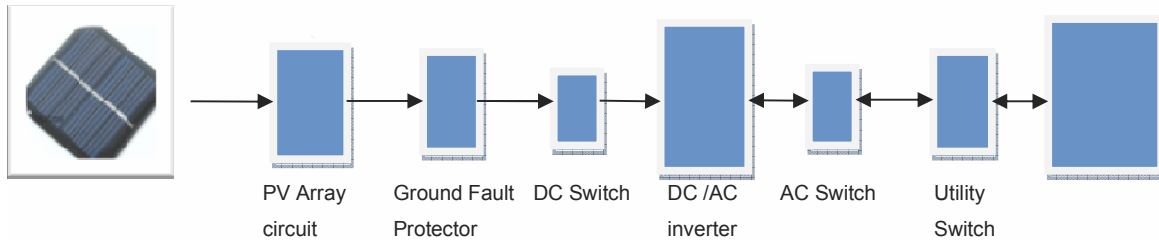
2.3.5 Sistem Panel Surya

Konfigurasi antara modul PV dengan baterai, enverter, dan perangkat lainnya dapat disebut sebagai sistem PV. Sistem PV secara umum dibagi dua jenis, yaitu:

1. *Grid Connected Sistem*

Sistem *grid connected* adalah keseluruhan sistem yang terhubung dengan jaringan listrik umum, sehingga pemakaian energi yang dihasilkan oleh panel surya bergabung dengan energi listrik yang dihasilkan oleh jaringan listrik konvensional, seperti pada gambar 2-23.

³³ www.pvwatts.com/component_derate_factors

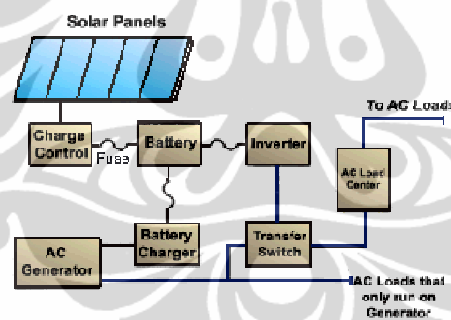


Gambar 2-23 sistem *grid connected*

Sumber : www.pvwatts.com/photovoltaics_system

2. Hybrid sistem

Sistem terhubung dengan sistem lain. Sehingga pemakaian energi yang dihasilkan oleh panel PV bergabung dengan energi listrik yang dihasilkan oleh sistem generator, begitu pula sebaliknya, seperti pada gambar 2-24.³⁴



Gambar 2-24 sistem hybrid

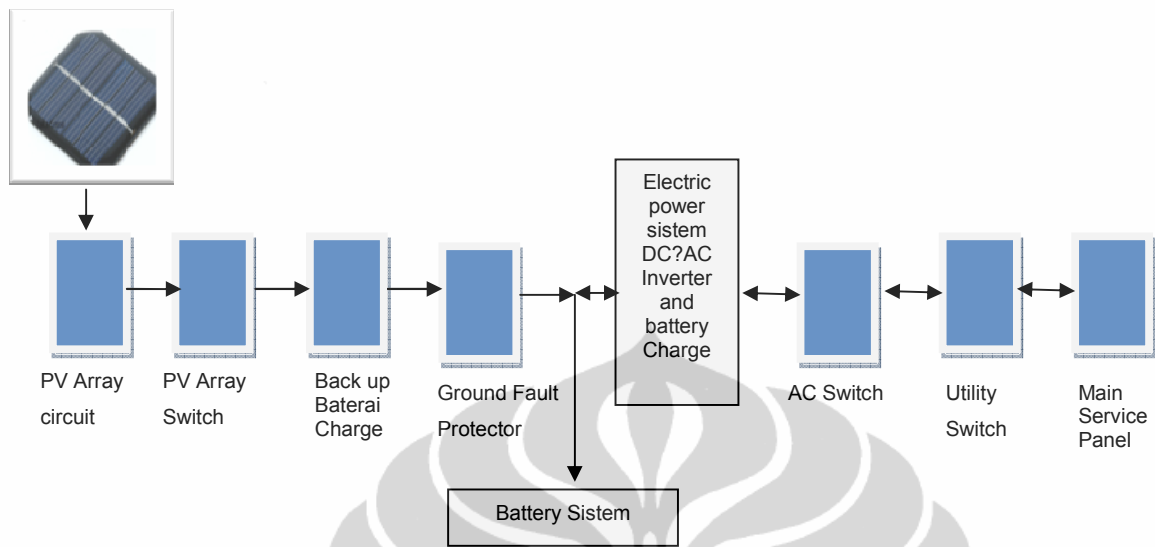
Sumber : www.solarexpert.com

3. Stand Alone Sistem

Pada gambar 2-25 menunjukkan bahwa sistem *stand alone* membutuhkan baterai atau penyimpan daya. Baterai digunakan untuk mengantisipasi pasokan energi yang kurang atau kebutuhan membesar.³⁵

³⁴ www.pvwatts.com/photovoltaics_system

³⁵ www.pvwatts.com.2008



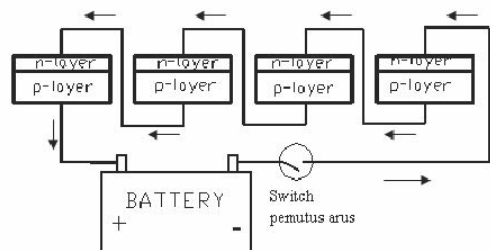
Gambar 2-25 Sistem Stand Alone

Sumber : www.pvwatts.com/photovoltaics_system

2.3.6 Komponen Penunjang Panel Surya

Baterai

Baterai merupakan bagian yang cukup vital pada kendaraan surya dalam hal menyimpan energi listrik berlebih untuk dapat digunakan selanjutnya. Baterai ini umumnya terangkai dari beberapa baterai atau sel dalam suatu *battery pack*. Kapasitas dan efisiensi baterai ini tergantung dari kemampuan baterai menyerap energi dan melepaskan energi. Energi yang diterima *battery pack* berasal dari daya sel surya yang disimpan untuk menghindari *discharge* pada malam hari seperti pada gambar 2-26.



Gambar 2-26. Aliran energi dari solar sel ke baterai

Menurut Carol, ciri khas *battery pack solar car* dapat mengirim energi yang bermanfaat sebesar sebesar 4500 W-h yang setara dengan 1500 W.³⁶ Baterai ini akan lebih efisien jika power yang dilepaskan sedikit atau lamban.

Ada beberapa jenis *rechargeable battery* yang dapat digunakan pada untuk menyimpan energi berlebih yaitu:

1. Lead-Acid
2. Nickel-Metal Hydrid (NiMH)
3. Nickel-Cadmium (NiCad)
4. Lithium-Ion (Li-Ion)
5. Lithium Polimer

Dari kelima jenis baterai ini, dalam modeling dipilih baterai jenis Lithium-Ion dan lead acid. Alasan pemilihan ini terkait dengan berat, kapasitasnya, dan kemudahan perawatan.

Tabel 2-4 Spesifikasi batterai *lead acid battery*

Spesifikasi	Keterangan
Panjang	150 mm
Lebar	65 mm
Tinggi	95 mm
Berat	2,5 kg
Harga	Rp. 140.000
Voltase	12 volt
Arus	7 ampere



Tabel 2-4 di atas menunjukkan bahwa ukuran lead acid battery yang kecil, tidak membutuhkan ruang control yang cukup besar dalam bangunan.

Selain menggunakan *rechargeable battery*, dapat juga menggunakan *accu*. *Accu* mampu menghasilkan tegangan yang besar, tetapi perawatannya cukup merepotkan karena pemeriksaan air *accu* harus dilakukan secara teratur.³⁷

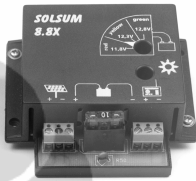
³⁶ Rahman, M. Yani. 2008. *Perancangan Mobil tenaga Surya*. Thesis Departemen Teknik Mesin, UI.

³⁷ Hasil survey

Inverter

Inverter merupakan komponen penunjang untuk mengubah aliran DC menjadi AC. Inverter pada pasaran memiliki ukuran dan kemampuan yang bervariasi. Salah satu contohnya adalah *Battery Charger Regulator*.

Tabel 2-5 Spesifikasi inverter

Spesifikasi	Keterangan	
Panjang	85 mm	
Lebar	98 mm	
Tinggi	34 mm	
Berat	112 g	
Harga	Rp. 180.000	
Voltase	12 volt	
Arus	8 ampere	

Tabel 2-5 menunjukkan dimensi inverter yang cukup kecil dengan berat 112 gr. Data lengkap komponen *battery charger regulator* (BCR) dijelaskan di lampiran. Berdasarkan ukuran tersebut dapat diketahui bahwa ruang kontrol untuk inverter dan baterai tidak terlalu besar seperti pada gambar 2-27.



Gambar 2-27 Ruang kontrol inverter dan ruan penyimpanan (baterai)

2.4 Building Integrated Photovoltaics (BIPv)

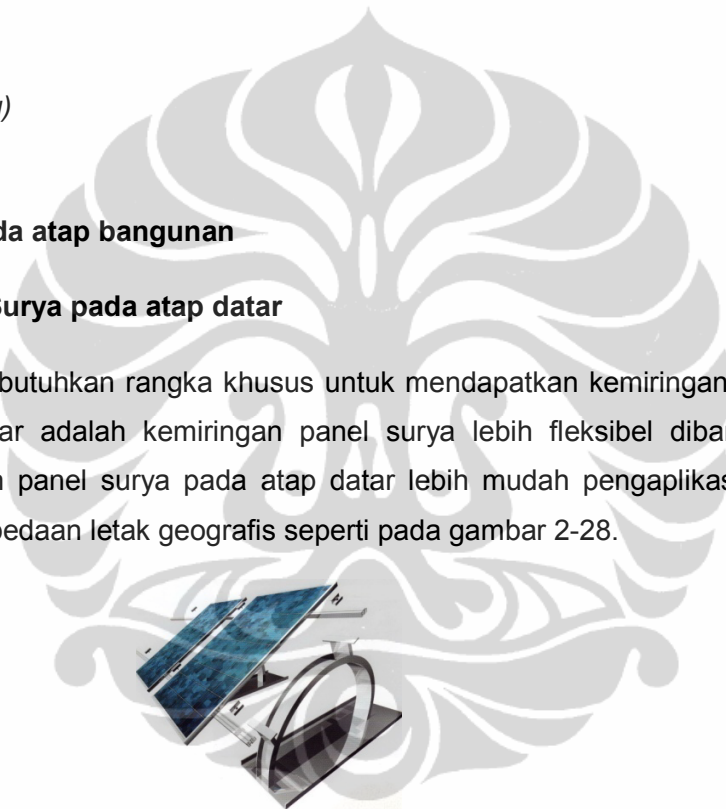
Building integrated photovoltaicss merupakan pengembangan pemanfaatan panel surya pada bangunan sebagai sumber energi untuk bangunan. Panel surya pada bangunan bisa dimanfaatkan pada empat pilihan utama:³⁸

1. Atap datar
2. Atap miring
3. Fasade
4. Teritisan (*Shading*)

2.4.1 Panel surya pada atap bangunan

Pemasangan Panel Surya pada atap datar

Atap datar membutuhkan rangka khusus untuk mendapatkan kemiringan yang optimal. Keuntungan atap datar adalah kemiringan panel surya lebih fleksibel dibandingkan atap miring.³⁹ Pemanfaatan panel surya pada atap datar lebih mudah pengaplikasian di daerah manapun dengan perbedaan letak geografis seperti pada gambar 2-28.



Gambar 2-28 pemasangan panel pada atap datar

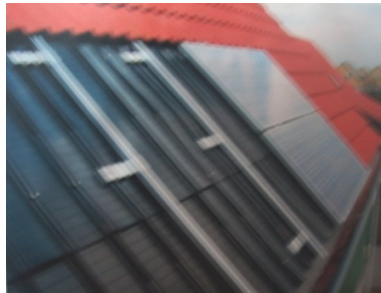
Pemasangan Panel Surya pada atap miring

Atap miring tidak membutuhkan rangka khusus untuk pemasangan panel surya. Kerugian atap miring adalah kemiringan panel surya tidak flexible melainkan mengikuti kemampuan kemiringan untuk bahan penutup atap.⁴⁰

³⁸ Prasad, Deo.2005. *Designing with solar panel*. Images publishing: Sydney

³⁹ Prasad, Deo.2005. *Designing with solar panel*. Images publishing: Sydney

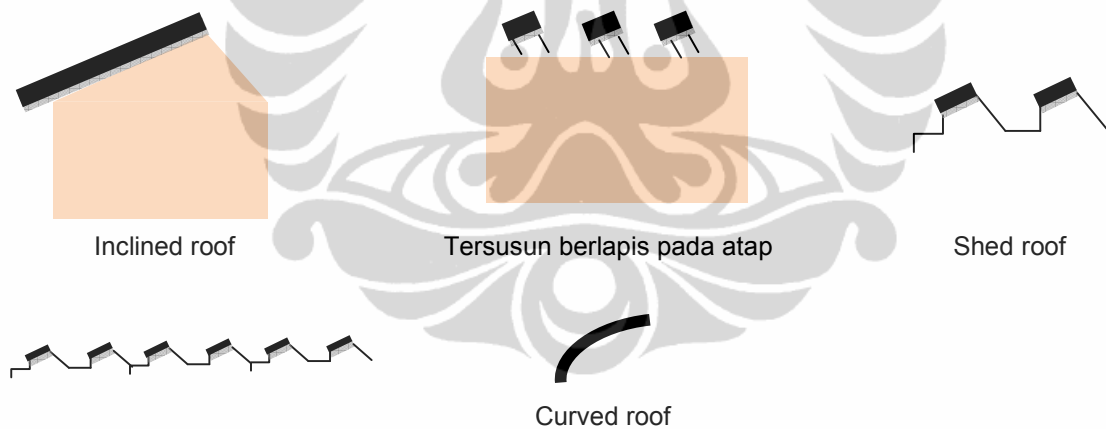
⁴⁰ Prasad, Deo.2005. *Designing with solar panel*. Images publishing: Sydney



Gambar 2-29 pemasangan panel pada atap miring

Pilihan pemasangan sel surya pada atap bangunan

Pemasangan sel surya ataupun panel surya pada atap dapat dilakukan dengan beberapa cara, seperti pada gambar 2-30. Untuk bangunan Indonesia dengan tipe atap pelana atau jurai bisa menggunakan tipe inclined roof. Tetapi untuk bangunan perkantoran dengan atap datar dapat menggunakan tipe tersusun berlapis pada atap.



Gambar 2-30 pilihan pemasangan sel surya pada atap bangunan

2.4.2 Panel surya pada fasade bangunan

Panel surya juga dapat dipasang pada fasade dan *sun shading*. Sel surya yang tersusun tidak dalam satuan panel lebih banyak digunakan karena lebih fleksibel penempatannya pada

elemen fasade dan *sun shading* bangunan.⁴¹ Berikut adalah contoh pemasangan sel dan panel surya pada *sun shading*.

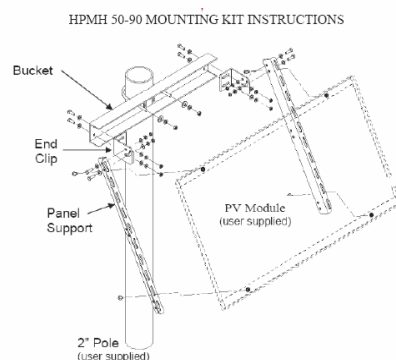


Gambar 2-31 University of Erlangen

Gambar 2-31 menunjukkan sistem pemasangan panel surya sebagai sun shading. Panel surya disusun dengan tipe *horizontal parallel overhang*.

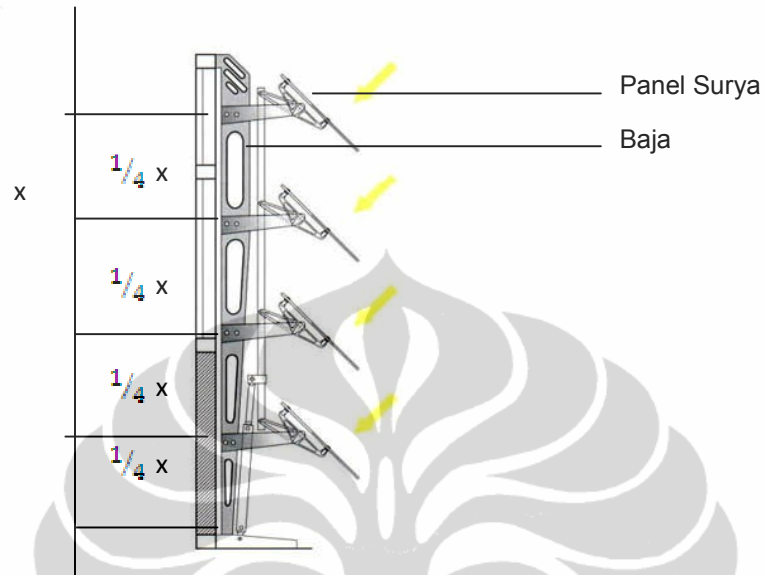
Konstruksi Panel Surya Sebagai Sun Shading

Panel surya dapat digunakan sebagai sun shading dengan sistem mengikuti pergerakan matahari ataupun tetap. Pada gambar 2-32 menunjukkan sistem pembautan panel surya pada rangka baja.. Gambar 2-33 terlihat bahwa jarak untuk antar panel surya yang disusun parallel dibagi empat dari total ketinggian fasade. Sedangkan gambar 2-34 menunjukkan sistem konstruksi panel surya dengan menggunakan rangka baja setinggi permukaan fasade

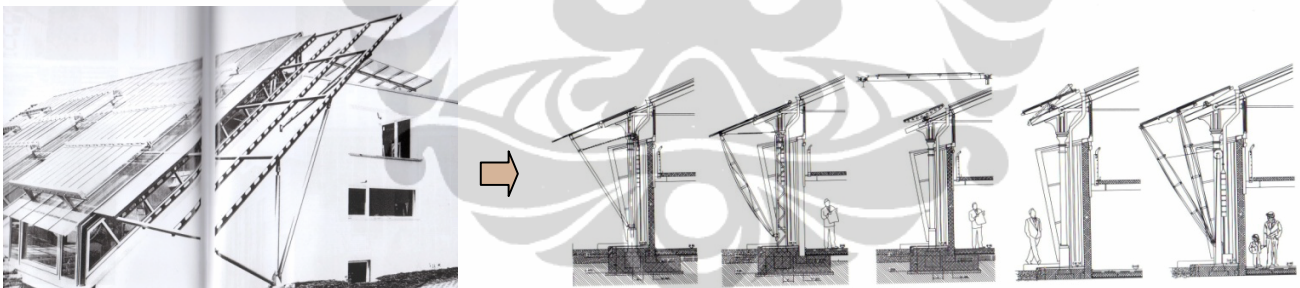


Gambar 2-32 Instruksi Pembautan panel surya

⁴¹ Prasad, Deo.2005. *Designing with solar panel*. Images publishing: Sydney



Gb.2-33 Adjustabel tilt PV shading



Gambar 2-34 sistem pemasangan panel surya sebagai *sun shading* dengan tipe *solid overhang* dan *inclined wall*

Sistem pemasangan panel surya sebagai *sun shading* ataupun pada atap bisa mengikuti system pemasangan sesuai gambar 2-35. Panel surya ditopang oleh rangka baja yang membentuk sudut tertentu. Setiap rangka menopang satu panel.⁴²

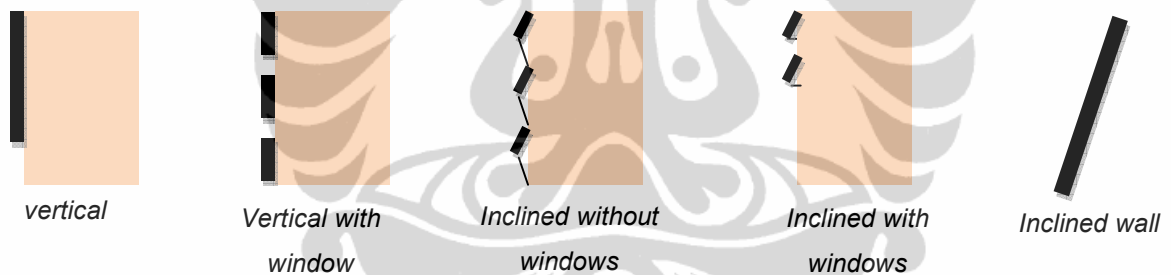
⁴² Humm, Othmar.1993. *Photovoltaics in Architecture*Birkhauser Verlag:Basel



Gb. 2-35 Sistem pemasangan panel surya sebagai sun shading dan atap datar

Pilihan pemasangan sel surya pada fasade dan *sun shading* bangunan

Dalam pemasangan sel surya ataupun panel surya pada fasade dapat dilakukan dengan beberapa cara, seperti pada gambar 2-36.⁴³



Gambar 2-36 pilihan pemasangan sel surya pada fasade bangunan

Berdasarkan gambar konstruksi di atas dan tipe *sunshading* yang telah diurai sebelumnya, maka pada *engineering center*, panel surya dapat digunakan sebagai *sun shading* dengan sistem *inclined with windows*, *inclined wall* yang dikombinasikan dengan tipe *solid overhang* atau *louvered paralel overhang*.

⁴³ Humm, Othmar. 1993. *Photovoltaics in Architecture* Birkhauser Verlag: Basel

2.5 Penelitian Sebelumnya

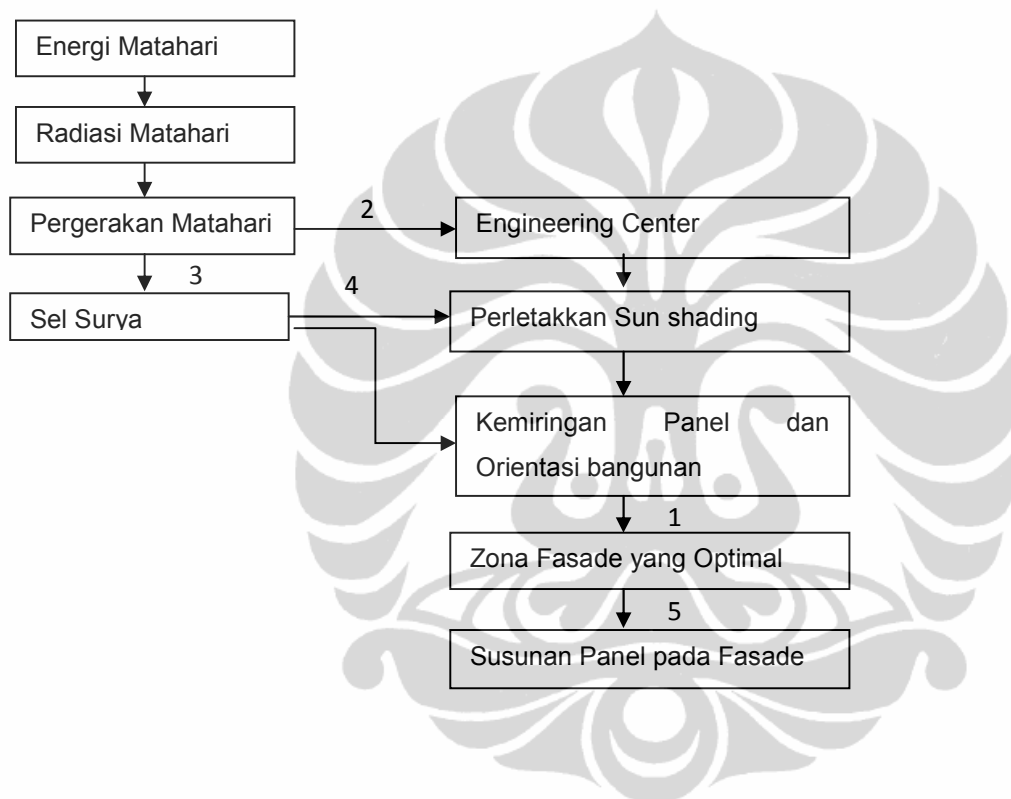
1. Nurhamdoko Boni, Thesis magister Arsitektur, Institut Teknologi Bandung, 1999.
“Penelitian mengenai struktur atap dan kemiringan bidang atap yang optimal untuk aplikasi *photovoltaics* ditinjau dari segi ekonomi pada rumah susun.”
Hasil Penelitian:
 - a. Kemiringan optimal bagi panel surya adalah 25°
 - b. Radiasi surya untuk orientasi barat-timur lebih besar daripada utara-selatan.
2. Patricia Dewi, Thesis magister Arsitektur, Institut Teknologi Bandung, 2005
“Optimasi penggunaan panel *photovoltaics* ditinjau dari aspek ratio bangunan serta orientasi dan konfigurasi atap bangunan hunian bertingkat.”
Hasil penelitian:
 - a. Aspek ratio yang paling mendukung kinerja panel surya adalah 1:2,33
 - b. Orientasi barat-timur menghasilkan energi paling besar.
 - c. Atap dengan orientasi tunggal, kinerja panel surya yang paling optimal terhadap orientasi utara.
 - d. Atap dengan orientasi sudut ganda lebih maksimal pada orientasi barat-timur.

2.6 Kerangka Teori

Berdasarkan uraian mengenai teori pergerakan matahari, teori sun shading, photovoltaics component derate factors dan sistem pemasangan sel surya, maka teori yang digunakan berkaitan dengan optimasi kinerja panel surya sebagai sun shading:

1. Teori horizontal device – solid overhang dan parallel overhang device
2. Radiasi Matahari – besar radiasi yang ditangkap sel surya hanya 15% dari total radiasi ke permukaan bumi.
3. Pergerakan Relatif Matahari – posisi matahari sepanjang tahun untuk daerah Jakarta dan Depok
4. Component Derate Faktors – faktor yang mempengaruhi kinerja panel surya
5. pemasangan sel surya – sistem inclined with windows dan inclined walls.

Teori-teori tersebut saling berhubungan seperti pada alur teori berikut ini:



Berdasarkan uraian teori yang digunakan seperti pada alur teori di atas, maka hipotesa penelitian ini adalah:

“Bila panel surya sebagai sun shading diletakkan pada kemiringan 25° dengan orientasi utara, maka kinerja panel akan optimal.”