

**PENERAPAN PANEL FOTOVOLTAIK  
TERINTEGRASI PADA FASADE DAN ATAP**

*APPLICATION OF INTEGRATED PHOTOVOLTAICS PANEL  
IN FAÇADE AND ROOF*

Skripsi ini diajukan untuk melengkapi sebagian persyaratan untuk menjadi  
Sarjana Arsitektur di Fakultas Teknik Universitas Indonesia



**M. FIQI RIZAL**

**0404050394**

DEPARTEMEN ARSITEKTUR  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA

DEPOK

2008

# PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya bersungguh-sungguh menyatakan bahwa skripsi dengan judul:

**PENERAPAN PANEL FOTOVOLTAIK TERINTEGRASI  
PADA FASADE DAN ATAP  
(Application of Integrated Photovoltaics Panel in Façade and Roof)**

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi sarjana arsitektur pada program studi Strata-1 Departemen Arsitektur Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang telah dipublikasikan sebelumnya dan pernah digunakan untuk memperoleh gelar kesarjanaan baik di lingkungan Universitas Indonesia, maupun di perguruan tinggi dan institusi pendidikan manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Depok, 16 Juli 2008

Penulis,

**M. Fiqi Rizal**

0404050394

## LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi ini:

Judul:

**PENERAPAN PANEL FOTOVOLTAIK TERINTEGRASI  
PADA FASADE DAN ATAP  
(Application of Integrated Photovoltaics Panel in Façade and Roof)**

Nama mahasiswa:

**M. FIQI RIZAL  
0404050394**

telah dievaluasi kembali dan diperbaiki sesuai dengan pertimbangan dan komentar-komentar para Penguji dalam sidang skripsi yang berlangsung pada hari Rabu, tanggal 2 Juli 2008

Depok, 16 Juli 2008  
Dosen Pembimbing,

**Ir. Siti Handjarinto, M.Sc**

## U C A P A N T E R I M A K A S I H

Puji dan syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat yang diberikan sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Skripsi ini disusun dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan menyelesaikan program Sarjana Jurusan Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Pada kesempatan ini saya ingin menghaturkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. **Allah SWT** yang telah memberikan kesempatan dan kemudahan kepada penulis dalam mengerjakan skripsi ini. Semua ini karena-Mu.
2. **Ir. Siti Handjarinto, M.Sc** selaku dosen pembimbing yang selalu bersedia memberikan ilmu pengetahuannya selama membimbing penulis.
3. **Ir. Hendrajaya Isnaeni, M.Sc, Ph.D** selaku koordinator mata kuliah Skripsi.
4. **Ir. A. Sadili Somaatmaja, M.Si** dan **Ir. Sukisno, M.Si** selaku dosen penguji pada sidang skripsi. Terima kasih atas saran dan masukan-masukannya.
5. **Dr. Ir. Emirhadi Suganda, M.Sc** selaku pembimbing akademis yang memberikan masukan mengenai mata kuliah yang telah saya ambil.
6. **Papa Rizal** dan **Mama Sri** di Padang yang selalu memeberikan semangat, doa, serta dukungan baik moril maupun materiil tiada henti. Terima kasih kepada papa dan mama sehingga fiqi dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini.
7. **Uni Nova** dan **Kevin** di Padang yang selalu menelepon, memberi semangat dan dukungan kepada saya. Makasih ya uni, udah sabar mendengar keluhan-keluhan fiqi waktu nulis skripsi. Makasi juga atas sejumlah uang yang dikirimin buat fiqi, hehe. Love u.
8. **Uda Fadhly, Kak Rini** dan **Nadine** yang telah memberikan tumpangan tempat tinggal buat fiqi di Jakarta, selalu memberi dukungan dan semangat. Makasi banyak ya, maaf kalo ngerepotin karena suka minjem mobil dan menghabiskan makanan, hihi. Love u.

9. **Uwo, Om, Tante, dan semua sepupu** di Padang dan Jakarta yang tiba-tiba semuanya memberikan dukungan dan doa sehari sebelum sidang skripsi melalui sms. **Enek** yang sedang sakit dan dirawat di rumah sakit yang memberikan dukungan moril ke fiqi melalui telepon sehari sebelum sidang skripsi. Huhu, terharuuu. Makasi banyak yaaa, love u all.
10. **Arsitektur UI 2004**. Terimakasih atas perjuangannya selama ini. Gak kerasa udah 4 taun, udah mau lulus aja.
11. **Semua peserta Skripsi genap 2008**, kapan nih nilai keluar? Deg-degan gak sih lo pada?
12. **Mayang, Mussa, Daija, Calo, Berli, Tasya, Terry** dengan geng-nya yang akhir-akhir ini bertambah eksis. Kikikiki. Makasi ya udah selalu nerima gw di dalam elo semua. Gw salut dan seneng ama lo bertujuh. ☺
13. **LiKur dan Yudis**. Teman sekelompok pembimbing skripsi Ibu Joko. Makasih banget dah bareng-bareng. kur, finally it's over lho. hehe. Ayo dis, semangat, teruskan perjuangan skripsi lo!!
14. **Adi, Ugi, Rully, Likur, Ahmmad, Icha, Tya**. Teman sekelompok pas sidang skripsi.
15. **Teman teman sekelompok Perkot**, Tasya, Lintang, Irma, Lusi, Rizki. Hahahaha gimana? Enak gak perkot? Setelah melihat nilainya sepertinya enak-enak aja yaaa. Hihhi
16. **Teman teman KP di POPO DANES BALI**, yang jumlahnya 28 orang. Makasih banyak atas dukungan dan semangatnya. Selamat bagi yang udah lulus duluan. Udah setaun yang lalu lho, kangeennnn abeeessss, ayo kita reunion lagi di Bali. Apa di jakarta aja ya?....
17. **Teman teman di Arsitektur UGM**, makasih atas info-info yang diberikan tentang topik skripsi. Berguna banget lho.
18. **Mbak Lilik S2 Arsitektur UI** dengan topik tesis yang sama ama topik skripsi gw. Makasih atas info-info yang diberikan dan buku yang dipinjamkan ke gw. Berguna banget untuk penulisan skripsi ini.
19. **Teman teman seperjuangan angk. 2004 dari Smansa Padang**. Yang udah nemenin chatting, sms, dan nelpon. Apakah kita semua akan bersama-sama lulus pada semester ini? ☺

20. **Teman teman main waktu kecil** di Villa Hadis yang sekarang semuanya udah kuliah di Bandung!!! Makasi atas dukungannya. ☺
21. **Semua teman teman gw di dunia maya**, dimanapun berada, kenal atau nggak kenal. Makasih udah nemenin gw chatting dikala gw bosan dan pusing ama skripsi. ☺
22. **Putra, manajemen & komputer Binus '07**. Teman gila-gilaan (ngegosip, chatting, ngobrol, belanja, jalan, nonton, makan,dll) gw selama semester yang cukup santai ini. Thanks banget yaaa paaaaaa.. ☺☺
23. **Pondok Elka kutek**. Tempat gw hidup 3 tahun selama kuliah di Ars.UI. 2 bulan terakhir disana merupakan 2 bulan pertama penulisan skripsi ini sebelum pindah ke rumah Uda Fadhly.
24. **Semua gadgets gw** yang selalu setia menemani gw selama ini dikala jenuh.
25. **Wiradha dan semua pengurus Perpustek dan Perpustur**.
26. **Para Staf dan Karyawan Arsitektur UI**.
27. **Semua pihak** yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu, yang telah ikut membantu dan memberikan dukungan dalam penulisan skripsi ini.

Saya menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Namun besar harapan penulisan ini dapat memberikan manfaat bagi yang membacanya.

Depok, Juni 2008

**M. Fiqi Rizal**

## DAFTAR ISI

<b>JUDUL</b>		i
<b>PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI</b>		ii
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>		iii
<b>UCAPAN TERIMA KASIH</b>		iv
<b>DAFTAR ISI</b>		vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b>		ix
<b>ABSTRAK</b>		xi
<b>ABSTRACT</b>		xii
<b>BAB I</b>	<b>PENDAHULUAN</b>	1
I.1	Latar Belakang	1
I.2	Tujuan Penulisan	2
I.3	Lingkup Pembahasan	3
I.4	Skema Pembahasan	3
I.5	Metode dan Sistematika Penulisan	3
<b>BAB II</b>	<b>TEORI ENERGI MATAHARI</b>	5
II.1	Matahari	5
II.2	Iklim	7
II.3	Cahaya Matahari	9
II.4	Energi dan Radiasi Matahari	10
<b>BAB III</b>	<b>TEORI FOTOVOLTAIK</b>	18
III.1	Pemanfaatan Matahari Aktif dan Sistem Solar	18
III.2	Fotovoltaik	23
III.3	Bangunan dengan Fotovoltaik Terintegrasi	28

<b>BAB IV</b>	<b>STUDI KASUS DAN ANALISIS</b>	37
IV. 1	Netherlands Energy Research Foundation (ECN) – Building 31	37
	IV.1.1 Data Umum	37
	IV.1.2 Analisis	41
IV. 2	The Solar Office, Doxford International Business Park	49
	IV.2.1 Data Umum	49
	IV.2.2 Analisis	51
IV. 3	Kesimpulan Studi Kasus	58
<b>BAB V</b>	<b>KESIMPULAN</b>	61
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		63
<b>DAFTAR ISTILAH</b>		67
<b>LAMPIRAN</b>		68

## D A F T A R G A M B A R

No.	Judul Gambar	Hlm.
1.	Lintasan orbit bumi mengelilingi matahari	5
2.	Posisi terjauh dan terdekat kutub utara	6
3.	Sudut altitude dan azimuth	6
4.	Posisi matahari terhadap bumi pada beberapa waktu dalam periode tahunan.	8
5.	Suhu permukaan matahari menentukan jenis radiasi yang akan dipancarkan.	10
6.	Pelepasan energi radiasi matahari yang sampai ke bumi.	11
7.	Diagram pergerakan harian matahari pada latitude 36° utara.	16
8.	Komponen pengumpul.	19
9.	Komponen penyimpan.	19
10.	Komponen penyalur.	20
11.	Komponen pengangkut.	20
12.	Komponen pembantu.	20
13.	Komponen pengontrol.	20
14.	Cara kerja sel fotovoltaik.	24
15.	Sel <i>Monocrystalline silicon</i> .	25
16.	Sel <i>Polycrystalline silicon</i> .	25
17.	Sel <i>Thin Film</i> .	26
18.	Ragam jenis dan warna sel fotovoltaik.	26
19.	Aplikasi sel fotovoltaik berwarna pada fasade balkon bangunan Kollektivhuset di finlandia.	27
20.	Berbagai bentuk sel fotovoltaik.	27
21.	Panel fotovoltaik.	27
22.	Susunan panel fotovoltaik ( <i>array</i> ).	28
23.	Sel-Panel-Array fotovoltaik.	28
24.	Ilustrasi <i>Stand alone</i> dan <i>Hybrid system</i> .	29
25.	Ilustrasi <i>Grid connected system</i> .	29
26.	Ilustrasi <i>Curtain wall</i> .	30
27.	Ilustrasi <i>Sawtooth curtain wall vertical</i> .	30
28.	Ilustrasi <i>Hybrid photovoltaics awning system</i> .	31
29.	Ilustrasi <i>Hybrid photovoltaics light shelf system</i> .	31
30.	Ilustrasi <i>Photovoltaics accordion curtain wall</i> .	31
31.	Ilustrasi <i>Photovoltaics sawtooth curtain wall</i> .	32
32.	Ilustrasi <i>Photovoltaics sloping curtain wall</i> .	32
33.	Ilustrasi <i>Photovoltaics stepped curtain wall</i> .	32
34.	Ilustrasi <i>Photovoltaics structural glazing</i> .	33
35.	Ilustrasi <i>Independent photovoltaics rooftop array</i> .	33
36.	Ilustrasi <i>Photovoltaics sawtooth roof monitors</i> .	34
37.	Ilustrasi <i>Photovoltaics skylight</i> .	34
38.	Ilustrasi <i>Photovoltaics roof panels</i> .	34
39.	Ilustrasi <i>Photovoltaics atrium</i> .	35

40.	Ilustrasi <i>Flexible/ Metal photovoltaics substrates</i> .	35
41.	Tabel perbandingan yang berkaitan dengan teori I dan II.	36
41.a	Pemasangan panel yang tidak rapat dapat mengganggu sistem oleh salju yang mencair.	36
42.	Model 3 dimensi dari ECN building 31.	37
43.	Posisi ECN building 31 diantara bangunan riset lain.	39
44.	Bangunan ECN 31 sebelum direnovasi.	40
45.	Diagram penyinaran matahari waktu tahunan di Westerduinweg-Belanda.	41
46.	Diagram perjalanan matahari ( <i>sunpath</i> ) pada tanggal 1 april 2008 di Westerduinweg-Belanda pada posisi latitude 52,47° utara	42
47.	Posisi bangunan ECN 31 dan orientasi peletakan panel fotovoltaik terhadap utara.	43
48.	Peletakan panel fotovoltaik pada fasade dengan <i>hybrid awning system</i> .	43
49.	Ilustrasi <i>Hybrid awning system</i> .	43
50.	Penyusunan panel fotovoltaik pada fasade juga sebagai <i>sun shading</i> .	44
51.	Ilustrasi <i>Grid connected system</i> .	44
52.	Potongan melintang bangunan ECN 31 & detail.	45
53.	Jarak antara panel fotovoltaik yang mengikuti lebar ruang di belakangnya.	45
54.	Susunan vertikal panel fotovoltaik dan potongan pemasangan panel <i>fixed</i> dan <i>moveable</i> .	46
55.	Bagian dalam bangunan menghadap ke jendela.	46
56.	Panel fotovoltaik yang terintegrasi di atap melengkung.	47
57.	Ilustrasi <i>Flexible/ Metal photovoltaics substrates</i> .	47
58.	Bangunan ECN31 sebelum dan sesudah di renovasi dan ditambahkan fotovoltaik.	48
59.	Tampak depan bangunan <i>The Solar Office</i> .	49
60.	Denah tapak lokasi.	50
61.	Diagram penyinaran matahari waktu tahunan di Sunderland-Inggris.	51
62.	Diagram perjalanan matahari ( <i>sunpath</i> ) pada tanggal 25 april 2008 di Sunderland-Inggris pada posisi latitude 55° utara.	52
63.	Tampak atas, posisi, massa bangunan dan perjalanan matahari daerah itu.	53
64.	Denah lantai 1 dan sisi bangunan dengan fasade fotovoltaik kemiringan 5°.	53
65.	Ilustrasi <i>Photovoltaics hybrid curtain wall</i> .	54
66.	Kemiringan fasade fotovoltaik dilihat dari perspektif tenggara.	54
67.	Kemiringan fasade fotovoltaik dilihat dari gambar potongan bangunan	54
68.	Panel <i>monocrystalline silicone</i> .	55
69.	Kualitas ruang dalam <i>The Solar Office</i> .	55
70.	Diagram pengaliran listrik dari <i>grid connected system</i> .	55
71.	Potongan dan perspektif ruang dalam yang memperlihatkan kombinasi panel fotovoltaik dan penutup transparan serta konstruksi penopang panel.	56
72.	Tampak depan bangunan <i>The Solar Office</i> .	57
73.	Tabel hasil analisis studi kasus <i>ECN Building 31</i> di Belanda.	58
74.	Tabel hasil analisis studi kasus <i>The Solar Office</i> di Inggris.	59

## ABSTRAK

Matahari memancarkan energi dari radiasi cahayanya. Energi dari pancaran radiasi matahari ini dapat dimanfaatkan bagi manusia di atas bumi ini. Pemanfaatannya dapat dilakukan dengan dua cara yaitu secara aktif dan pasif. Dalam kaitannya dengan energi listrik di dalam bangunan maka energi matahari dimanfaatkan secara aktif dengan cara mengubah energi radiasi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan bantuan *solar cell* atau fotovoltaik.

Penerapannya pada bangunan adalah dengan mengintegrasikan di kulit terluar bangunan seperti atap dan fasade. Pemasangannya sangat bergantung kepada letak geografis suatu wilayah dimana bangunan itu berdiri, karena letak geografis suatu wilayah sangat mempengaruhi efisiensi pancaran energi dari radiasi cahaya matahari. Konsekuensi dari letak geografis suatu wilayah akan berpengaruh kepada pemilihan jenis fotovoltaik seperti jenis sel fotovoltaik, dan teknik pemasangan pada kulit terluar bangunan.

Melalui skripsi ini, pembahasan akan diutamakan mengenai upaya penerapan panel fotovoltaik pada atap dan fasade bangunan dengan memperhatikan dan membuat analisis (studi kasus pada bangunan ECN Building di Belanda dan The Solar Office di Inggris) mengenai kaitan antara konsekuensi dari letak geografis wilayah dan pemilihan fotovoltaik. Serta pengaruh dari jenis, fungsi dan kegiatan yang terjadi di dalam bangunan terhadap penerapan sistem ini. Sehingga penerapan fotovoltaik pada atap dan fasade bangunan ini dapat bekerja dengan efisien dalam menangkap energi dari pancaran cahaya matahari pada setiap bangunan, menciptakan atmosfer positif pada ruang dalam bangunan dan memberikan kualitas visual yang baik pada tampak luar bangunan.

## ABSTRACT

The sun radiates its energy from its light radiation. Energy from sun's radiation could be used by man on this earth. The benefits of it could be applied by two methods, that is active and passive. In its relation with power energy at the building, then the sun energy applied in an active method by converting the sun energy become power energy with the use of solar cell or photovoltaics.

The application of that on the building is integrating it into the outer building skin like façade and roof. The setting of it is extremely depending on the geographical position of a certain area where the building's rise, because the geographical position of a certain area will give an influence to the efficiency of the energy from the sunlight radiation. The consequences of the geographical position will give an influence to the chosen of photovoltaics panel like a chosen of photovoltaics cell and the application techniques into the outer building skin.

Through this thesis, the investigation will be focused at the effort of application of integrated photovoltaics panel on façade and roof with observing and making an analysis (case studies at the ECN building 31 in Holland and The Solar Office building in England) about the relationship between the consequences of geographical position of certain area with the chosen of photovoltaics panel. Along with the influences of genre, function, and the activities which is happened inside the building toward this application's system. So that this application of integrated photovoltaics panel in façade and roof could work efficient in arresting the energy from the sunlight radiation for each building, producing the positive atmosphere inside the room of the building and giving the good visual quality for the building's elevation.

# B A B I

## P E N D A H U L U A N

### I.1 Latar Belakang

Energi matahari pada saat ini merupakan salah satu sumber energi alternatif untuk menggantikan sumber energi fosil. Energi matahari mungkin akan menjadi sumber energi utama di masa depan karena dapat menjawab isu-isu lingkungan seperti pemanasan global, menipisnya ketersediaan sumber energi fosil dan makin tingginya harga minyak mentah dunia.

Energi dari pancaran radiasi cahaya matahari dapat diambil secara bebas. Sumber energi ini merupakan sumber energi yang ideal, berbeda dengan sumber energi konvensional yang tidak ideal yang mempunyai kekurangan yang cukup serius.<sup>1</sup> Sumber energi ini juga ramah terhadap lingkungan karena energi dari pancaran radiasi cahaya matahari ini tidak menimbulkan polusi udara, polusi suara, limbah buang dan selalu tersedia.

Pemanfaatan energi matahari dalam kehidupan kita sehari-hari sebenarnya telah dilakukan sejak dahulu kala, diantaranya untuk memasak, mengeringkan pakaian, dan pada proses fotosintesis tumbuhan hijau. Pemikiran mengenai desain yang mempertimbangkan keberadaan matahari telah ada sebelum masehi yaitu seperti dikemukakan Socrates pada 400 SM, *“In houses that look forward the south, the sun penetrates the portico in winter, while in summer the path of the sun is right over heads above the roof so that there is shade”*. Untuk itu studi mengenai gerakan matahari dan radiasinya serta efeknya terhadap arsitektur dan lingkungan adalah merupakan hal penting bagi seorang arsitek untuk dipelajari pada proses desain. Ini sesuai dengan pendapat yang dikemukakan oleh C.P. Kukreja, *“To design and site a building correctly, an architect must familiarize himself with the position and intensity of the sun at all time of year”*.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Norbert Lechner. Heating, cooling, Lighting: Metode Desain Untuk Arsitektur. Jakarta: PT. RajaGrafindo Persada: 2007: 144

<sup>2</sup> C.P Kukreja, tropical architecture:, New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited. 1978: 1

Dalam kaitannya dengan penghematan sumber energi listrik pada bangunan maka pemanfaatan energi matahari secara aktif yang diterapkan dengan cara mengkonversi energi radiasi cahaya matahari menjadi energi listrik. Konversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik dapat dilakukan dengan penggunaan sel surya atau *solar cell* atau disebut dengan fotovoltaik. Penggunaan fotovoltaik sebenarnya sudah lama diterapkan dalam kaitannya untuk mendapatkan energi listrik seperti penyusunan panel-panel konvensional pada bagian atap ataupun penyusunan di suatu area yang luas untuk PLTS (Pembangkit Listrik tenaga Surya). Namun pada akhir-akhir ini telah muncul penerapan fotovoltaik dengan teknologi baru yaitu terintegrasi dengan bangunan. Pemasangannya dilakukan terintegrasi di kulit terluar bangunan seperti fasade dan atap. Sehingga dengan adanya panel ini, bangunan dapat menghemat sekitar 30-40% dari keseluruhan energi listrik yang dibutuhkan.

Yang menjadi pertanyaan saya sekarang adalah: “Bagaimana letak geografis suatu wilayah dengan iklim yang ia miliki mempengaruhi penempatan panel fotovoltaik pada bangunan?”. “Bagaimana jenis panel, cara pemasangan, dan sistem kerja fotovoltaik yang terintegrasi dengan bangunan?”. “Apakah jenis dan fungsi bangunan mempengaruhi perletakan panel fotovoltaik pada atap dan fasade bangunan?”.

## **I.2 Tujuan Penulisan**

Skripsi ini bertujuan untuk mendalami kaitan antara letak geografis suatu wilayah dan fotovoltaik sehingga mempengaruhi penerapan fotovoltaik yang terintegrasi pada atap dan fasade pada setiap bangunan yang berbeda.

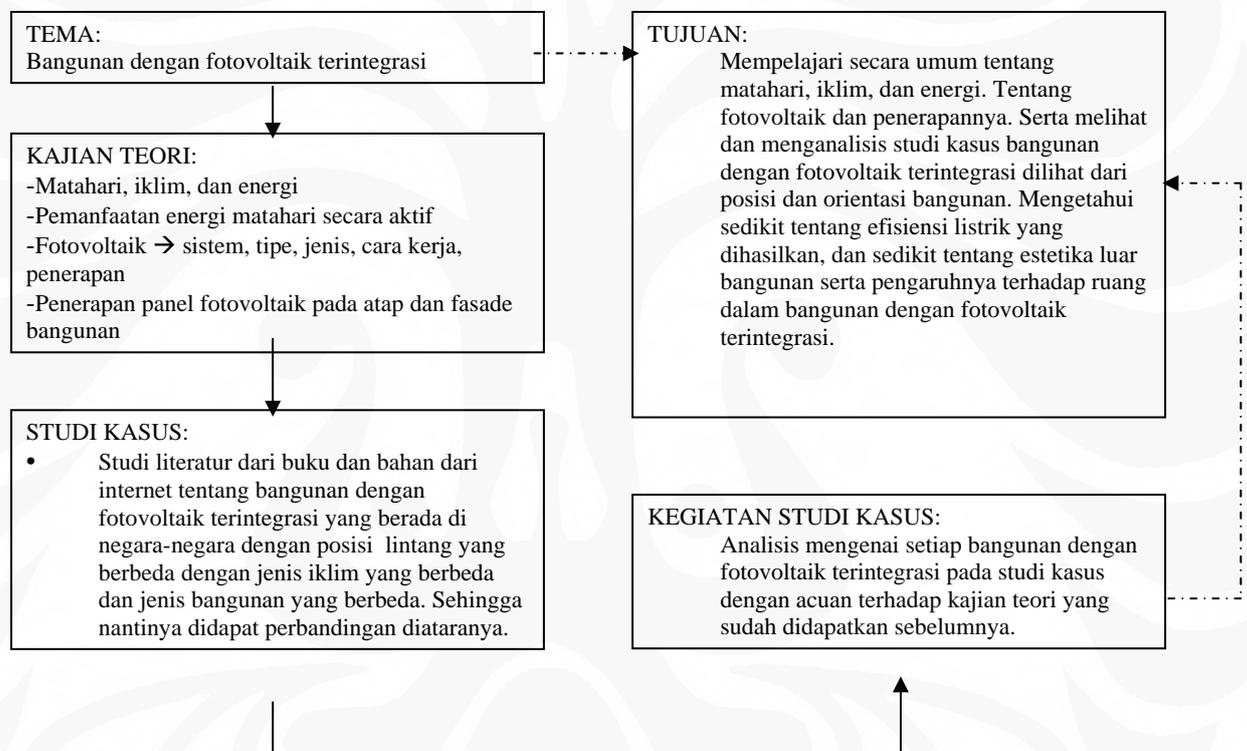
Pendalaman dari letak geografis suatu wilayah dimulai dari memahami posisi bumi terhadap matahari yang akan menimbulkan iklim pada suatu wilayah serta apa yang disebabkan oleh iklim tersebut seperti perjalanan matahari, lama penyinaran, dan besarnya energi yang dipancarkan.

Pendalaman dari fotovoltaik dimulai dari memahami tentang pemanfaatan energi matahari secara aktif serta segala teori mengenai sel surya atau fotovoltaik seperti jenis-jenis, berbagai cara pemasangan terintegrasi pada bangunan, cara kerja, sistem, dan efisiensi energi yang dihasilkan.

### I.3 Lingkup Pembahasan

Pembahasan skripsi ini difokuskan pada pembahasan upaya penerapan fotovoltaik yang terintegrasi dengan bangunan yaitu di kulit terluar bangunan seperti atap dan fasade, panel fotovoltaik sebagai *solar collectors*, dan bagaimana cara pemasangan fotovoltaik dan pengaruhnya pada beberapa bangunan dikaitkan dengan letak geografis dimana bangunan itu berdiri.

### I.4 Skema Pembahasan



### I.5 Metode dan Sistematika Penulisan

Metode penulisan skripsi ini adalah dengan menggunakan landasan teori dan literatur. Kemudian melakukan studi kasus yang dianalisis berdasarkan teori-teori tersebut.

Sistematika penulisan disusun berdasarkan urutan-urutan yang saling terkait, yaitu:

## BAB I PENDAHULUAN

Berisi latar belakang, tujuan penulisan, lingkup pembahasan, skema pembahasan, metode dan sistematika penulisan.

## BAB II TEORI ENERGI MATAHARI

Membahas secara umum mengenai pergerakan bumi baik terhadap matahari maupun berotasi pada sumbu putarnya sendiri. Pengaruh pergerakan matahari yang menyebabkan perbedaan iklim pada setiap belahan bumi. Pengelompokkan iklim pada beberapa belahan bumi dengan ciri yang sama. Perbedaan iklim, revolusi dan rotasi bumi yang menyebabkan perbedaan sudut jatuh cahaya matahari, lamanya penyinaran matahari serta jumlah energi matahari.

## BAB III TEORI FOTOVOLTAIK

Membahas secara umum mengenai pemanfaatan matahari aktif dan sistem solar yang dibatasi hanya pada fotovoltaik sebagai *solar collectors*. Secara umum mengenai fotovoltaik yaitu jenis, sistem, penerapan, cara kerja, dan tipe. Pemasangan panel yang terintegrasi ke bangunan dan pengaruh dari pemasangan itu.

## BAB IV STUDI KASUS DAN ANALISIS

Studi kasus berasal dari bahan literatur. Pendeskripsian studi kasus dilakukan dengan menjabarkan data yang diperoleh dari literatur mengenai bangunan-bangunan dengan fotovoltaik terintegrasi dengan karakteristik masing-masing.

Analisis studi kasus bersumber dari literatur berupa perbandingan studi kasus dan analisis penulis terhadap bangunan terpilih yang dijabarkan dari sumbernya mengacu pada kajian teori di BAB II dan BAB III.

## BAB V KESIMPULAN

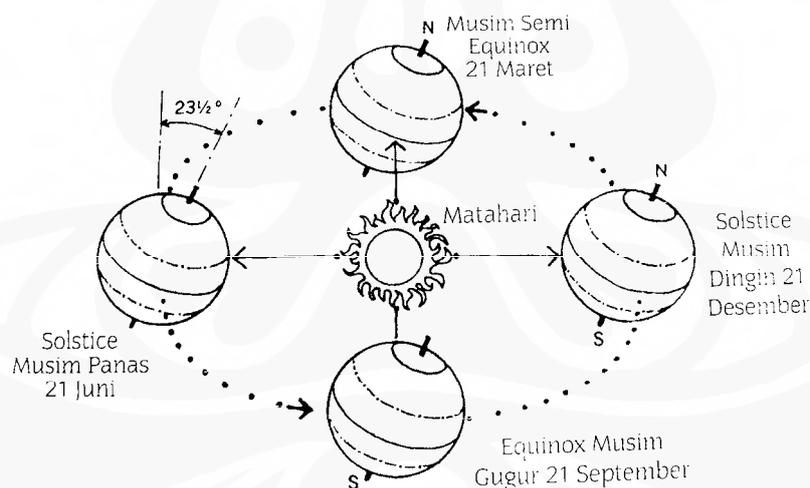
Berisi kesimpulan yang sesuai dengan tujuan penulisan dan merupakan jawaban pertanyaan dari perumusan masalah yang sesuai dengan batasan masalah yang sudah ditetapkan.

## BAB II

# TEORI ENERGI MATAHARI

### II.1 Matahari

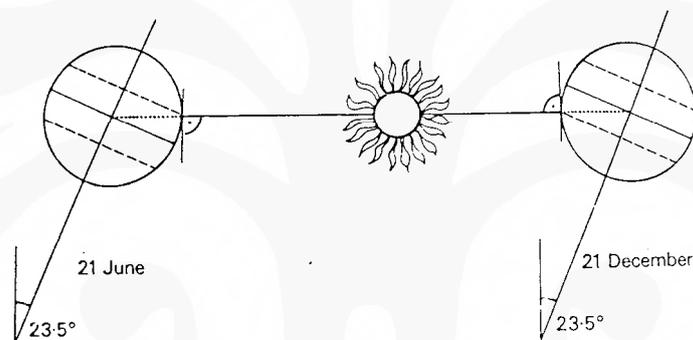
Matahari merupakan suatu reaktor fusi yang sangat besar dimana atom ringan menyatu ke dalam atom yang lebih berat, dan dalam prosesnya terjadi pelepasan energi.<sup>3</sup> Lintasan orbit bumi berbentuk elips bukan lingkaran, ini menyebabkan jarak antara bumi dan matahari tidak selalu sama, bervariasi seiring dengan perputaran bumi mengelilingi matahari. Bumi mengelilingi matahari dengan masa satu tahun untuk satu putaran. Bumi berotasi pada porosnya (Utara-Selatan) dengan masa satu hari per sekali rotasi. Bumi mengelilingi matahari seiring dengan perputaran bumi pada porosnya (utara- selatan). Posisi poros tidak tegak lurus pada bidang orbit, mempunyai kemiringan sudut sebesar  $23,5^\circ$  dari sudut normal. Akibat rotasi, arah dan kemiringan sumbu bumi, sudut datang sinar matahari yang mencapai permukaan bumi bervariasi tiap harinya dan selalu berubah sepanjang tahun dan kemiringan ini juga menyebabkan perbedaan musim dan perbedaan energi radiasi matahari yang diterima di setiap belahan bumi.



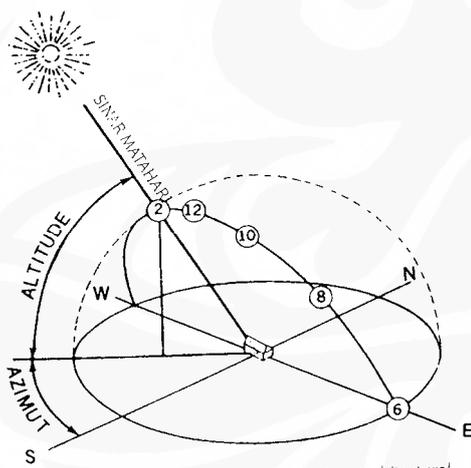
Gambar.1 Lintasan orbit bumi mengelilingi matahari.  
(Norbert Lechner: Heating, Cooling, Lighting: 145)

<sup>3</sup> Norbert Lechner. Heating, cooling. Lighting: Metode Desain Untuk Arsitektur. Jakarta: PT. RajaGrafindo Persada: 2007: 144

Karena kemiringan poros bumi tetap, belahan bumi utara akan menghadap matahari pada bulan juni dan belahan bumi selatan akan menghadap matahari pada bulan desember. <sup>4</sup> Matahari akan berada tepat diatas garis khatulistiwa pada tanggal 21 maret dan 21 september. Kutub utara berada paling dekat dengan matahari pada tanggal 21 juni dan pada tanggal 21 desember merupakan posisi terjauh kutub utara dengan matahari. Kondisi ekstrem terjadi pada saat itu, kutub utara mengalami siang selama 24 jam dan malam selama 24 jam. Mempelajari tingkah laku matahari dan radiasinya merupakan hal yang penting bagi seorang arsitek. Dia harus memahami efek yang ditimbulkan oleh matahari tidak hanya pada arsitektur, tapi juga pada lingkungan tempat bangunan itu berdiri. <sup>5</sup>



Gambar.2 Posisi terjauh dan terdekat kutub utara.  
(Ingersoll Koenigsberger, Manual of Tropical Housing and Building: 4)



Gambar.3 Sudut altitude dan azimuth.  
(Norbert Lechner: Heating, Cooling, Lighting: 150)

Sudut vertikal dimana sinar matahari menyentuh bumi disebut sebagai sudut altitude dan merupakan sebuah hasil perhitungan fungsi lintang geografis, waktu tahunan, dan waktu harian. <sup>6</sup> Prinsip geometris sudut altitude adalah 90 derajat dikurangi posisi garis lintang atau dengan kata lain altitude merupakan sudut vertikal

<sup>4</sup> *Ibid*: 145

<sup>5</sup> C.P Kukreja, tropical architecture:, New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited. 1978: 21

<sup>6</sup> Norbert Lechner. Heating, cooling. Lighting: Metode Desain Untuk Arsitektur. Jakarta: PT. RajaGrafindo Persada: 2007: 146

dari poyeksi sinar matahari. Sudut altitude menjadi konsekuensi dalam dua hal yaitu mempengaruhi iklim dan musim. Pengaruh dari perbedaan iklim dan musim yaitu kepada besar kecilnya radiasi matahari yang diterima pada suatu tempat.

## II.2 Iklim

Iklim atau cuaca rata-rata terutama merupakan fungsi matahari. Kata *climate* berasal dari bahasa Yunani *klima*, yang berarti kemiringan bumi yang respek terhadap matahari.<sup>7</sup> Definisi iklim berdasarkan Webster Dictionary adalah keadaan rata-rata dari cuaca suatu tempat pada periode tahunan...<sup>8</sup>

Iklim juga dapat didefinisikan sebagai keadaan atmosfer yang merupakan kombinasi dari temperatur, uap air, angin, dan cahaya matahari selama bertahun-tahun yang mengalami pengulangan siklus tahunan pada tempat tertentu di permukaan bumi.<sup>9</sup>

Iklim pada suatu tempat dipengaruhi oleh variasi dan kombinasi beberapa elemen. Secara prinsip elemen-elemen iklim yang berkaitan dengan kenyamanan dan desain bangunan adalah radiasi solar, radiasi gelombang panjang, temperature udara, kelembaban, pergerakan udara (angin), dan curah hujan atau salju.<sup>10</sup>

Iklim dibedakan menurut iklim makro dan iklim mikro. Iklim makro adalah keseluruhan kejadian meteorologis khusus di atmosfer dan dipengaruhi oleh kondisi topografis bumi dan perubahan-perubahan peradaban di permukaannya yang berhubungan dengan ruang yang besar seperti negara, benua, dan lautan. Sedangkan iklim mikro berhubungan dengan ruang terbatas, yaitu ruangan dalam, jalan, kota, atau taman kecil.<sup>11</sup>

Berdasarkan garis lintang, iklim di muka bumi diklasifikasikan menjadi 4 daerah iklim, yaitu:

1. Iklim Tropis (*tropical Climate*), daerah yang terletak antara 35°LU-35°LS, terdiri dari iklim tropis lembab dan tropis kering. Pada tipe iklim ini rata-rata

---

<sup>7</sup> Norbert Lechner. Heating, cooling, Lighting: Metode Desain Untuk Arsitektur. Jakarta: PT. RajaGrafindo Persada: 2007: 84

<sup>8</sup> Solar Architecture, Process Architecture Vol.6. Jepang: 1986: 66

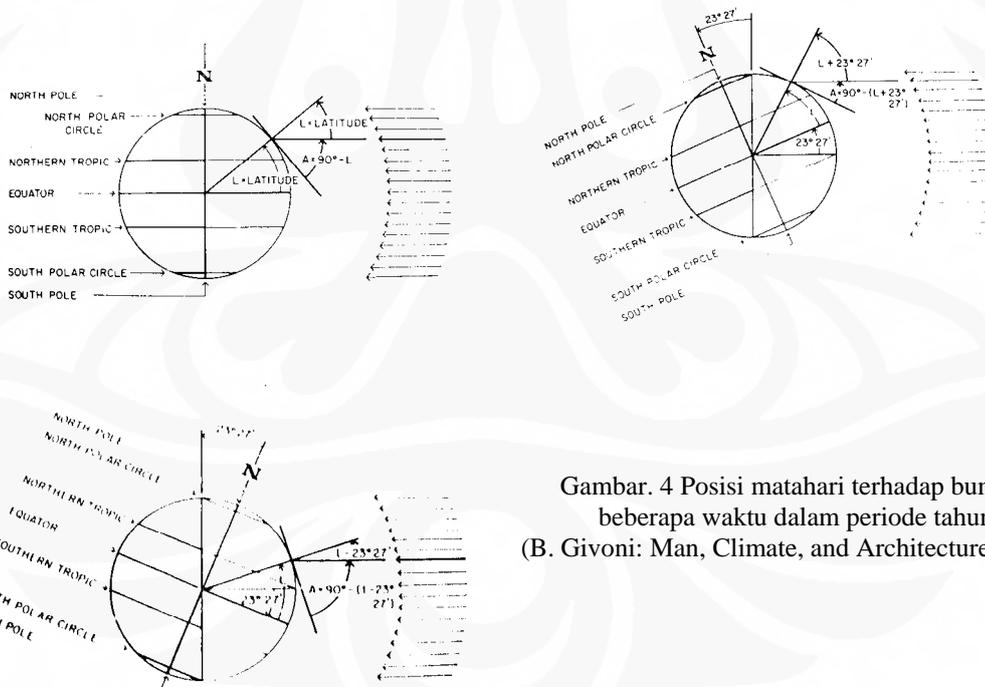
<sup>9</sup> Koeningsberger; Ingersoll; Mayhew; Szokolay. Manual of Tropical House & Building: 3

<sup>10</sup> B. Givoni. Man, Climate, and Architecture, London: Applied Science Publishes LTD: 1976: 1

<sup>11</sup> Liipsmeier, George. Bangunan tropis: 7

suhu rata-rata bulanan berada di atas 18°C. Curah hujan tahunan lebih besar dari 1500mm.

2. Iklim subtropis (*subtropical climate*), terletak antara 30°LU-40°LU dan 30°LS-40°LS, yang terdiri dari iklim subtropis lembab, mediteranian dan daerah pesisir laut bagian barat. Pada tipe iklim ini secara umum memiliki musim panas yang hangat dan lembab, dengan musim dingin yang sejuk. Suhu bulan terdingin di atas 0°C, dan bulan terhangat dibawah 10°C.
3. Iklim lintang tengah (*mid-latitude climate*), terletak antara 40°LU-60°LU dan 40°LS-60°LS, terdiri dari iklim continental lembab dan subartik. Pada tipe iklim ini secara umum memiliki musim panas yang hangat sampai dingin dan musim dingin yang sangat dingin. Bulan dengan suhu terhangat adalah diatas 10°C dan suhu bulan terdingin kurang dari -30°C.
4. Iklim lintang tinggi (*high-latitude climate*), atau disebut juga sebagai iklim polar, terletak antara 60°LU-kutub utara dan 60°LS-kutub selatan, terdiri dari daerah yang tertutup es sepanjang tahun dan tundra. Pada tipe iklim ini secara umum memiliki suhu yang dingin sepanjang tahun, dengan suhu terhangat kurang dari 10°C.<sup>12</sup>



Gambar. 4 Posisi matahari terhadap bumi pada beberapa waktu dalam periode tahunan. (B. Givoni: Man, Climate, and Architecture: 192-193)

<sup>12</sup> Andrew Marsh. The School of Architecture and Fine Arts, The University of Western Australia

### II.3 Cahaya Matahari

Yang dimaksud dengan cahaya apabila ditinjau dari segi ilmu fisika adalah sebagai arus partikel-partikel bagian materi dan atau sebagai arus gelombang elektromagnetik dengan intensitas sebuah cahaya mempengaruhi bentuk cahaya itu sendiri.<sup>13</sup> Bila intensitas besar maka cahaya bersifat sebagai gelombang elektromagnetik. Namun bila intensitas cahaya sangat kecil, pada batas kemampuan penglihatan manusia, maka cahaya bersifat sebagai butiran-butiran kecil atau partikel-partikel yang disebut sebagai foton. Gelombang elektromagnetik terdiri dari gelombang medan listrik dan medan magnet yang saling tegak lurus terhadap arah rambat gelombang, sehingga gelombang elektromagnetik bersifat sebagai gelombang transversal.<sup>14</sup> Sampai saat ini cahaya dapat diklasifikasikan berdasarkan sumbernya yaitu cahaya alami dan cahaya buatan. Cahaya matahari merupakan sumber cahaya yang alami.

Cahaya memiliki sifat-sifat yang pasti dan terukur. Sinar datang sama dengan sudut pantulnya dan terlihat cahaya mengandung spectrum warna dan kemampuan mata untuk melihat suatu objek tergantung dari spectrum warna yang dipantulkan suatu benda.

Misalnya, di daerah tropis, sudut jatuh sinar matahari ke bumi dapat disebut tegak lurus. Maka jumlah sinar persatuan luas ( $m^2$ ) dapat mencapai angka yang besar pula. Pada tanggal 20 maret dan 23 september secara teoritis jumlah tersebut mencapai maksimum, karena pada hari-hari tersebut matahari sedang melintasi khatulistiwa. Dan pada tanggal 21 juni (utara) dan 22 desember (selatan) jumlah tersebut mencapai minimum atau juga maksimumnya. Akibat dari jatuhnya sinar matahari ini, sangat berguna sekali untuk pemanfaatan energi matahari secara aktif yaitu penggunaan *solar cell* atau fotovoltaiik pada bangunan yang dapat mengubah sinar atau energi matahari menjadi energi listrik yang nantinya akan mengurangi konsumsi listrik dalam bangunan sebagian bahkan keseluruhannya.

---

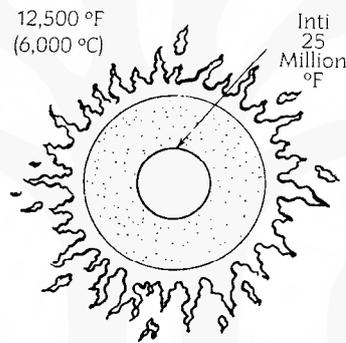
<sup>13</sup> Dipl. Ing. Y. B. Mangunwijaya, Pengantar Ilmu Fisika Bangunan (Jakarta: Djembatan, 2000) : 211

<sup>14</sup> Hassan Shadily, Ensiklopedia Indonesia Jilid 4 (Jakarta: PT. Ikhtiar baru- Van Hoeve, 1990) halm. 569

## II.4 Energi dan Radiasi Matahari

Masalah energi berhubungan dengan masalah proses pemanasan pada bumi.

<sup>15</sup> Energi dapat diartikan sebagai kemampuan untuk melakukan usaha. Energi memiliki beberapa bentuk, yaitu energi potensial, energi suara, energi panas, energi kimia, energi listrik, dan energi radiasi. <sup>16</sup> Energi panas merupakan bentuk energi yang bersumber dari matahari. Energi yang dipancarkan oleh matahari adalah berupa radiasi cahaya dalam bentuk gelombang elektromagnetik pendek yang tidak semuanya dapat ditangkap dengan penglihatan mata telanjang.<sup>17</sup> Reaksi termonuklir pada matahari merupakan sumber energinya, tapi sebenarnya radiasinya dihasilkan oleh lapisan luar matahari yang disebut fotosfer sekitar  $10.000 F^4$ .<sup>18</sup>



Gambar. 5 Suhu permukaan matahari menentukan jenis radiasi yang akan dipancarkan. (Norbert Lechner: Heating, Cooling, Lighting: 144)

Radiasi matahari yang sampai ke bumi melewati ruang hampa udara dengan kecepatan cahaya. Dimana didalamnya terdapat cahaya ditambah komponen-komponen yang sama. Radiasi matahari tersebut mencakup juga radiasi ultraungu (UV) dan inframerah (IR). Ultraungu adalah radiasi dengan panjang gelombang berkisar antara mulai dari ungu sampai dengan ke panjang gelombang terpendek. Hal ini tidak dapat dilihat tapi dapat menyebabkan kerusakan seperti kulit terbakar bahkan kebutaan. Sedangkan inframerah merupakan radiasi matahari dengan panjang gelombang lebih panjang dari cahaya merah. Ini juga tidak dapat dilihat, tetapi lebih panas dibandingkan dengan panjang gelombang yang lain. Dari keseluruhan radiasi

<sup>15</sup> Ibid, hlm: 25

<sup>16</sup> S.V.Szokolay. Solar Energy and Building: 4

<sup>17</sup> Bruce Anderson, Solar Energy: Fundamental Building Design. USA: McGraw-Hill Book Company: 1977: 4

<sup>18</sup> Robert W. Jones & Robert D. McFarland, The Sunspace Primer: a guide for passive solar heating (New York: Van Nostard Reinhold Company. Inc, 1984): 15

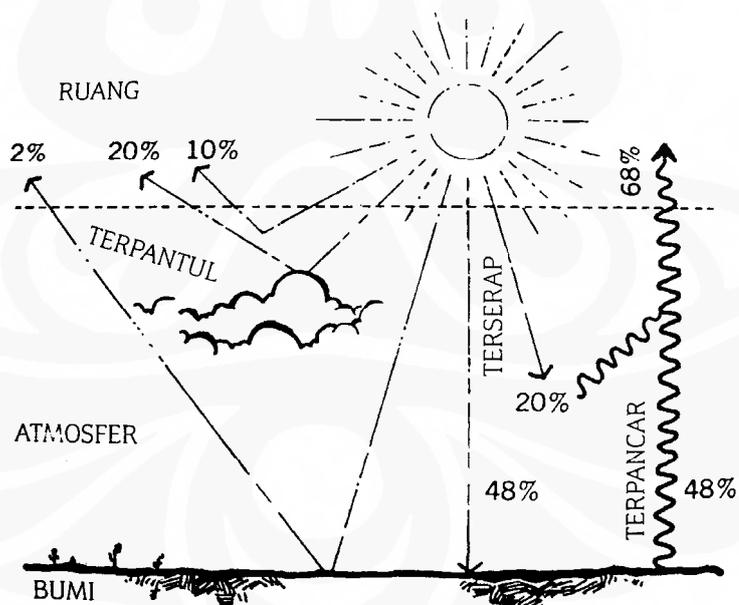
matahari 7% ditentukan oleh radiasi ultraungu, inframerah menentukan 47% dan cahaya yang dapat dilihat 46%.

Hampir semua bentuk energi di bumi berasal dari matahari melalui dua cara yaitu:

- a. tidak langsung, contoh: bahan bakar fosil, bahan makanan hasil fotosintesis dll.
- b. langsung, yaitu berupa cahaya gelombang elektromagnetik

Energi surya yang akan dibahas lebih lanjut disini adalah bentuk energi surya langsung, yang sampai ke bumi melalui radiasi gelombang elektromagnetik. Bagian dari energi surya yang memiliki hubungan langsung dengan arsitektur diantaranya adalah panas, angin dan fotovoltaik.

Menurut teori radiasi matahari, bahwa radiasi sinar matahari yang masuk ke bumi tidak semuanya diserap. Hanya 15% yang diserap oleh permukaan bumi. Ada juga yang dipantulkan dan diteruskan. Energi yang dikeluarkan oleh sinar matahari sebenarnya hanya diterima oleh permukaan bumi sebesar 69% dari total energi pancaran matahari. Suplai energi surya dari sinar matahari yang diterima oleh permukaan bumi sebenarnya sangat luar biasa besarnya yaitu mencapai  $3 \times 10^{24}$  joule pertahun. Jumlah energi sebesar itu setara dengan 10.000 kali konsumsi energi di seluruh dunia saat ini.<sup>19</sup>



Gambar. 6 Pelepasan energi radiasi matahari yang sampai ke bumi.  
(Norbert Lechner: Heating, Cooling, Lighting: 84)

<sup>19</sup> Brian Yulianto, Teknologi Sel Surya untuk Energi Masa Depan.pdf

Matahari secara konstan selalu berada di langit sebagai suatu akibat dari berputarnya bumi terhadap matahari. Kondisi ini menggambarkan bagaimana energi matahari selalu tersedia untuk dimanfaatkan. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi jumlah energi matahari yang diperoleh di permukaan bumi, yaitu:

1. jarak antara bumi dan matahari
2. jarak antara perjalanan pancaran sinar matahari dengan atmosfer
3. sudut pancaran sinar matahari yang mengenai permukaan
4. waktu matahari diatas horizon
5. iklim lokal dan kondisi atmosfer<sup>20</sup>

Matahari memancarkan energi (panas) berupa gelombang elektromagnetik, yang beberapa diantaranya sampai ke permukaan bumi. Bentuk energi yang dipancarkan oleh matahari ini kemudian pemanfaatannya diubah menjadi bentuk energi lain, yaitu menjadi energi kimia, energi listrik, dan energi panas. Perubahan bentuk energi matahari dalam kaitannya dengan pemanfaatan energi matahari pada bangunan salah satunya adalah menjadi bentuk energi listrik.

Energi surya mencapai permukaan bumi melalui dua cara yaitu:

1. radiasi langsung (direct radiation), tergantung pada posisi matahari relatif terhadap permukaan bumi dan kejernihan dari atmosfer.
2. radiasi tersebar (diffused radiation), terutama disebabkan oleh sejumlah kecil dari partikel debu dalam atmosfer dan butiran uap air dalam awan. Jenis radiasi ini semakin besar terjadi pada daerah yang memiliki tingkat polusi udara yang tinggi.<sup>21</sup>

Besar radiasi yang sampai ke bumi juga bervariasi secara geografis. M.I. Budyko mengemukakan bahwa tingginya tingkat radiasi energi surya terjadi pada daerah sekitar khatulistiwa dan mencapai tingkat rendah di daerah sekitar kutub. Energi surya banyak tersedia pada posisi antara 25° LU dan 25° LS.<sup>22</sup> Faktor yang menentukan besarnya radiasi yang diterima pada setiap titik di bumi adalah sebagai berikut:

---

<sup>20</sup> Bruce Anderson, *Solar Energy: Fundamental Building Design*. USA: McGraw-Hill Book Company: 1977

<sup>21</sup> Philip Tabb, *Solar Energy Planning*, (United State of America: McGraw-Hill, 1984.)

<sup>22</sup> Ibid: hal 33

1. posisi matahari berdasarkan waktu pada hari itu
2. posisi matahari berdasarkan musim
3. arah kemiringan lereng lokasi
4. besar sudut kemiringan lereng lokasi
5. ketinggian lokasi dari permukaan air laut
6. situasi sekitar lokasi

Radiasi matahari dapat dikatakan penyebab semua ciri umum iklim dan dapat berpengaruh terhadap kehidupan manusia. Kekuatan efektifnya ditentukan oleh energi radiasi matahari dan pemantulan pada permukaan bumi. Sedangkan berkurangnya radiasi oleh penguapan dan arus radiasi atmosfer.

Terdapat 5 hal yang berpengaruh terhadap bangunan akibat perpindahan panas radiasi matahari yaitu: <sup>23</sup>

- a. Radiasi langsung yang dipancarkan oleh matahari berupa gelombang pendek

Secara langsung (direct) artinya radiasi yang tidak terhamburkan atau terserap oleh uap air dan debu di atmosfer. Ini sampai ke permukaan bumi secara langsung terarah dari matahari. Sehingga disaat cuaca cerah, radiasi matahari yang terjadi adalah radiasi langsung.

- b. Radiasi yang dipantulkan oleh langit berupa gelombang pendek.

Radiasi matahari adalah salah satu yang terpenting yang diberikan oleh alam. Radiasi yang melewati atmosfer akan dihamburkan kembali karena adanya debu-debu dan partikel udara. Sebelum radiasi tersebut sampai ke permukaan bumi, ia akan berkurang intensitasnya karena adanya udara dan sebagian lagi akan diserap oleh atmosfer. Misalnya karbon dioksida, ozon, dan lain-lain. Difusi adalah radiasi matahari yang dihamburkan oleh uap air, gas, dan partikel-partikel di atmosfer. Sampai ke permukaan bumi melalui berbagai arah. Pada cuaca berawan, kebanyakan radiasinya berasal dari radiasi hamburan. Transmisi energi ini akan bervariasi mengacu pada jarak dari pancaran radiasi matahari yang harus melewati atmosfer. Tepat tengah hari ketika matahari tegak lurus dan jaraknya dekat, jumlah energi yang diterima adalah yang terbesar. Pada pagi hari dan sore hari, jaraknya sudah lebih jauh dan sedikit energi yang diterima.

---

<sup>23</sup> Victor Oligay, *Design with Climate: a bioclimatic approach to architectural regionalism* (New York: Van Nostrand Reinhold, 1992)

- c. Radiasi gelombang pendek akibat pantulan dari daerah terbuka sekelilingnya/*surrounding terrain*.

Dapat dikatakan bahwa energi matahari yang jatuh pada permukaan yang horizontal pada waktu pemanasan matahari lebih banyak daripada energi matahari yang diterima pada permukaan yang vertical. Jadi permukaan horizontal yang berada di sekeliling bangunan cukup bagus untuk memantulkan sejumlah panas kepada bangunan. Aliran panas ini, jumlahnya tergantung kepada bagian yang terkena radiasi matahari dan kemampuan bahan permukaan tersebut untuk merefleksikan. Untuk mengurangi pengaruh dari radiasi yang direfleksikan ini, dapat digunakan disekeliling bangunan dengan pemakaian permukaan yang rendah daya refleksinya.

- d. Radiasi gelombang panjang dari permukaan yang terkena panas dari obyek-obyek bangunan sekitar.

Tanah/ permukaan bumi dan obyek yang berada di sekitar bangunan yang terkena pancar tidak seragam, bervariasi dengan cuaca radiasi matahari dapat menyebabkan naiknya temperature. Ini disebut *reflected radiation*. Reflected adalah radiasi langsung atau hamburan yang dipantulkan lagi oleh permukaan tanah atau obyek-obyek yang berada di sekitar seperti pohon dan bangunan termasuk elemen pada bangunan seperti penghalang matahari. Sangat sulit untuk memastikan dengan tepat pengaruh dari radiasi ini karena tidak hanya tergantung dari bahan material bangunan tersebut tetapi juga pertukaran radiasi yang mengakibatkan juga perbedaan variasi temperature.

- e. Radiasi gelombang panjang yang terjadi akibat pertukaran dari bangunan ke langit.

Keseimbangan panas wilayah tergantung kepada rata-rata tahunan dari total radiasi matahari, bumi, dan atmosfer dengan keseimbangan total masuknya radiasi matahari. Keluarnya radiasi, intensitas tidak seragam, bervariasi dengan cuaca dan makin dekat ke kutub-kutub mengalami penurunan sekitar 10 sampai dengan 25%. Radiasi yang keluar merupakan salah satu cara untuk mendapatkan panas pada bangunan, khususnya di daerah iklim tropis kering.

Dari uraian mengenai dampak perpindahan radiasi matahari ke bangunan, dapat disimpulkan selain memperhatikan mengenai orientasi cahaya matahari secara

langsung ke bangunan juga harus diperhatikan mengenai cahaya matahari yang mengenai bangunan karena pantulan dari sekitarnya.

Intensitas dari pancaran radiasi matahari ini sebanding dengan ketinggiannya dari permukaan laut, makin tinggi suatu permukaan bumi maka radiasinya makin besar. Sedangkan pengaruh radiasi matahari terhadap suatu tempat atau bangunan dapat ditentukan oleh durasi radiasi, intensitas dan sudut jatuhnya. Hal ini lebih lanjut merupakan pertimbangan-pertimbangan awal yang dapat dipakai untuk menentukan jenis fotovoltaik serta kemiringan dan orientasi bangunan yang sesuai dengan iklim setempat.<sup>24</sup>

a. Durasi Matahari.

Lamanya penyinaran matahari dapat ditentukan dengan otogral sinar matahari secara fotografis dan termoelektris. Lama penyinaran maksimum dapat mencapai 90% namun tidak mungkin 100%. Durasi penyinaran matahari tergantung kepada musim, garis lintang geografis tempat bangunan serta kepadatan awan. Contohnya, yang menjadi ciri khas daerah tropis adalah waktu remang pagi dan senja yang pendek, dan semakin jauh sebuah tempat dari garis khatulistiwa, maka akan semakin panjang waktu remangnya. Cahaya bermula dan berakhir bila matahari berada di sekitar 18% dibawah garis horizon.

b. Intensitas.

Walaupun telah dijelaskan bahwa intensitas makin tinggi sebanding dengan ketinggian suatu tempat, perlu diperhatikan intensitas radiasi suatu tempat tidak akan pernah sama meskipun berada pada garis lintang dan ketinggian yang sama, hal ini dikarenakan oleh adanya variasi-variasi pada atmosfer setempat. Besarnya intensitas radiasi matahari ini ditentukan oleh energi radiasi absolute, hilangnya energi pada atmosfer, sudut jatuh pada bidang yang disinari serta penyebaran radiasi.

c. Sudut Jatuh.

Sudut jatuh yang ditentukan oleh posisi relatif matahari dan tempat pengamatan bumi tergantung pada: sudut lintang geografis tempat pengamatan, musim dan lama penyinaran harian yang ditentukan oleh garis bujur geografis tempat pengamatan.

---

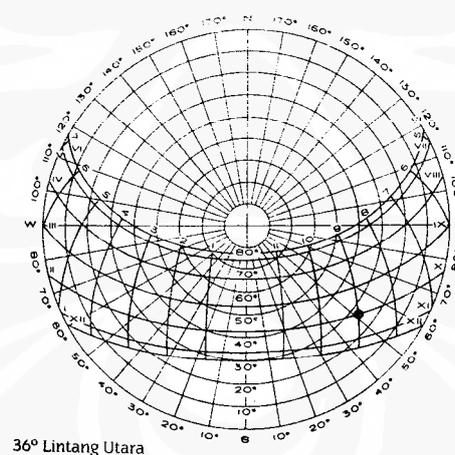
<sup>24</sup> Liipsmeier, George. Bangunan tropis: 21

Sudut yang terjadi akibat matahari yang sampai ke permukaan bumi dengan permukaan itu sendiri disebut sudut datang matahari (sun angle). Sudut yang mendekati  $90^\circ$  menyebabkan konsentrasi dari radiasi matahari yang lebih besar daripada sudut yang kecil dari permukaan bumi. Sebaliknya sudut yang kecil mempunyai intensitas radiasi yang lemah.

Sehingga sudut datang matahari menjadi salah satu faktor penting untuk pemanasan permukaan bumi. Radiasi yang datang dan sampai ke permukaan bumi dengan sudut yang kecil akan menyebabkan lebih banyak radiasi matahari yang masuk ke dalam atmosfer dan sampai ke permukaan bumi jika sudutnya kecil. Semakin dekat ke kutub sudutnya makin kecil dan lebih banyak radiasi yang akan dihamburkan oleh atmosfer sebelum sampai ke permukaan bumi. Begitu sebaliknya dengan yang semakin dekat dengan garis khatulistiwa, berarti sudutnya semakin besar dan makin banyak radiasi matahari yang diterima.

Pada bangunan, radiasi matahari yang diterima oleh bangunan bergantung kepada sudut datang matahari dan ketinggian bangunan, sehingga akan terbentuklah bayangan untuk bangunan yang hanya satu pada suatu tapak. Sedangkan datangnya radiasi matahari bervariasi dengan cuaca, orientasi dinding, waktu, lokasi, dan ukuran dari bangunan disekelilingnya.

Lebih lanjut perlu untuk mengetahui tentang diagram matahari yang berisikan data mengenai gerakan harian matahari setiap tahunnya. Dimana data ini dapat dipakai untuk mengetahui posisi kedudukan matahari di suatu tempat.



Gambar. 7 Diagram pergerakan harian matahari pada latitude  $36^\circ$  utara.  
(S.V Szokolay: Manual of Tropical Housing and Building: 301)

Pertama-tama yang harus ditentukan adalah posisi lintang (sudut *latitude*) suatu daerah. Lalu barulah dibuat diagram perjalanan matahari (*sunpath*). Seperti pada gambar.7, merupakan perjalanan matahari pada lintang  $36^{\circ}$  utara. Dari sana terlihat bahwa matahari cenderung berada di selatan, oleh karena itu daerah yang berada di sekitar lintang tersebut masuk kedalam jenis iklim subtropik. Lalu dengan diagram inilah nantinya bisa ditentukan posisi dan orientasi bangunan (ke arah selatan) yang terintegrasi fotovoltaik.

Sudut jatuh matahari berkurang seiring dengan jauhnya suatu tempat dari khatulistiwa, tetapi sebaliknya hari-hari pada musim panas akan lebih panjang karena efek dari matahari. Jadi maksimum penyinaran matahari harian terjadi antara garis lintang  $30^{\circ}$  dan  $45^{\circ}$ . tetapi nilai rata-rata, berpengaruh juga pada musim dingin, sehingga penyinaran tahunan tertinggi berada di sekitar garis lintang  $15^{\circ}$ . Panas tertinggi dicapai kira-kira 2 jam setelah tengah hari, karena pada saat itu radiasi matahari langsung bergabung dengan temperature udara yang sudah tinggi. Karena itu pertambahan panas terbesar terdapat pada fasade barat daya atau barat laut (tergantung musim dan lintang) dan fasade barat. Hal ini karena temperature tertinggi sekitar 1-2 jam setelah posisi matahari tertinggi dan tempertaur terendah sekitar 1-2 jam sebelum matahari terbit.

Dapat disimpulkan bahwa letak geografis suatu wilayah sangat mempengaruhi energi matahari yang dipancarkan. Radiasi matahari yang diterima dalam hubungannya untuk sistem aktif solar suatu bangunan pada suatu tempat sangat tergantung kepada besarnya sudut matahari yang jatuh pada tempat tersebut yang dapat diketahui dari posisi lintang dan bujur secara geografis suatu tempat. Semakin dekat ke garis khatulistiwa semakin besar sudut matahari dan semakin besar tingkat intensitasnya. Semakin tinggi suatu wilayah dari permukaan laut, semakin efisien dalam menangkap energi pancaran radiasi cahaya matahari. Dari konsekuensi letak geografis, maka selanjutnya dapat diketahui posisi dan orientasi serta kemiringan dari panel fotovoltaik yang paling baik yang akan diletakkan di atap ataupun fasade bangunan.

## BAB III

# TEORI FOTOVOLTAIK

### III.1 Pemanfaatan Matahari Aktif dan Sistem Solar

Sistem aktif merupakan sistem yang memanfaatkan energi surya sebagai alternatif sumber energi pengganti bahan bakar fosil melalui kombinasi peralatan mekanikal yang kompak, contohnya sistem fotovoltaik. Keberhasilan sistem ini tergantung dari kemampuan komponen pengumpul (*solar collector*) dalam mengumpulkan/menangkap energi hasil radiasi surya yang kemudian diubah menjadi energi listrik. Oleh karenanya komponen pengumpul solar (*solar collector*) harus berada pada posisi sudut kemiringan (*tilt*) serta orientasi optimal, yang bervariasi tergantung pada besar sudut lintang dari lokasi dan kebutuhan energi.<sup>25</sup> Untuk itu jalur perjalanan matahari (*sunpath*) pada suatu lokasi perlu dipelajari sebelum menentukan peletakan *solar collector* ini, karena berkaitan dengan ketersediaan radiasi matahari di suatu lokasi.

Pemanfaatan energi matahari secara aktif yaitu dengan mengubah energi matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan komponen *solar cell* baru kemudian digunakan sebagai alat untuk mencapai kebutuhan kenyamanan bagi penghuni bangunan, seperti halnya untuk mesin pendingin, pemanas, penerangan serta alat lainnya.<sup>26</sup>

Sistem solar yang biasa digunakan pada pemanfaatan energi matahari untuk bangunan terdiri dari tiga komponen utama dan tiga komponen tambahan. Komponen utama dari sistem solar yaitu komponen pengumpul (*collector*), komponen penyimpanan (*storage*), dan komponen penyalur (*distribution*). Komponen tambahan, yaitu komponen pengangkut (*transport*), komponen sistem energi pembantu (*auxiliary energy system*), dan komponen pengontrol (*controls*). Masing

---

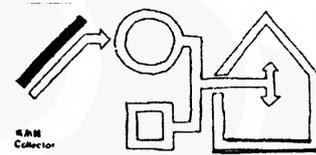
<sup>25</sup> Philip Tabb, *Solar Energy Planning*. United State of America: McGraw-Hill. 1984: 48.

<sup>26</sup> Tri Harso Karyono. *Kemampuan Pendidikan Kenyamanan dan Penghematan Energi*. Jakarta: Catur Libra Optima. 1999: 82-83

masing komponen bisa sangat berbeda di dalam desain dan fungsi, tetapi bisa juga terdapat pada satu elemen yang bias memenuhi beberapa fungsi.<sup>27</sup>

### 1. Komponen Pengumpul (*Collector*)

Komponen pengumpul mengubah radiasi matahari menjadi energi panas dan energi listrik melalui penyerapan pada bidang permukaan yang sesuai. Komponen pengumpul terdiri dari elemen lembaran penutup dan elemen penyerap. Komponen



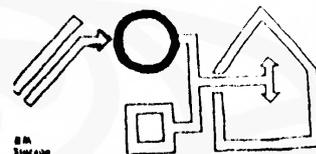
Gambar.8  
Komponen pengumpul

pengumpul biasanya menggunakan lapisan penutup transparan untuk mengurangi transmisi dan radiasi pendinginan pada elemen penyerap. Penggunaan bahan penutup dari bahan material kaca atau plastik adalah karena memiliki kemampuan transmisi terhadap gelombang pendek (*ultraviolet*) dan kemampuan menyerap radiasi gelombang panjang yang baik, yang dapat menangkap panas yang dipantulkan oleh elemen penyerap.

Elemen penyerap dapat berupa material apa saja yang letaknya di bawah lapisan penutup, kriteria elemen penyerap yang baik yaitu mempunyai kemampuan penyerapan yang baik dan tingkat pemantulan yang rendah (menyerap radiasi sinar matahari dan tidak memantulkannya kembali), sebagai penghantar panas yang baik dan umumnya berwarna gelap.

### 2. Komponen Penyimpan (*Storage*)

Komponen penyimpan pada sebuah sistem solar merupakan sebuah *reservoir* yang mempunyai kemampuan menyimpan energi panas. Elemen penyimpanan yang sangat sederhana dapat berupa sebuah lantai beton yang dapat menyimpan dan lalu meradiasi ulang panas yang diterima.

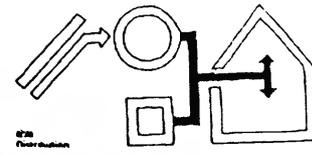


Gambar.9  
Komponen penyimpan

<sup>27</sup> Solar Architecture, Process Architecture Vol. 6. Jepang: 1986: 54

### 3. Komponen Penyalur (*Distribution*)

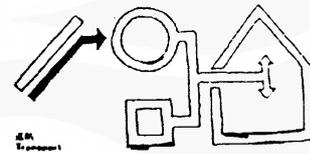
Komponen penyalur adalah komponen yang menerima energi dari komponen pengumpul dan komponen penyimpan dan menyalurkannya ke ruang yang membutuhkan. Contohnya adalah, pendistribusian panas dalam bentuk air hangat atau udara hangat biasanya didistribusikan dengan *ducting* atau pipa dalam sebuah bangunan.



Gambar.10  
Komponen penyalur

### 4. Komponen Pengangkut (*Transport*)

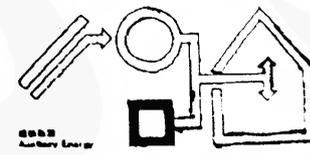
Komponen pengangkut adalah sebuah alat untuk menggerakkan aliran yang membawa aliran energi panas dari dan ke komponen pengumpul dan penyimpan dan juga mengatur aliran ke komponen pengumpul dan penyimpan. Untuk mengangkut aliran energi panas berupa cairan atau gas, komponen dari system ini dapat terdiri dari pompa, *valves* dan pipa, atau berupa kipas, *dampers*, dan *ducting*.



Gambar.11  
Komponen pengangkut

### 5. Komponen Energi Tambahan (*Auxiliary Energy*)

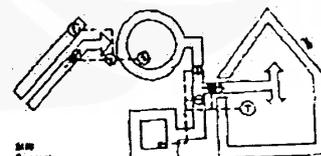
Komponen energi tambahan yaitu komponen yang digunakan pada periode dimana sistem solar tidak dapat dioperasikan karena kondisi cuaca, sehingga temperatur yang dihasilkan dari komponen pengumpul dan penyimpan tidak mampu memenuhi kebutuhan pemanasan dan pendinginan bangunan. Sistem energi tambahan dapat diaktifkan dengan bahan bakar konvensional seperti bensin, gas bumi, dan listrik, atau dengan kayu bakar, gas metan, listrik yang digerakkan oleh angin atau bahkan kombinasinya.



Gambar.12  
Komponen pembantu

### 6. Komponen Pengontrol (*Controls*)

Komponen pengontrol yaitu komponen yang berfungsi untuk merasakan, mengevaluasi, dan merespon fungsi yang dibutuhkan untuk



Gambar.13  
Komponen pengontrol

mengoperasikan sistemnya dengan cara yang diinginkan. Sistem kontrol dapat dioperasikan secara otomatis atau manual.<sup>28</sup>

Pada upaya pemanfaatan energi matahari aktif sering ditemukan beberapa masalah, yaitu:

1. Masalah fisik dan operasional, yaitu bagaimana bangunan dipengaruhi sekitarnya, yaitu masalah *overshadowing*.
2. Masalah visual atau estetika, yaitu bagaimana bangunan mempengaruhi lingkungan.<sup>29</sup>

Untuk mengatasi masalah fisik maka yang perlu diperhatikan adalah orientasi dan kemiringan dari peletakan komponen pengumpul.

1. Orientasi

Komponen pengumpul solar umumnya diletakkan pada elemen bangunan, maka orientasi dari komponen sel solar juga dipengaruhi oleh orientasi bangunan. Posisi sumbu bumi yang tidak tegak lurus terhadap orbitnya, yaitu membentuk sudut  $23.5^\circ$  menyebabkan jatuhnya sinar matahari bervariasi setiap harinya sepanjang tahun. Pergerakan semu matahari terhadap bumi inilah yang mempengaruhi orientasi dari sel solar.

Pengumpul solar selalu didesain untuk bergerak mengikuti jalur pergerakan matahari. Orientasi yang paling optimum untuk posisi bangunan yang berada di utara garis balik utara ( $23.5^\circ$  LU) adalah kearah selatan, tetapi dengan toleransi sekitar  $10^\circ$  ke arah timur atau barat tidak begitu berpengaruh pada jumlah energi yang dikumpulkan, dan toleransi sebesar  $30^\circ$  akan mengurangi sekitar 2% dari energi optimum yang dapat dikumpulkan.<sup>30</sup> Hal sebaliknya terjadi pada posisi bangunan yang berada di selatan garis balik selatan ( $23.5$  LS) dimana posisi matahari cenderung berada di sisi utaranya. Pada daerah yang berada diantara  $23.5$  LU dan  $23.5$  LS orientasi optimum sel solar akan cenderung ke arah selatan antara bulan September-Maret dan ke arah utara antara bulan Maret-September.<sup>31</sup>

---

<sup>28</sup> *Ibid*

<sup>29</sup> *Ibid*: 109

<sup>30</sup> *Ibid*: 111

<sup>31</sup> C.P Kukreja. Tropical Architecture. New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited. 1978: 21

## 2. Kemiringan

Kemiringan dari komponen pengumpul sangat tergantung pada kondisi iklim, karena hal ini dipengaruhi oleh posisi matahari relatif terhadap bumi yang selalu mengalami perubahan. Kemiringan optimal dari komponen pengumpul bervariasi, tergantung pada tujuan pemanfaatan dari komponen pengumpul tersebut. Hal ini tergantung pada musim dan karena itulah maka kemiringan yang terbaik adalah yang sesuai dengan *altitude* dan *azimuth* dari matahari.<sup>32</sup>

Orientasi dan kemiringan dari komponen pengumpul akan meningkatkan sensitivitas komponen pengumpul terhadap jumlah pembayangan. Komponen pengumpul dengan kemiringan yang kecil, memiliki tingkat sensitivitas terhadap penghalang akan lebih kecil daripada yang kemiringannya mendekati tegak (90°). studi kelayakan perlu dilakukan untuk mengetahui kemungkinan dilakukannya sistem ini pada suatu bangunan agar dapat menguntungkan. Faktor yang menentukan studi kelayakan yaitu ketersediaan radiasi matahari pada lokasi dan tingkat kebutuhan energi.<sup>33</sup>

Masalah utama dalam mendesain bangunan dengan sistem aktif adalah penempatan *solar collector* yang besar, yang seringkali menimbulkan permasalahan pada tampak bangunan (integrasi visual). Permasalahan inilah yang harus dapat diselesaikan oleh seorang arsitek.

S.V. Szokolay mengatakan, apabila sebuah gedung didesain dan beberapa *solar collector* terlihat melekat pada gedung tersebut tanpa pengaturan yang baik, sehingga berkesan mendominasi dan berat dan terlihat mengerikan maka hal ini tidak dapat disebut sebagai *solar architecture* melainkan *solar engineering*.

Berdasarkan pembahasan solar architecture oleh S.V Szokolay dalam buku *World Solar Architecture*, dapat disimpulkan bahwa untuk menilai suatu gedung dapat disebut sebagai arsitektur sistem solar aktif apabila memiliki:<sup>34</sup>

1. *integration in performance*; (integrasi dalam unjuk kerja), sistem yang didesain dapat memberikan hasil yang optimum sesuai dengan iklim setempat

---

<sup>32</sup> Bruce Anderson. Solar Energy: Fundamental in Building Design. USA: Mcgraw-Hill Book Company: 1977: 199

<sup>33</sup> Yusi Fitriani. Skripsi Sarjana, Penerapan Arsitektur Surya Pada Menara Perkantoran di Daerah Tropis Lembab. Depok: 1997: 18

<sup>34</sup> Bruce Anderson. Solar Energy: Fundamental in Building Design. USA: Mcgraw-Hill Book Company: 1977: 225.

dan dapat bekerja sama dengan system energi lain, misal PLN, diesel, dan lain sebagainya.

2. *integration of hardware*; dalam arti bahwa perlengkapan sistem (komponen sistem) berada pada posisi yang benar dan mungkin dapat juga berfungsi sebagai elemen gedung, misalkan peletakan *solar collector* pada kulit bangunan seperti di atap (sebagai *roof collector*), pada fasade (sebagai *panel cladding, sun shading, dll*)
3. *visual integration*; sistem selain memasok energi listrik tapi juga memberikan nilai tambah secara estetik pada bangunan.

### **III.2 F o t o v o l t a i k**

Fotovoltaik adalah sel solar yang merupakan sistem aktif solar yang menghasilkan energi tingkat tinggi atau listrik. Efek fotovoltaik merupakan proses dasar dimana fotovoltaik mengkonversi cahaya matahari menjadi listrik. Dalam hal ini sel fotovoltaik lebih spesifik mengambil energi cahaya matahari sebagai sumber energi utama yang dapat diambil secara bebas, bersih dan tidak bersuara. Piranti ini dapat diterapkan dalam berbagai peralatan. Pada umumnya digunakan dalam situasi di mana sumber pembangkit listrik tidak tersedia, digunakan pada satelit yang mengorbit, alat-alat elektronik seperti kalkulator, jam tangan, telepon, radio, dan pompa air. Dalam bidang arsitektur, sel fotovoltaik dimanfaatkan untuk menyuplai energi listrik ke untuk bangunan.<sup>35</sup>

Efek fotovoltaik pertama kali ditemukan pada tahun 1839 oleh fisikawan asal Perancis, *Alexandre Edmond Becquerel*. Tetapi belum sampai tahun 1883 sel solar pertama dibuat oleh *Charless Fritts*, yang melapisi selenium semikonduktor dengan sebuah lapisan emas tipis untuk membentuk persimpangan arus. Alat ini hanya mampu mengefisiensi energi listrik sebesar 1%. *Russel Ohl* mematenkan sel solar modern pada tahun 1946. *Sven Ason Berglund* memegang hak paten lebih dulu mengenai metode meningkatkan kapasitas sel peka cahaya. Era modern teknologi sel fotovoltaik tiba pada tahun 1954 ketika *Bell Laboratories* bereksperimen dengan semikonduktor, secara kebetulan menemukan silikon dengan kadar tertentu yang

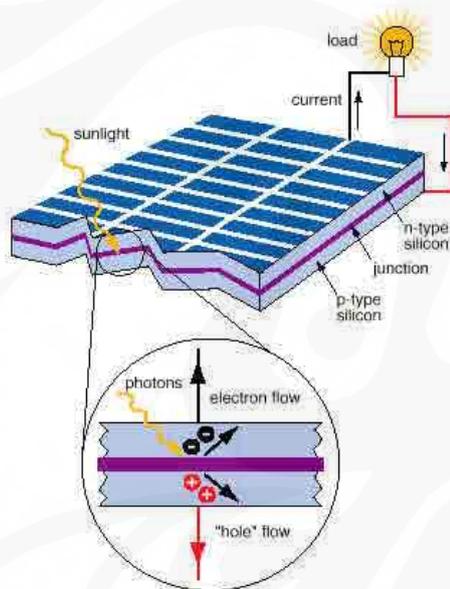
---

<sup>35</sup> Tony Hendroyono. *Bangunan Mandiri dengan Sel Photovoltaics*, I-Arch Indonesia Architecture Magazine, edisi Smart Building, Jakarta: PT. Grasindo Mediatama: 12

sangat peka cahaya. Hasil produksi sel solar pertama ini mampu mengkonversi cahaya matahari dengan tingkat efisiensi hingga 6%.<sup>36</sup>

Berikut ini adalah penjelasan singkat mengenai cara kerja solar cell dalam bangunan:<sup>37</sup>

1. Foton dalam cahaya matahari mengenai panel solar dan diserap oleh bahan semikonduktor, seperti silicon.
2. Elektron (muatan negatif) dilepaskan dari atomnya, memungkinkan elektron-elektron ini untuk mengalir melalui material untuk memproduksi listrik. Muatan positif pelengkap yang juga terbentuk (seperti gelembung) disebut *hole* dan mengalir ke arah yang berlawanan dengan electron di dalam silicon panel solar.
3. Lajur panel solar mengkonversi energi matahari menjadi sejumlah arus listrik satu arah (DC) yang siap pakai.



Gambar.14 Cara kerja sel fotovoltaik.  
Sumber: [www.google.com/images](http://www.google.com/images)

Urutan pemasangan fotovoltaik dimulai dari satu sel, lalu kumpulan dari sel-sel menjadi panel, dan penyusunan panel-panel secara *array*. Array fotovoltaik inilah yang nantinya disusun terintegrasi dengan bangunan.

a. Sel fotovoltaik.

Sel fotovoltaik merupakan bagian terkecil dari sistem fotovoltaik. Sampai saat ini, seiring berkembangnya teknologi, para ilmuwan menciptakan teknologi-

<sup>36</sup> Tony Hendroyono. *Bangunan Mandiri dengan Sel Photovoltaics*, I-Arch Indonesia Architecture Magazine, edisi Smart Building, Jakarta: PT. Grasindo Mediatama: 12

<sup>37</sup> *Ibid*: 13

teknologi terbaru pada sel fotovoltaik. Dari jenis bahan material yang digunakan, semakin lama semakin murah dalam harga dan semakin efektif dan efisien dalam penyerapan energi radiasi cahaya matahari. Lalu perkembangan sel fotovoltaik berlanjut kepada bentuk dasar dan warna sel yang nantinya akan mempengaruhi estetika luar bangunan.

### 1. *Monocrystalline silicone.*

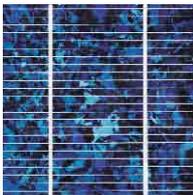
Merupakan tipe sel fotovoltaik yang paling efektif dan efisien menyerap energi dari radiasi sinar matahari yaitu sebesar 15%. Terbuat dari silicon dengan satu struktur kristal yang kontinu. Monocrystalline silicon merupakan sel fotovoltaik yang paling mahal dari segi harga karena pembuatannya yang masih rumit.<sup>38</sup>



Gambar.15 Sel *Monocrystalline silicon*.  
Sumber: [www.google.com/images](http://www.google.com/images)

### 2. *Polycrystalline silicone.*

Merupakan tipe sel fotovoltaik yang cukup efisien dalam menyerap energi radiasi sinar matahari yaitu sekitar 12%. Terbuat dari berbagai macam serat kristal silikon seperti lembaran silikon, *stainless steel*, keramik, dan kaca. Biaya untuk memproduksi polycrystalline silicon lebih murah daripada monocrystalline silicon.<sup>39</sup>



Gambar.16 Sel *Polycrystalline silicon*.  
Sumber: [www.google.com/images](http://www.google.com/images)

### 3. *Thin film.*

Merupakan tipe sel fotovoltaik yang paling tipis sehingga mudah untuk dibentuk-bentuk. Misalkan sebuah bangunan mempunyai atap lengkung atau suatu

---

<sup>38</sup> Deo Prasad. *Designing With Solar Power A Source Book for Building Integrated Photovoltaics (BiPV)*, Australia: The Images Publishing Group Pty Ltd and Earthscan.2005: 23

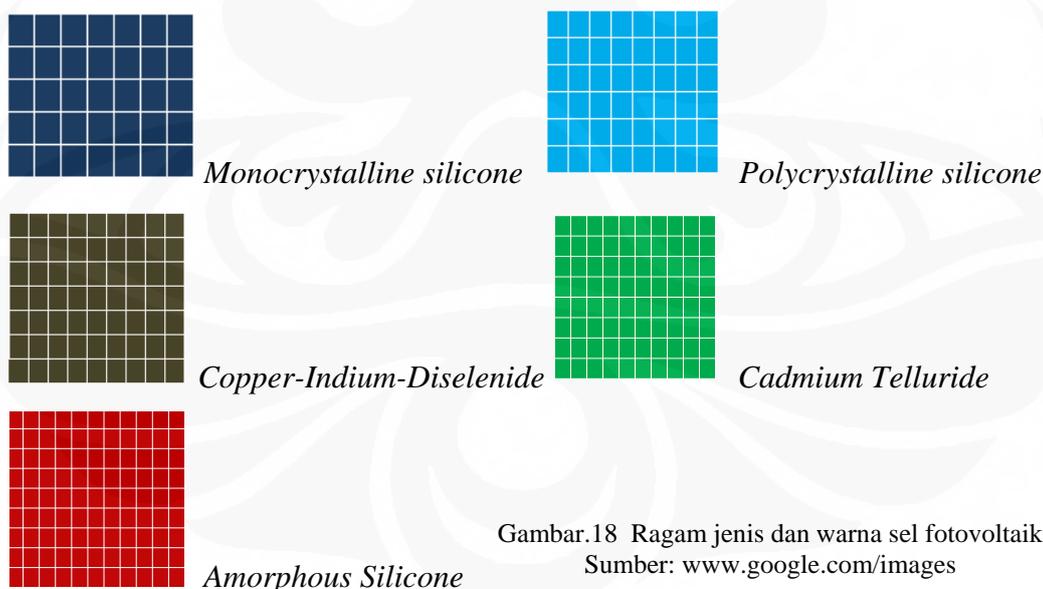
<sup>39</sup> *Ibid*: 23

instalasi solar dengan bentukan yang tidak biasa, maka sel thin film ini yang paling baik digunakan. Memiliki efisiensi yang rendah sekitar 5-6%. Merupakan sel yang terbuat dari silicon dengan struktur lapisan kristal yang tipis sehingga sel yang dihasilkan lebih tipis daripada jenis sel yang lain. Sel-sel yang termasuk kedalam jenis thin film antara lain: *amorphous silicon* (a-Si), *cadmium telluride* (CdTe), *copper indium diselenide* (CIS), *gallium arsenide* (GaAs), *titanium dioxide gratzel cell* (TiO<sub>2</sub>).<sup>40</sup>



Gambar.17 Sel Thin Film.  
Sumber: [www.google.com/images](http://www.google.com/images)

Seiring berkembangnya teknologi, dikembangkan lagi bentuk-bentuk baru sel fotovoltaik dan juga dibuat berwarna-warni sehingga nantinya ketika telah terintegrasi pada bangunan dapat menambah estetika luar bangunan. Dari transparansi sel fotovoltaiknya sendiri juga terdapat 2 macam yaitu buram (*opaque*) yang tidak dapat meneruskan cahaya matahari ke dalam ruang dan semi transparent yang dapat meneruskan cahaya matahari ke dalam ruang dan juga memberikan kualitas ruang tersendiri di dalam ruang.



Gambar.18 Ragam jenis dan warna sel fotovoltaik  
Sumber: [www.google.com/images](http://www.google.com/images)

<sup>40</sup> *Ibid*: 24



Gambar.19 Aplikasi sel fotovoltaik berwarna pada fasade balkon bangunan Kollektivhuset di Finlandia

Sumber: *Photovoltaics in Architecture*.pdf: 14, [www.pvnord.org](http://www.pvnord.org)



Gambar.20 Berbagai bentuk sel fotovoltaik

Sumber: [www.google.com/images](http://www.google.com/images)

b. panel fotovoltaik.

Panel fotovoltaik merupakan susunan sel-sel fotovoltaik sehingga membentuk suatu panel besar yang siap disusun pada kulit bangunan.



Gambar.21 Panel fotovoltaik.

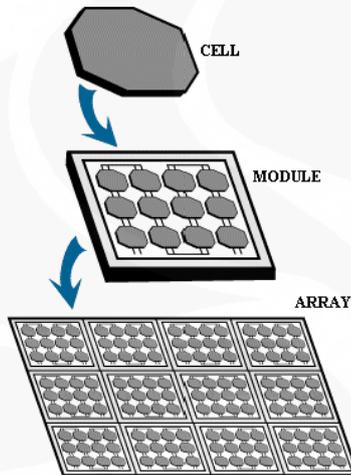
Sumber: [www.google.com/images](http://www.google.com/images)

c. Susunan panel fotovoltaik (*array*).

Merupakan penyusunan panel-panel fotovoltaik pada kulit bangunan atau disebut sebagai instalasi fotovoltaik di kulit bangunan.



Gambar.22 Susunan panel fotovoltaik (*array*).  
Sumber: [www.google.com/images](http://www.google.com/images)



Gambar.23 Sel-Panel-Array fotovoltaik.  
Sumber: [www.google.com/images](http://www.google.com/images)

### III.3 Bangunan Dengan Fotovoltaik Terintegrasi

Definisi:<sup>41</sup>

- i. Bangunan: merupakan sesuatu yang memberikan proteksi pada manusia untuk melawan iklim yang ekstrim.
- ii. Fotovoltaik: merupakan sebuah teknologi dimana cahaya matahari dikonversi menjadi listrik.
- iii. Integrasi: berarti penyatuan dan interaksi.

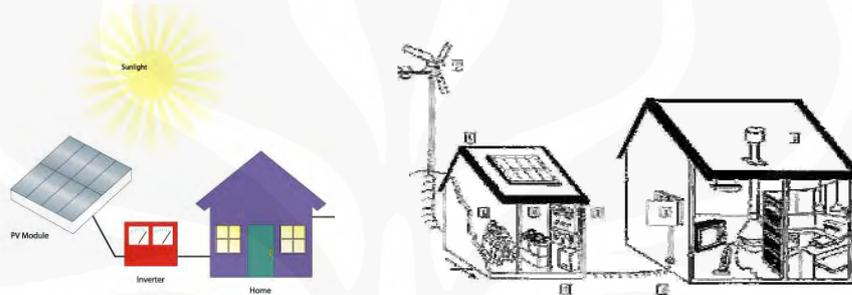
Bangunan dengan Fotovoltaik Terintegrasi atau *Building Integrated Photovoltaics* (BiPV) merupakan sebuah kombinasi antara teknologi elektrikal dari solar panel fotovoltaik dengan konstruksi dari sebuah bangunan.<sup>42</sup> Panel fotovoltaik diletakkan di kulit terluar bangunan dengan konstruksi yang menopang kepada struktur utama bangunan. Beberapa prinsip yang mempengaruhi fotovoltaik terintegrasi antara lain: tata ruang dan orientasi, massa dan bentuk, strategi energi, struktur bangunan dan modularitas, pembiayaan, integritas konstruksi dan detail, dan penampilan dan ekspresi arsitektur.<sup>43</sup>

---

<sup>41</sup> *Ibid*: 9  
<sup>42</sup> *Ibid*: 9  
<sup>43</sup> *Ibid*: 16

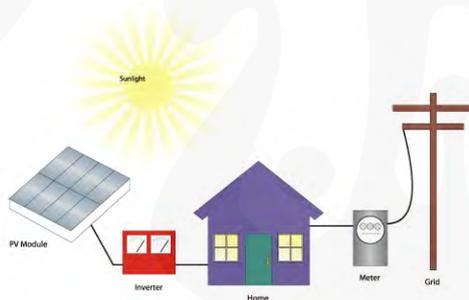
Sistem fotovoltaik ini dibagi menjadi dua tipe, yaitu: <sup>44</sup>

1. sistem yang berdiri sendiri (*stand alone system*); sistem ini tidak tersambung dengan sistem sumber listrik umum negara. Sistem besar dari sistem ini biasanya dikombinasi dengan tenaga diesel, tenaga angin atau tenaga air (*hybrid system*).



Gambar.24 Ilustrasi *Stand alone* dan *Hybrid system*  
Sumber: [www.google.com/images](http://www.google.com/images)

2. sistem yang masih berintegrasi dengan sumber listrik umum (*grid connected system*); tenaga yang dihasilkan oleh sistem ini berupa arus searah yang kemudian diubah menjadi arus bolak-balik (AC) melalui inverter yang pada umumnya dihubungkan juga dengan listrik negara.



Gambar.25 Ilustrasi *Grid connected system*.  
Sumber: [www.google.com/images](http://www.google.com/images)

Dalam sebuah sistem terpadu fotovoltaik, diperlukan sebuah inverter yang akan mengkonversi energi yang di dapat dari radiasi cahaya matahari untuk diubah menjadi energi listrik. Inverter ini merupakan alat yang paling mahal dalam sebuah sistem ini. Dan peletakkannya juga mempengaruhi jumlah energi yang dihasilkan. Semakin dekat inverter dengan panel fotovoltaik, semakin banyak energi yang akan di konversi, begitu juga sebaliknya. Semakin jauh letaknya, semakin berkurang energi yang akan di konversi.

Sejalan dengan perkembangan teknologi, penerapan dari sistem aktif yang berupa sistem fotovoltaik yang sangat identik dengan adanya modul-modul sel

<sup>44</sup> Othmar Humm, Peter Toggweiler, *Photovoltaics in Architecture*, The Integration of Photovoltaics Cell in Building Envelopes, Birkhauser Verlag.1993, hlm. 100.

fotovoltaik sebagai *solar collector*, telah berkembang menjadi bagian dari elemen arsitektur yang dapat berintegrasi baik dengan bangunannya. Pada bangunan tinggi, pemasangan modul *solar collector* pada atap dan fasade telah dilakukan dan menggantikan penggunaan elemen atap dan fasade konvensional.

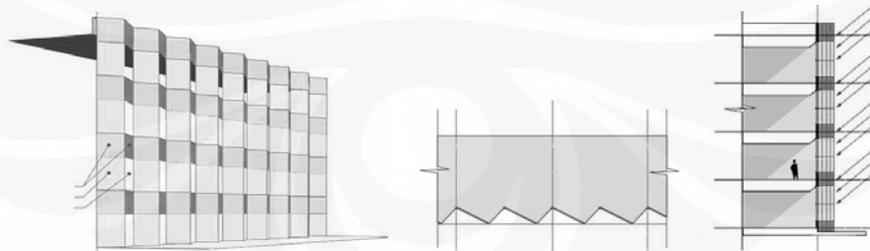
A. fotovoltaik yang terintegrasi pada fasade. Pemasangan panel dapat dikombinasikan menurut jenis transparansi panel, warna, dan bentuk dasar sel. Jika ingin meneruskan cahaya matahari ke dalam ruang maka panel buram (*opaque*) dikombinasikan dengan panel *semi transparent* dan kaca transparan. Kemiringan dari panel fotovoltaik ditentukan dari posisi geografis (dilihat dari *latitude* dan diagram *sunpath*) sebuah lokasi tempat dimana panel ini akan dipasang. Berikut ini berbagai variasi pemasangan fotovoltaik yang terintegrasi pada fasade bangunan:<sup>45</sup>

- *Curtain wall*. Mempunyai karakteristik; standar, ekonomis, dan mudah dalam pembuatan dan pemasangan.



Gambar.26 Ilustrasi *Curtain wall*.

iv. *Sawtooth curtain wall vertical*. Mempunyai karakteristik; biaya yang cukup minimal, performa solar yang cukup baik untuk beberapa orientasi, dan menciptakan berbagai sudut jendela.



Gambar.27 Ilustrasi *Sawtooth curtain wall vertical*.

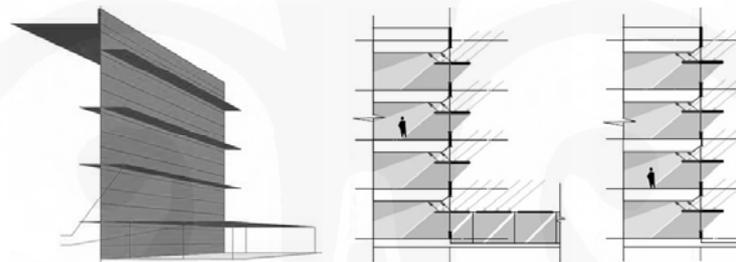
<sup>45</sup> www.kisscathcart.com. Kiss Cathcart Anders Architects, P.C.  
Building-Integrated Photovoltaics.pdf 1993: 12-19

v. *Hybrid photovoltaics awning system*. Mempunyai karakteristik; pemasangan fotovoltaik bebas di kulit bangunan, untuk konstruksi baru atau renovasi, juga sebagai *sun shading*, dan struktur yang tidak rumit dan murah.



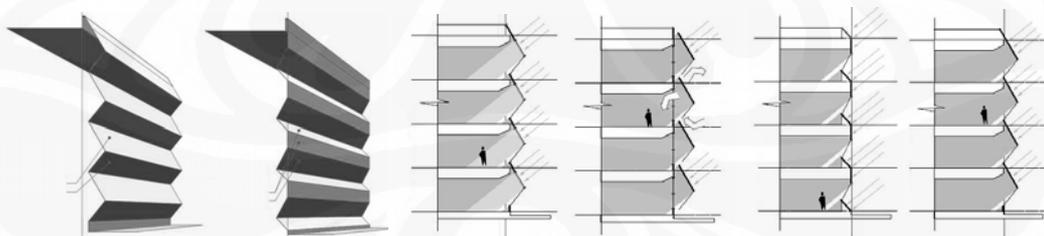
Gambar.28 Ilustrasi *Hybrid photovoltaics awning system*.

vi. *Hybrid photovoltaics light shelf system*. Mempunyai karakteristik; pemasangan fotovoltaik bebas di kulit bangunan, untuk konstruksi baru atau renovasi, juga sebagai *sun shading*, dan struktur yang tidak rumit dan murah.



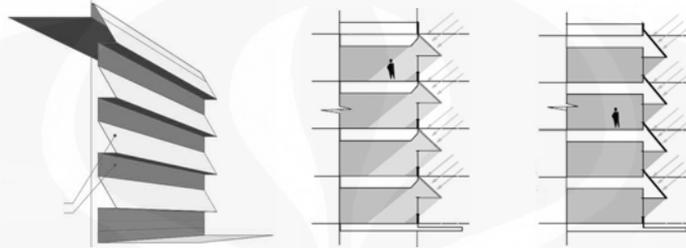
Gambar.29 Ilustrasi *Hybrid photovoltaics light shelf system*.

vii. *Photovoltaics accordion curtain wall*. Mempunyai karakteristik; panel fotovoltaik sebagai kulit bangunan, konstruksi *curtain wall* yang kompleks, efisiensi yang baik, dan *maintenance* yang cukup rumit.



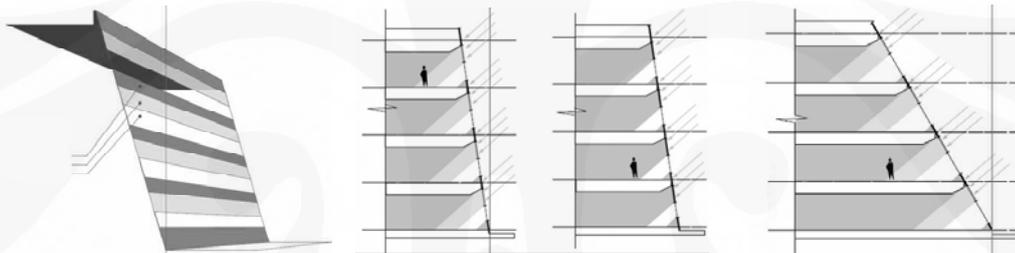
Gambar.30 Ilustrasi *Photovoltaics accordion curtain wall*.

viii. *Photovoltaics sawtooth curtain wall*. Mempunyai karakteristik; panel fotovoltaik sebagai kulit bangunan, konstruksi *curtain wall* yang kompleks, efisiensi yang baik, juga sebagai sun shading, dan maintenance yang cukup rumit.



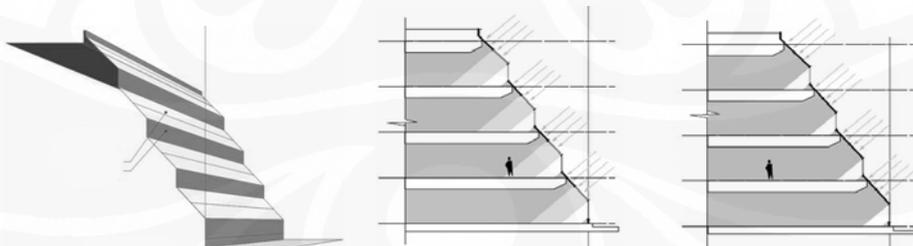
Gambar.31 Ilustrasi *Photovoltaics sawtooth curtain wall*.

ix. *Photovoltaics sloping curtain wall*. Mempunyai karakteristik; efisiensi maksimal dalam menerima energi dari radiasi sinar matahari, kurang efisien dalam penentuan bentuk alas dalam bangunan.



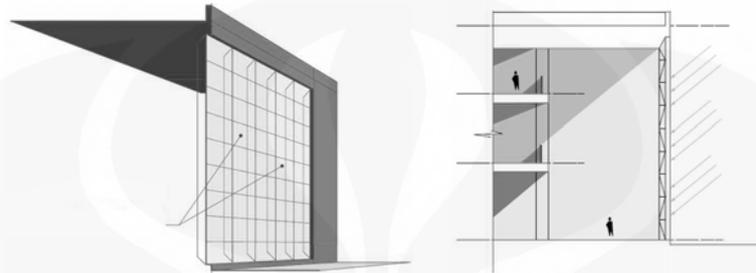
Gambar.32 Ilustrasi *Photovoltaics sloping curtain wall*.

x. *Photovoltaics stepped curtain wall*. Mempunyai karakteristik; efisiensi maksimal dalam menerima energi dari radiasi sinar matahari, kurang efisien dalam penentuan bentuk alas dalam bangunan, dan konstruksi *curtain wall* yang kompleks.



Gambar.33 Ilustrasi *Photovoltaics stepped curtain wall*.

xi. *Photovoltaics structural glazing*. Mempunyai karakteristik; standar, ekonomis, mudah dalam pengerjaan, dan hanya sebagai lapisan kulit bangunan.

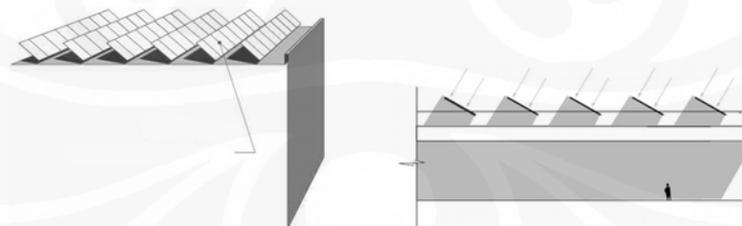


Gambar.34 Ilustrasi *Photovoltaics structural glazing*.

B. fotovoltaik yang terintegrasi pada atap. Pemasangan panel dapat dikombinasikan menurut jenis transparansi panel, warna, dan bentuk dasar sel. Jika ingin meneruskan cahaya matahari ke dalam ruang maka panel buram (opaque) dikombinasikan dengan panel *semi transparent* dan kaca transparan. Kemiringan dari panel fotovoltaik ditentukan dari posisi geografis (dilihat dari latitude dan diagram sunpath) sebuah lokasi tempat dimana panel ini akan dipasang. Berikut ini berbagai variasi pemasangan fotovoltaik yang terintegrasi pada atap bangunan:

46

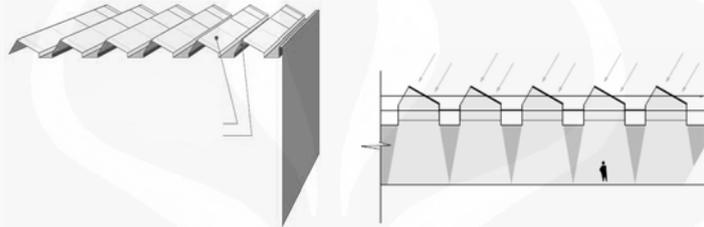
- *Independent photovoltaics rooftop array*. Mempunyai karakteristik; merupakan sistem konvensional pada atap, system fotovoltaik bebas pada kulit bangunan, efisiensi maksimal, konstruksi baru atau renovasi, pemanfaatan surya pasif yang dapat mengurangi beban panas dalam bangunan, dan menambah biaya untuk struktur.



Gambar.35 Ilustrasi *Independent photovoltaics rooftop array*.

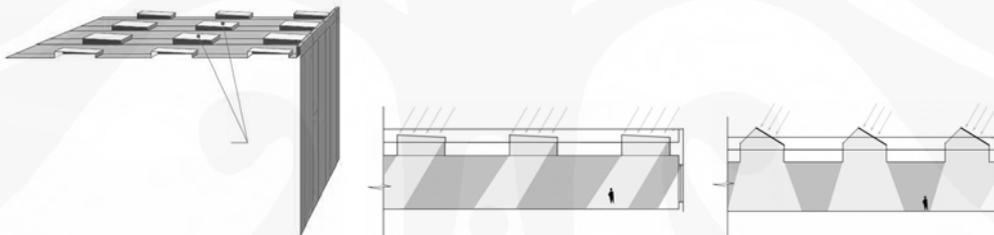
<sup>46</sup> www.kisscathcart.com. Kiss Cathcart Anders Architects, P.C. Building-Integrated Photovoltaics.pdf 1993: 20-26

xii. *Photovoltaics sawtooth roof monitors*. Mempunyai karakteristik; sistem fotovoltaik sebagai kulit bangunan, efisiensi yang baik, dan keuntungan yang baik pada cahaya alami.



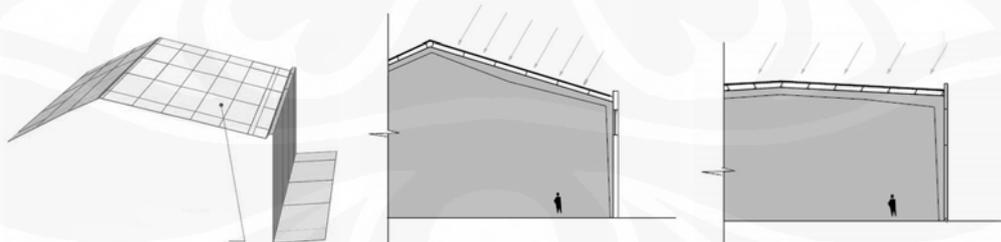
Gambar.36 Ilustrasi *Photovoltaics sawtooth roof monitors*.

xiii. *Photovoltaics skylights*. Mempunyai karakteristik; system fotovoltaik sebagai individual bukaan atap, konstruksi baru atau renovasi, orientasi miring atau horizontal, dan memberi keuntungan pada cahaya alami.



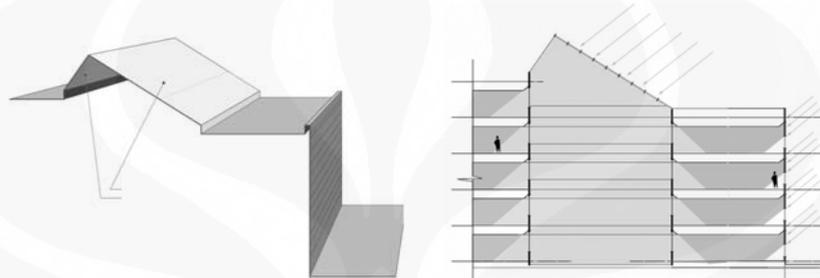
Gambar.37 Ilustrasi *Photovoltaics skylight*.

xiv. *Photovoltaics roof panels*. Mempunyai karakteristik; fotovoltaik sebagai kulit bangunan, kombinasi dengan sistem struktur atap, dan penyelesaian pada struktur harus hati-hati karena juga mempertimbangkan tentang beban cuaca dan salju.



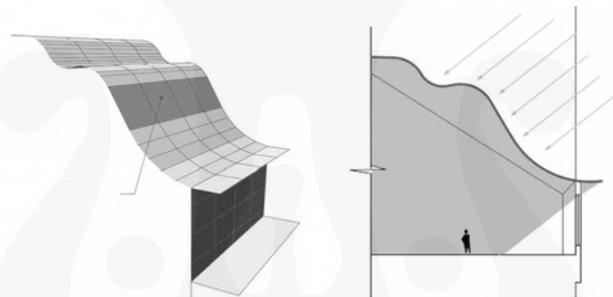
Gambar.38 Ilustrasi *Photovoltaics roof panels*.

xv. *Photovoltaics atrium*. Mempunyai karakteristik; fotovoltaik sebagai kulit bangunan, kombinasi dengan sistem struktur atap, dan penyelesaian pada struktur harus hati-hati karena juga mempertimbangkan tentang beban cuaca dan salju.



Gambar.39 Ilustrasi *Photovoltaics atrium*.

xvi. *Flexible/ metal photovoltaics substrates*. Mempunyai karakteristik; menggunakan panel thin film, aplikasi pada atap dan dinding, system struktur juga harus dapat menahan beban cuaca dan fleksibilitas desain yang baik.



Gambar.40 Ilustrasi *Flexible/ Metal photovoltaics substrates*.

Setelah menentukan cara pemasangan yang cocok dan sesuai dengan konsekuensi letak geografis suatu wilayah dan efisiensi radiasi matahari yang ditangkap maka barulah ditentukan sistem konstruksi dari pemasangan panel ini. Karena panel fotovoltaik ini tipis dan disamakan dengan kaca maka konstruksinya pun sama dengan konstruksi kaca. Jadi bagaimana pemasangan kaca pada atap dan fasade (misalkan sebagai *curtain wall* dipasang dengan menggunakan *spider web* atau juga sistem *sun shading*) maka begitu juga dengan konstruksi pemasangan panel fotovoltaik ini.

Komponen pengumpul ini dimiringkan pada sumbu horizontal dan diorientasikan pada sumbu vertikal.<sup>47</sup> Sebagai contoh, untuk daerah yang terletak di

<sup>47</sup> Othmar Humm, Peter Toggweiler, *Photovoltaics in Architecture* (Birkhauser Verlag, 1993): 96.

atas 20° Lintang Utara, kemiringan (*tilt*) yang besar seperti yang terletak pada fasade bangunan lebih efisien pada musim dingin dan orientasi kearah selatan.

Komponen pengumpul (*solar collector*) ini merupakan fungsi yang paling terbatas dalam sistem, disamping itu merupakan daerah yang intensif dan mahal.<sup>48</sup> Pada tabel dapat dilihat contoh tabel yang menunjukkan tingkatan dari produksi energi listrik tahunan dari sel-sel fotovoltaik (*solar cell*) pada kemiringan (*tilt*) dan orientasi yang berbeda.

	alt.	lat.	N	S	E	W	SW
0°	440 m	47° 30'	1155	1155	1155	1155	1155
	1560 m	46° 50'	1368	1368	1368	1368	1368
	210 m	46° 10'	1360	1360	1360	1360	1360
30°	440 m	47° 30'	1072	1199	1250	1199	1072
	1560 m	46° 50'	1270	1475	1560	1475	1270
	210 m	46° 10'	1260	1474	1562	1474	1260
45°	440 m	47° 30'	987	1149	1213	1149	987
	1560 m	46° 50'	1170	1430	1545	1430	1170
	210 m	46° 10'	1160	1435	1550	1435	1160
60°	440 m	47° 30'	885	1055	1122	1055	885
	1560 m	46° 50'	1050	1334	1456	1334	1050
	210 m	46° 10'	1040	1336	1462	1336	1040
90°	440 m	47° 30'	650	771	808	771	650
	1560 m	46° 50'	773	995	1088	995	773
	210 m	46° 10'	763	995	1090	995	763

440 m: North side of the Alps  
 1560 m: In the Alps  
 210 m: South of the Alps (Calculated values)

Gambar.41. Tabel perbandingan yang berkaitan dengan teori I dan II.  
 Sumber: Peter Toggweiler, *Photovoltaics in Architecture*. Birkhauser Verlag, 1993: 97.

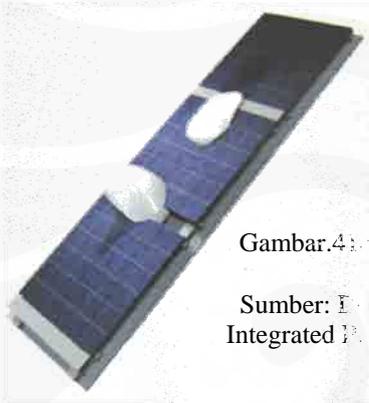
Studi kelayakan perlu dilakukan untuk mengetahui kemungkinan dilakukannya sistem ini pada suatu bangunan agar dapat menguntungkan. Faktor yang menentukan studi kelayakan yaitu ketersediaan radiasi matahari pada lokasi dan tingkat kebutuhan energi.<sup>49</sup>

Pertimbangan dari iklim juga berpengaruh kepada *maintenance* permukaan fotovoltaik. Karena panel ini sering disamakan dengan kaca maka *maintenance* yang seharusnya dilakukan pada panel ini sama seperti *maintenance* kaca sebagai fasade.

<sup>48</sup> Philip Tabb, *Solar Energy Planning*. United State of America: McGraw-Hill. 1984: 48.

<sup>49</sup> S.V. Szokolay, *World Solar Architecture*: 215.

Bagaimana maintenance kaca pada setiap iklim yang berbeda, begitu juga dengan maintenance permukaan panel fotovoltaik. Misalkan di daerah tropis lembab seperti Indonesia yang mungkin lama-kelamaan panel akan jamur. Maka maintenance yang dilakukan adalah seperti maintenance terhadap kaca yang jamur (misalnya di lap atau disikat). Atau di daerah dengan iklim subtropis yang pasti akan turun salju maka maintenance permukaan yang dilakukan adalah seperti maintenance fasade kaca yang tertutup salju. Namun untuk panel fotovoltaik pada daerah bersalju, pemasangan panel harus benar-benar rapat, tidak ada celah, sehingga ketika salju mencair dapat langsung turun dengan kemiringan fasade, tidak mengganggu sistem fotovoltaik karena adanya celah pemasangan.



Gambar.4: Pemasangan panel yang tidak rapat dapat mengganggu sistem oleh salju yang mencair.

Sumber: E. Prasad. *Designing With Solar Power A Source Book for Building Integrated Photovoltaics (BiPV)*, Australia: The Images Publishing Group Pty Ltd and Earthscan.2005: 207

Selanjutnya adalah bagaimana pemilihan cara maintenance yang aksesibel dan mudah dalam pekerjaan. Misalkan dengan adanya gondola pada bangunan tinggi atau memberi celah yang dapat dilalui oleh manusia dengan nyaman antara fasade terluar bangunan dengan instalasi panel fotovoltaik (dapat dilihat di studi kasus nantinya). Maintenance dari sistem secara keseluruhannya baru akan dilakukan setelah 20 tahun dari instalasi ini dipasang.

Berdasarkan teori diatas dapat disimpulkan, sistem ini baru dianjurkan untuk diterapkan apabila besar radiasi matahari yang tersedia optimal untuk dapat digunakan sebagai sumber energi listrik dan apabila kebutuhan energi yang diinginkan tidak terlalu besar atau terlalu kecil yang dapat menyebabkan penggunaan sistem ini tidak memberi efek yang berarti, mengingat biaya yang dibutuhkan tidak murah. Dapat disimpulkan juga bahwa untuk menerapkan sistem fotovoltaik yang terintegrasi pada bangunan maka banyak jenis panel dan cara pemasangan yang dapat dipilih sehingga nantinya benar-benar menjadi sebuah bangunan dengan fotovoltaik terintegrasi.

## BAB IV

# STUDI KASUS DAN ANALISIS

### IV.1 Netherlands Energy Research Foundation (ECN) — Building 31



Gambar.42 Model 3 dimensi dari ECN building 31.

Sumber: Case Study Title: Netherlands Energy Research Foundation (ECN)-Building 31.pdf :7  
[www.bear.nl](http://www.bear.nl)

#### IV.1.1 Data Umum

##### **Biodata**<sup>50</sup>

Proyek: Netherlands Energy Research Foundation (ECN) — Building 31

Durasi: Pengerjaan fotovoltaik pada fasade dimulai pada desember 1999 dan fotovoltaik pada atap dimulai pada desember 2000

Lokasi/kota: Westerduinweg 3, NL-1755 LE Petten

Negara: Belanda

---

<sup>50</sup> Deo Prasad & Mark Snow, *Designing with Solar Power: A Source Book for Building Integrated Photovoltaics* (Australia: the Images Publishing Group Pty Ltd and Earthscan, 2005): 105

Tipe fotovoltaik pada bangunan: PV-lamella sistem pada fasade dan atap kurva terintegrasi.

Tipe bangunan: Bangunan perkantoran dan laboratorium penelitian.

### **Karakteristik Iklim**<sup>51</sup>

Latitude: 52,47° utara

Longitude: 4,40° utara

Altitude: 5 meter diatas permukaan laut

Tipe iklim: iklim moderat laut eropa barat

Suhu musim dingin: rata-rata pada januari = -1.6°C; suhu terdingin musim dingin = -10°C.

Suhu musim panas: rata-rata pada juli = 22°C; suhu terpanas musim panas = 32°C.

Lama penyinaran matahari: rata-rata tahunan = 1477 jam tahun, 4,05 jam per hari.

Kelembaban: 89 % pada Januari dan 75 % pada Juli.

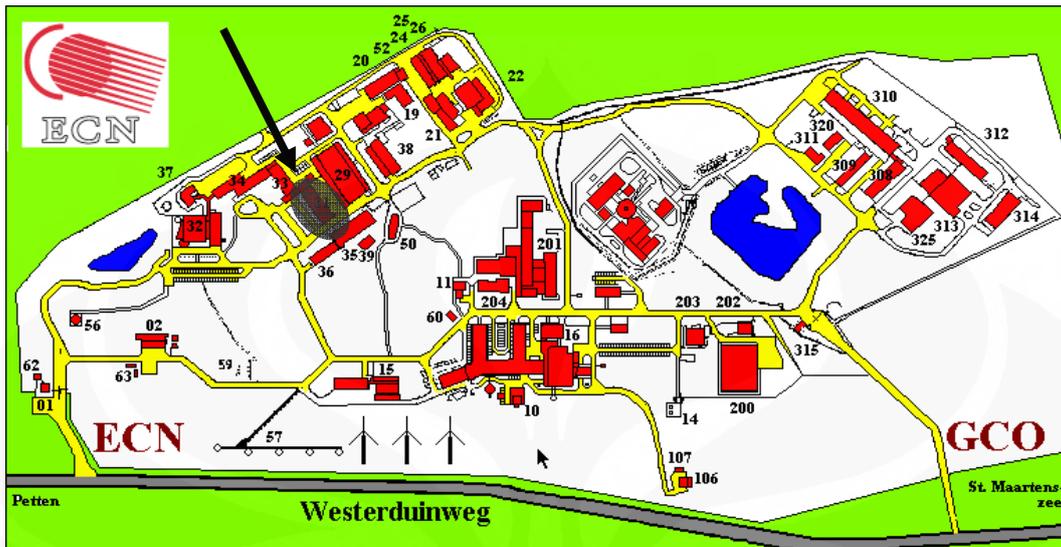
### **Latar Belakang Proyek**<sup>52</sup>

*The Netherlands Energy Research Foundation (ECN)*, merupakan institusi pelopor untuk riset energi di Belanda. Merupakan sebuah kompleks yang cukup luas dengan beberapa bangunan yang berkontribusi terhadap asupan sumber energi baru yang bersih, ramah lingkungan, dan lebih efisien. Komplek ini dibagi menjadi 7 area dengan bangunan yang mempunyai fungsi berbeda. Energi angin, energi surya, biomassa, minyak fosil bersih, efisiensi energi, pendidikan kebijaksanaan, dan pembaharuan energi pada lingkung bangun.

---

<sup>51</sup> *Ibid*

<sup>52</sup> *Ibid*



Gambar.43 Posisi ECN building 31 diantara bangunan riset lain.

Sumber: Case Study Title: Netherlands Energy Research Foundation (ECN)-Building 31.pdf: 3  
www.bear.nl

Bangunan ECN 31 merupakan bangunan yang terkonsentrasi pada riset energi surya. Oleh karena itu, bangunan ini menerapkan sistem fotovoltaik terintegrasi pada fasade dan atapnya. Bangunan ECN 31 ini merupakan bangunan lama yang dibangun pada tahun 1963. Namun ketika akan diadakan riset terhadap energi surya, maka pada tahun 1999 bangunan ini di renovasi dan ditambahkan sistem fotovoltaik yang terintegrasi pada fasade dan atapnya. Sehingga bangunan dan kegiatan yang terjadi di dalamnya sangat terkait satu sama lain.

Bangunan ini mempunyai luas lantai 3530m<sup>2</sup>. Sebelum di renovasi dan ditambahkan sistem fotovoltaik terintegrasi, terdapat beberapa masalah pada bangunan yang terkait dengan sumber energi dan kenyamanan bangunan seperti: <sup>53</sup>

- kondisi termal dan penyekatan dalam bangunan yang buruk
- pemanasan cahaya matahari yang berlebih
- sistem pencahayaan yang tidak efisien
- efisiensi dan kenyamanan yang kurang pada laboratorium dikarenakan sistem ventilasi yang buruk
- tuntutan alat pemanas dan listrik yang tinggi

<sup>53</sup> Ibid: 106



Gambar.44 Bangunan ECN 31 sebelum direnovasi.

Sumber: Case Study Title: Netherlands Energy Research Foundation (ECN)-Building 31.pdf: 4  
www.bear.nl

Target yang ingin dicapai ketika nanti di renovasi dan ditambahkan sistem fotovoltaik terintegrasi adalah untuk menaikkan atau mempertinggi iklim bagian dalam bangunan dan kenyamanan dan mengurangi energi dan efek gas rumah kaca dan emisi. Konsumsi elektrik sebelum renovasi mencapai  $80\text{kWh/m}^2$  dengan  $140\text{kWh/m}^2$  dari konsumsi pemanas ruangan. Target yang ingin dicapai adalah mengurangi konsumsi pemanas ruangan sebesar 75% dan mengurangi konsumsi listrik sebanyak 35%. Target keseluruhan adalah kurang dari  $80\text{kWh/m}^2$  dari jumlah kedua konsumsi listrik (pemanas ruangan dan listrik).

Ambisi ketika akan direnovasi untuk mengurangi atau menuntaskan semua masalah adalah: <sup>54</sup>

- renovasi fasade dengan nilai insulasi yang tinggi, pembaharuan keseluruhan konstruksi fasade pada tampak utara dan selatan
- sistem fotovoltaik pada atap (72 kWp) dan fasade (42 kWp) untuk menyediakan sekitar 30% dari jumlah energi listrik yang dibutuhkan sekaligus untuk menjadi *sun shading* dan optimalisasi cahaya matahari.
- Menyeimbangkan ventilasi dengan *recovery heat* dan ventilasi malam untuk pendingin musim dingin.
- Sistem pemanas baru
- Pencahayaan buatan yang lebih baik
- Instalasi dan produk dengan konsumsi energi yang rendah

---

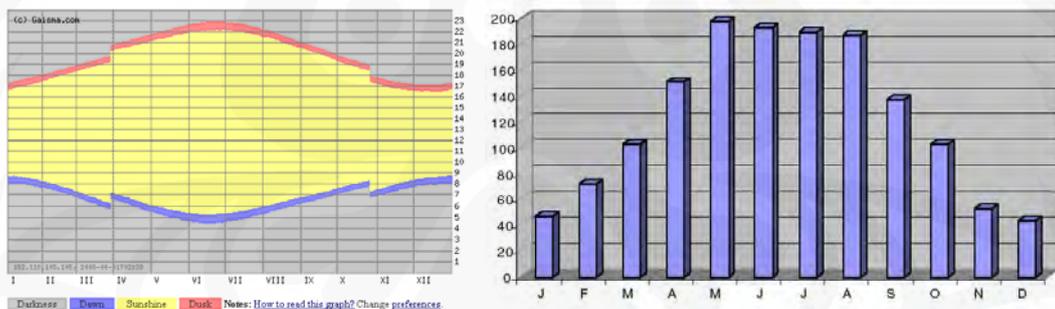
<sup>54</sup> *Ibid*

## IV.1.2 Analisis

### Iklm dan Energi Matahari

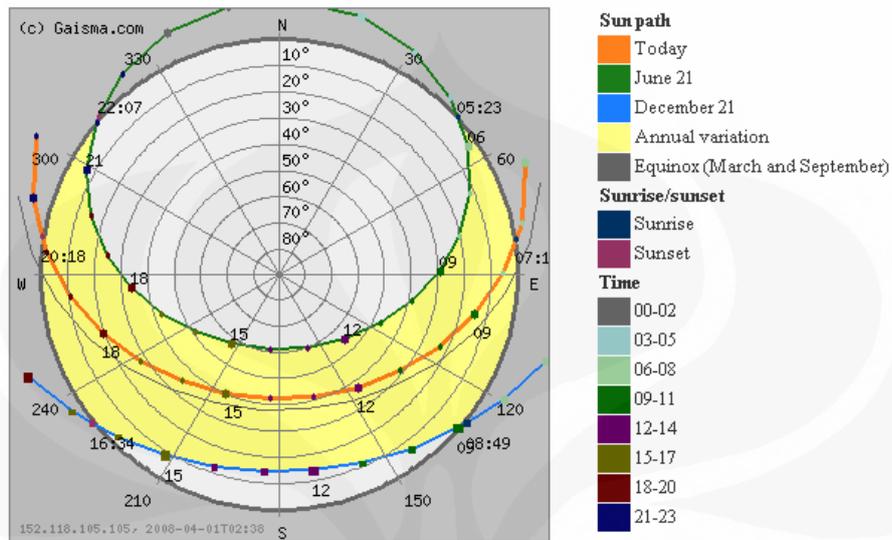
Daerah tempat dimana kompleks ini berdiri termasuk ke dalam klasifikasi iklim lintang tengah (*mid-latitude climate*), karena terletak pada 52.47° lintang utara. Secara umum, jenis iklim pada sudut latitude demikian adalah terdiri dari iklim kontinental lembab dan subartik dan memiliki musim panas yang hangat sampai dingin dan musim dingin yang sangat dingin. Bulan dengan suhu terhangat adalah diatas 10°C dan suhu bulan terdingin kurang dari -30°C.

Besarnya energi matahari yang diterima di daerah dengan sudut *latitude* demikian lebih rendah daripada di daerah khatulistiwa. Ini terlihat dari penyinaran matahari setiap hari dalam waktu tahunan yang berbeda-beda setiap harinya. Oleh karena itu, desain dari bangunan sangat diperhatikan posisi dan orientasinya terhadap perjalanan matahari serta kemiringan penempatan fotovoltaik pada kulit terluar bangunan karena itu sangat mempengaruhi efisiensi energi sinar radiasi matahari yang diterima oleh sel fotovoltaik. Gambar.45 memperlihatkan bahwa penyinaran matahari yang paling lama di Belanda terjadi pada musim panas atau sekitar bulan mei sampai dengan agustus. Ini menyebabkan pada bulan-bulan itu, sel fotovoltaik akan mendapatkan energi dari radiasi matahari lebih banyak dari bulan lainnya.



Gambar.45 Diagram penyinaran matahari waktu tahunan di Westerduinweg-Belanda.  
Sumber: www. Gaisma.com, Case Study Title: Netherlands Energy Research Foundation (ECN)-  
Building 31.pdf: 2 www.bear.nl

Untuk daerah dengan posisi atau sudut latitude demikian, dengan perjalanan matahari diatasnya, yang paling cocok adalah posisi dan orientasi bangunan dengan sisi terluas diorientasikan ke arah tenggara, selatan dan barat daya karena orientasi itulah yang sangat baik dan maksimal menerima energi cahaya radiasi matahari.



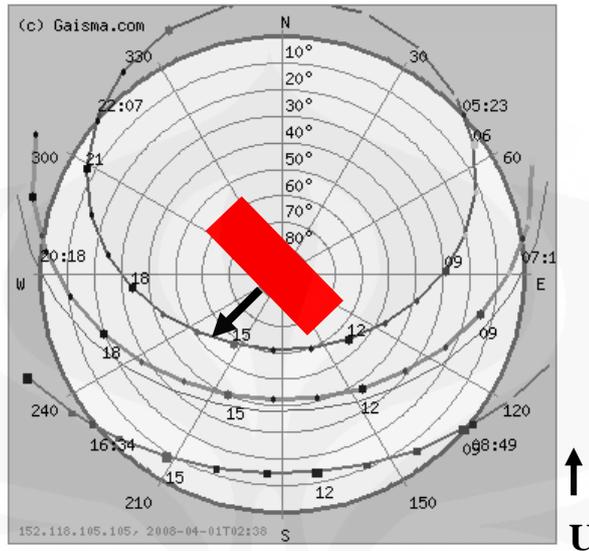
Gambar.46 Diagram perjalanan matahari (*sunpath*) pada tanggal 1 april 2008 di Westerduinweg-Belanda pada posisi latitude 52,47° utara  
 Sumber: www. Gaisma.com

Oleh karena bangunan ini bangunan lama dan akan ditambahkan sistem fotovoltaik terintegrasi maka posisi dan orientasi bangunan tidak berperan lagi. Yang paling baik adalah menempatkan panel fotovoltaik pada bidang terluas dari kulit bangunan.

### Desain Fotovoltaik Terintegrasi

Desain setelah diterapkan fotovoltaik terintegrasi mempunyai tujuan baik pada kualitas arsitektural dan pandangan dari interior dan exterior. Untuk perancangan fotovoltaik lamella pada fasade, pertama kali yang dipikirkan adalah berapa besar unit lamella yang harus digunakan, apakah harus besar, tipis, kecil, dan lainnya dan berapa jarak pemasangan antar lamella, serta jarak pemasangan lamella dengan bangunan.

Pada kasus bangunan ini, bangunan ini menerapkan sistem panel fotovoltaik yang terintegrasi pada fasade bidang yang menghadap kearah barat daya karena bidang itulah yang merupakan bidang terluas dari kulit bangunan. Menurut sudut *latitude* dan perjalanan matahari di lokasi itu, orientasi kearah barat daya merupakan orientasi yang cukup baik jika diletakkan panel fotovoltaik.

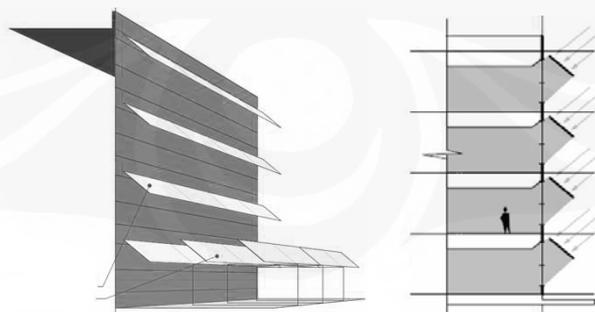


Gambar.47 Posisi bangunan ECN 31 dan orientasi peletakan panel fotovoltaik terhadap utara.  
 Sumber: [www.gaisma.com](http://www.gaisma.com)

Sistem peletakan fotovoltaik pada fasade yang diterapkan pada bangunan ini adalah *hybrid photovoltaics awning system*. Sistem ini memang sangat cocok diterapkan pada bangunan lama yang akan direnovasi dan ditambahkan instalasi panel fotovoltaik karena sistem ini tidak begitu rumit dalam hal pemasangan dan strukturnya hanya bergantung kepada struktur utama pada bangunan.



Gambar.48 Peletakan panel fotovoltaik pada fasade dengan *hybrid awning system*.  
 Sumber: Case Study Title: Netherlands Energy Research Foundation (ECN)-Building 31.pdf: 10&15  
[www.bear.nl](http://www.bear.nl)



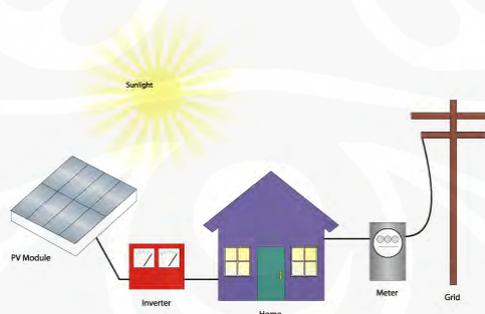
Gambar.49 Ilustrasi *Hybrid awning system*.  
 Sumber: [www.kisscathcart.com](http://www.kisscathcart.com). Kiss Cathcart Anders Architects, P.C.  
 Building-Integrated Photovoltaics.pdf 1993: 14

Kalau dilihat dari pemilihan panel fotovoltaik, bangunan ini menggunakan panel *polycrystalline silicon* berwarna biru (standar) dengan motif kotak-kotak (standar) dan bersifat opaque (buram) jadi. Karakter yang sangat kuat dari tipe pemasangan panel seperti ini adalah sistem ini juga sebagai *sunshading* atau penghalang cahaya matahari. Jadi panel-panel buram yang disusun dengan sistem ini tidak dapat meneruskan cahaya matahari kedalam ruang. Salah satu alasannya adalah karena ruang di dalamnya adalah laboratorium yang tidak boleh terkena sinar matahari.



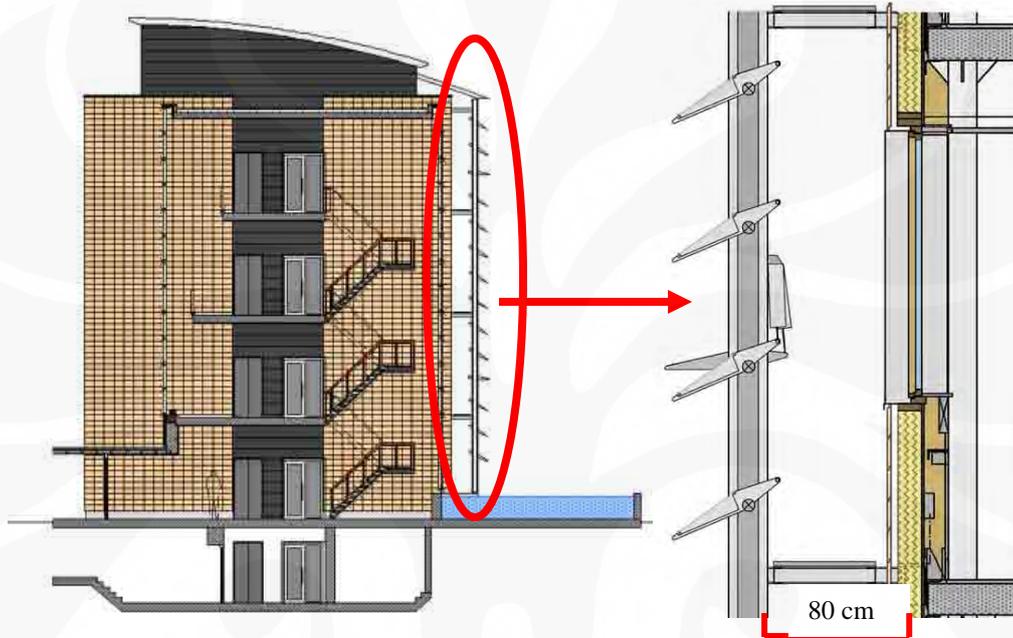
Gambar.50 Penyusunan panel fotovoltaik pada fasade juga sebagai *sun shading*.  
Sumber: Case Study Title: Netherlands Energy Research Foundation (ECN)-Building 31.pdf: 13  
www.bear.nl

Sistem yang digunakan adalah *grid connected system* karena sampai saat ini belum ada bangunan yang menerapkan instalasi fotovoltaik untuk mengganti keseluruhan energi listrik yang dibutuhkan kecuali bangunan dengan konsumsi energi yang rendah. Jadi bangunan ini juga mendapat asupan energi listrik dari perusahaan listrik negara setempat.



Gambar.51 Ilustrasi *Grid connected system*.  
Sumber: www.google.com/images

Dilihat dari sisi *maintenance*, aksesibilitas, pembersihan jendela, dan juga kekuatan konstruksi maka untuk pemasangan lamella fotovoltaik di fasade dipasang dengan jarak 80cm dari kulit bangunan yang terhubung langsung dengan struktur utama bangunan. Untuk panjang 1 unit lamella sendiri mengikuti lebar ruang dibelakangnya.



Gambar.52 Potongan melintang bangunan ECN 31 & detail.

Sumber: Case Study Title: Netherlands Energy Research Foundation (ECN)-Building 31.pdf:12 &13  
www.bear.nl



Gambar.53 Jarak antara panel fotovoltaik yang mengikuti lebar ruang di belakangnya.

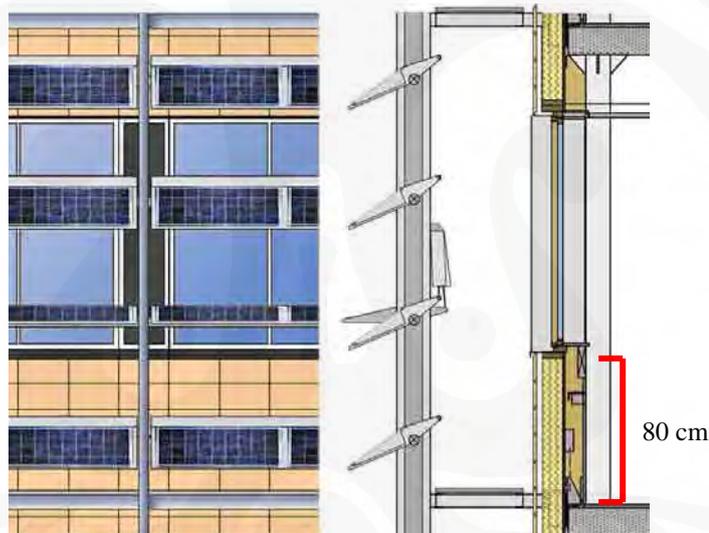
Sumber: Case Study Title: Netherlands Energy Research Foundation (ECN)-Building 31.pdf: 5  
www.bear.nl

Selanjutnya, bagaimana fotovoltaik lamella ini dapat juga menjawab masalah seperti:

- optimalisasi pengumpulan energi solar pada fotovoltaik Lamella
- beban pemanasan bangunan dan pengumpulan energi solar secara pasif pada musim dingin
- bayangan bagi bangunan

- bayangan tersendiri bagi modul PV lamella
- pandangan keluar dari dalam
- optimalisasi cahaya matahari alami

Hasil terbaik untuk pengumpulan solar, bayangan, dan cahaya matahari alami adalah dengan pemasangan 3 *fixed* modul fotovoltaik lamella dengan 1 *moveable* modul fotovoltaik lamella tiap lantainya. Pertimbangan seperti mahalnya harga untuk pembuatan sistem yang bergerak menjadi alasan hanya menggunakan 1 sistem bergerak pada tiap lantainya. Untuk sudut kemiringan fotovoltaik lamella dengan pemasangan fixed yang paling optimal adalah sebesar  $37^\circ$  terhadap horizontal. Pemasangan sistem bergerak diletakkan sejajar dengan pandangan manusia ketika duduk atau bekerja di dalam bangunan untuk mendapatkan view kearah luar. Dengan sistem bergerak ini, kita bisa menentukan berapa besar sudut kemiringan dari fotovoltaik lamella.

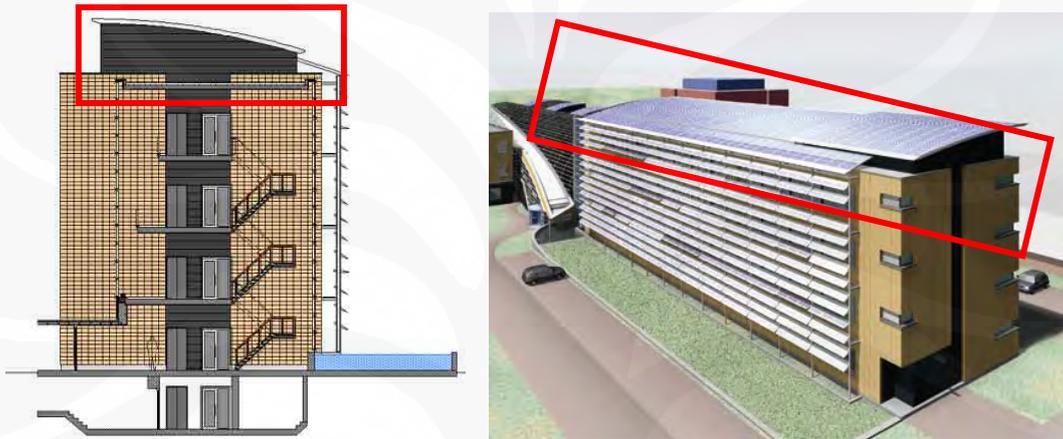


Gambar.54 Susunan vertikal panel fotovoltaik dan potongan pemasangan panel *fixed* dan *moveable*.  
 Sumber: Case Study Title: Netherlands Energy Research Foundation (ECN)-Building 31.pdf: 12  
[www.bear.nl](http://www.bear.nl)

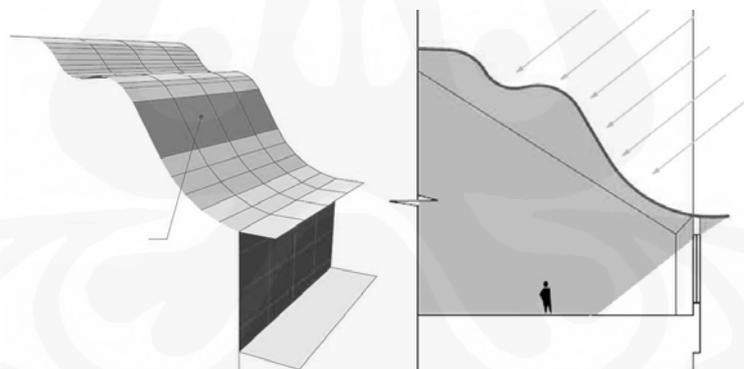


Gambar.55 Bagian dalam bangunan menghadap ke jendela.  
 Sumber: Case Study Title: Netherlands Energy Research Foundation (ECN)-Building 31.pdf: 8  
[www.bear.nl](http://www.bear.nl)

Panel fotovoltaik juga diletakkan di keseluruhan atap bangunan. Salah satu penyebabnya adalah mungkin karena bangunan ini terletak pada altitude 5m diatas permukaan laut sehingga penempatan panel pada fasade masih kurang efisien untuk menangkap energi radiasi mathaari. Atap berbentuk melengkung dengan bagian terbawah menghadap ke barat daya. Panel pada atap menggunakan jenis sel *thin film (amorphous silicone)* karena tipis dan bisa dibentuk melengkung. Sistem peletakan panel pada atap ini adalah *Flexible/ Metal photovoltaics substrates*.



Gambar.56 Panel fotovoltaik yang terintegrasi di atap melengkung.  
 Sumber: Case Study Title: Netherlands Energy Research Foundation (ECN)-Building 31.pdf: 7 & 13  
[www.bear.nl](http://www.bear.nl)



Gambar.57 Ilustrasi *Flexible/ Metal photovoltaics substrates*.  
 Sumber: [www.kisscathcart.com](http://www.kisscathcart.com). Kiss Cathcart Anders Architects, P.C.  
 Buidling-Integrated Photovoltaics.pdf 1993: 14

Dari segi tampak luar bangunan, memang sedikit terlihat monoton karena banyak terjadi repetisi horizontal karena panel fotovoltaik ini. Tetapi bangunan lama yang terlihat seperti tidak mengolah fasade ini, fasadenya menjadi lebih terolah dan terlihat lebih *hi-tech, futuristic*, dan berwarna dengan adanya susunan panel

fotovoltaik ini. Fasad bangunan juga terlihat seperti tumpukan *sun shading-sun shading* sehingga fungsi dari bangunan yang sebagai laboratorium dapat terlihat dari luar. Pengolahan pada bagian atap selain untuk penempatan panel fotovoltaik juga menambah estetika bangunan dengan desain yang melengkung dan terlihat pada tampak.



Gambar.58 Bangunan ECN31 sebelum dan sesudah di renovasi dan ditambahkan fotovoltaik.  
Sumber: Case Study Title: Netherlands Energy Research Foundation (ECN)-Building 31.pdf: 8  
[www.bear.nl](http://www.bear.nl)

## IV.2 The Solar Office

### Doxford International Business Park



Gambar.59 Tampak depan bangunan *The Solar Office*.  
Sumber: [www.iea-pvps.org](http://www.iea-pvps.org)

#### IV.2.1 Data Umum

##### **Biodata** <sup>55</sup>

Proyek: *Solar Office, Doxford International Business Park*

Lokasi / Kota: Sunderland

Negara: Inggris

Tipe fotovoltaik pada bangunan: terintegrasi pada fasade

Tipe bangunan: Komersial dan Perkantoran

Baru / Retrofit: Baru

##### **Karakteristik Iklim** <sup>56</sup>

Latitude: 55° utara

Longitude: 1°4' timur

Altitude: 30 meter di atas permukaan laut

Tipe iklim: sedang, rata-rata pada musim dingin = 7°C, rata-rata pada musim panas = 15°C

Lama penyinaran matahari: rata-rata tahunan = 3,4 jam per hari

<sup>55</sup> Prasad, Deo & Snow, Mark, *Designing with Solar Power: A Source Book for Building Integrated Photovoltaics* (Australia: the Images Publishing Group Pty Ltd and Earthscan, 2005): 154

<sup>56</sup> *Ibid*

## Latar Belakang Proyek <sup>57</sup>

*The Solar Office* adalah bangunan perkantoran baru yang didesain untuk *Akeler Developments Ltd* di area seluas 32 hektar pada *Doxford international business park*, berlokasi di dekat *sunderland* disebelah timur laut inggris. Tujuan dari proyek ini adalah untuk konservasi energi yang tidak merusak lingkungan. Karena ini nantinya akan menjadi bangunan komersil dengan banyak ruang sewa didalamnya, maka dibutuhkan energi listrik yang cukup besar yaitu untuk pencahayaan buatan dan penghawaan buatan.



Gambar.60 Denah tapak lokasi.

Sumber: The Solar Office Doxford International.pdf: 6, [www.studioe.co.uk](http://www.studioe.co.uk)

Oleh karena itu, sebagian besar konsumsi listrik umum digantikan dengan energi listrik dari konversi energi surya dengan penerapan fotovoltaik terintegrasi di fasade bangunan. Penggunaan energi listrik dari konversi energi surya diperkirakan sebesar 1/3 dari keseluruhan konsumsi listrik. Ketika musim panas dimana energi surya berlebih, maka kelebihan dari konversi energi surya menjadi listrik akan di ekspor untuk listrik nasional. Nantinya bangunan ini akan menjadi bangunan perkantoran dan komersial dengan konstruksi fotovoltaik terintegrasi pada fasade yang terbesar di Eropa dan pelopor dari bangunan dengan strategi energi holistik.

Bangunan yang nantinya akan menjadi perkantoran dan komersial ini, akan didesain dengan hemat energi praktis dan baik dengan prinsip ramah lingkungan. Terdiri dari 3 lantai dengan luas bangunan sekitar 4600m<sup>2</sup>. Bangunan dengan banyak

---

<sup>57</sup> *Ibid*

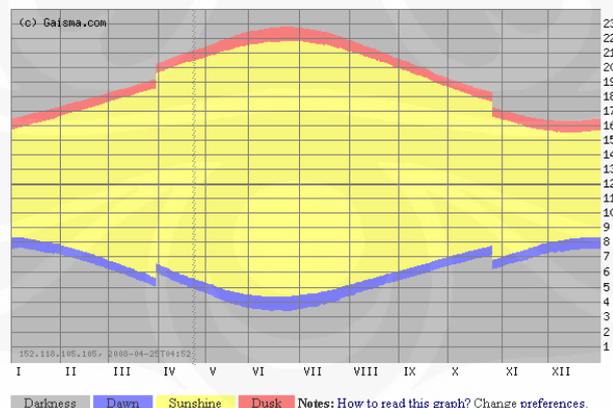
ruang sewa di dalamnya ini benar-benar dibuat hemat energi dengan pemanfaatan energi surya secara aktif dan pasif serta sirkulasi pengudaraan alami yang baik.

## IV.2.2 Analisis

### Iklm dan Energi Matahari

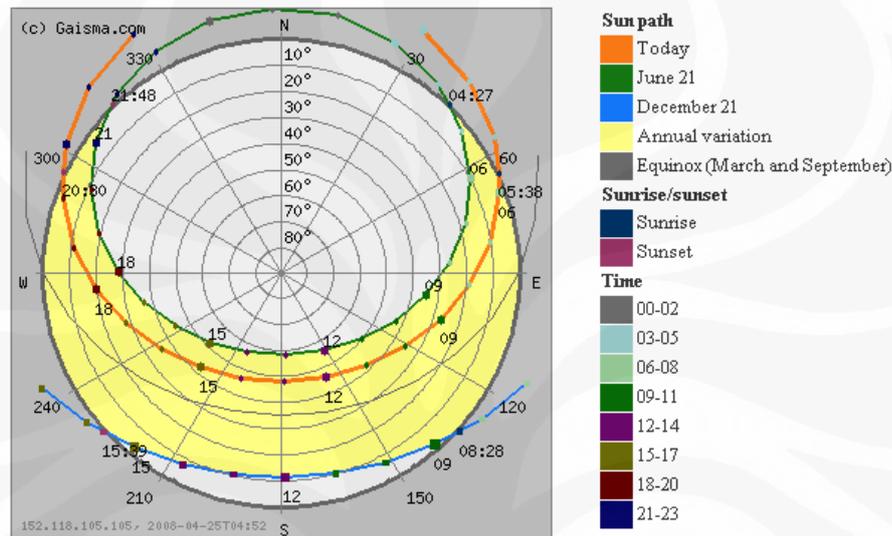
Daerah tempat dimana kompleks ini berdiri termasuk ke dalam klasifikasi iklim lintang tengah (*mid-latitude climate*), karena terletak pada 55° lintang utara. Secara umum, jenis iklim pada sudut latitude demikian adalah terdiri dari iklim continental lembab dan subartik dan memiliki musim panas yang hangat sampai dingin dan musim dingin yang sangat dingin. Bulan dengan suhu terhangat adalah diatas 10°C dan suhu bulan terdingin kurang dari -30°C.

Besarnya energi matahari yang diterima di daerah dengan sudut latitude demikian lebih rendah daripada di daerah khatulistiwa. Ini terlihat dari penyinaran matahari setiap hari dalam waktu tahunan yang berbeda-beda setiap harinya. Oleh karena itu, desain dari bangunan sangat diperhatikan posisi dan orientasinya terhadap perjalanan matahari serta kemiringan penempatan panel fotovoltaik pada kulit terluar bangunan karena itu sangat mempengaruhi efisiensi energi pancaran radiasi cahaya matahari yang diterima oleh sel fotovoltaik. Gambar.58 memperlihatkan bahwa penyinaran matahari yang paling lama di Inggris terjadi pada musim panas atau sekitar bulan mei sampai dengan agustus. Ini menyebabkan pada bulan-bulan itu, sel fotovoltaik akan mendapatkan energi dari radiasi matahari lebih banyak dari bulan lainnya.



Gambar.61 Diagram penyinaran matahari waktu tahunan di Sunderland-Inggris.  
Sumber: www. Gaisma.com

Untuk daerah dengan posisi atau sudut latitude demikian, dengan perjalanan matahari di atasnya, yang paling cocok adalah posisi dan orientasi bangunan dengan sisi terluas diorientasikan ke arah tenggara, barat daya, dan selatan karena orientasi itulah yang sangat baik dan maksimal menerima energi cahaya radiasi matahari.



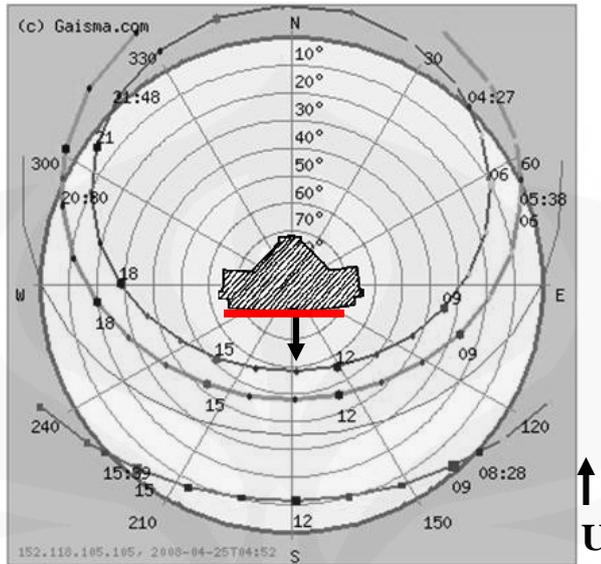
Notes: \* = Daylight saving time, \* = Next day. [How to read this graph?](#) Change [preferences](#).

Gambar.62 Diagram perjalanan matahari (*sunpath*) pada tanggal 25 april 2008 di Sunderland-Inggris pada posisi latitude 55° utara.  
Sumber: www. Gaisma.com

Dan bangunan ini sudah sangat baik menempatkan sel fotovoltaiknya pada sisi atau fasade si sebelah selatan. Nantinya sel fotovoltaik ini akan menerima energi radiasi cahaya matahari paling efisien sepanjang tahunnya.

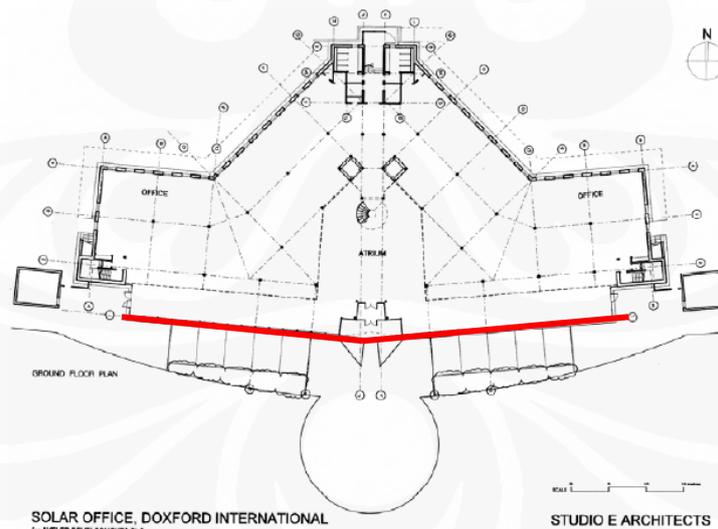
### Desain Fotovoltaik Terintegrasi

Pembentukan denah bangunan yang sudah direncanakan akan terintegrasi dengan fotovoltaik bergantung pada orientasi dan iklim dari site tempat bangunan ini berdiri. Orientasi paling baik untuk bangunan dengan latitude sebelah utara adalah sisi dengan fotovoltaik menghadap selatan.



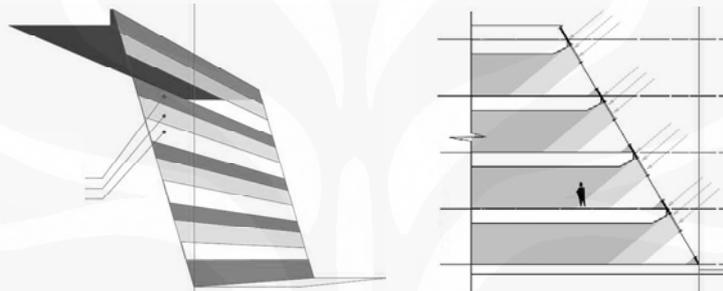
Gambar.63 Tampak atas, posisi, massa bangunan dan perjalanan matahari daerah itu.  
 Sumber: www.gaisma.com

Denah dari bangunan ini berbentuk huruf V dengan pusat tengah di puncak dari huruf V. Panjang bangunan ini 66m dengan sisi selatan dimana terdapat fasade fotovoltaik yang bagian tengahnya menjadi *entrance* utama dari bangunan ini. Fasade fotovoltaik pada sisi selatan bangunan mempunyai sudut  $5^\circ$  pada bagian tengahnya sehingga terbagi menjadi 2. Ini sebenarnya hanya sedikit menambah efisiensi dari energi yang didapat pada sel fotovoltaik. Luas seluruh permukaan fasade yang tertutup oleh sel fotovoltaik adalah  $950\text{m}^2$ .



Gambar.64 Denah lantai 1 dan sisi bangunan dengan fasade fotovoltaik kemiringan  $5^\circ$ .  
 Sumber: The Solar Office Doxford International.pdf: 22, www.studioe.co.uk

Sistem peletakan fotovoltaik pada fasade yang diterapkan pada bangunan ini adalah sistem *photovoltaics sloping curtain wall*. Sistem ini merupakan sistem yang sangat efisien dalam menangkap energi radiasi matahari karena bidang miring yang diintegrasikan dengan fotovoltaik langsung menghadap ke arah matahari. Dan juga struktur yang tidak terlalu rumit yaitu tergantung kepada struktur utama dengan sedikit tambahan struktur untuk menopang panel.



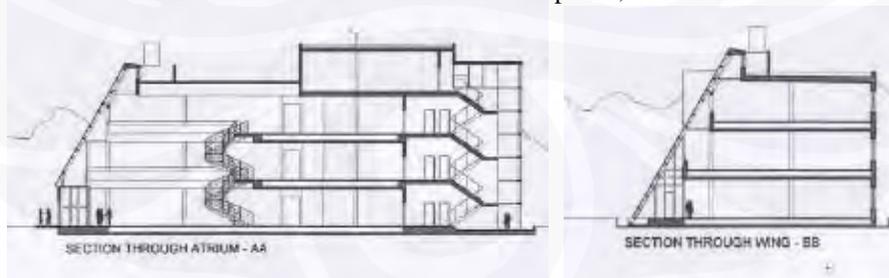
Gambar.65 Ilustrasi *Photovoltaics hybrid curtain wall*.

Sumber: [www.kisscathcart.com](http://www.kisscathcart.com). Kiss Cathcart Anders Architects, P.C.  
Building-Integrated Photovoltaics.pdf 1993: 18

Fasade fotovoltaiknya dimiringkan  $60^\circ$  dari bidang horizontal. Konfigurasi seperti ini merupakan konfigurasi yang baik untuk mendapatkan energi radiasi matahari yang efisien. Tapak yang menghadap dan dekat ke arah laut, sehingga sangat akan mendapatkan angin yang besar sehingga nantinya bangunan ini juga memperhatikan sirkulasi udara alami di dalamnya.



Gambar.66 Kemiringan fasade fotovoltaik dilihat dari perspektif tenggara.  
Sumber: The Solar Office Doxford International.pdf: 4, [www.studioe.co.uk](http://www.studioe.co.uk)



Gambar.67 Kemiringan fasade fotovoltaik dilihat dari gambar potongan bangunan.  
Sumber: The Solar Office Doxford International.pdf: 13, [www.studioe.co.uk](http://www.studioe.co.uk)

Kalau dilihat dari pemilihan panel fotovoltaik, bangunan ini menggunakan panel *monocrystalline silicon* berwarna biru (standar) dengan motif kotak-kotak (standar) dan bersifat *semitransparent*. Kemungkinan besar pemilihan tipe sel *monocrystalline silicon* adalah karena ingin mendapatkan efisiensi maksimal dari energi pancaran radiasi cahaya matahari. Tetapi jenis panel yang dipakai adalah *semitransparent* yang mempunyai jeda atau bagian yang transparan diantara yang buram sehingga menimbulkan suatu kualitas ruang tersendiri di bagian dalam seperti kotak-kotak bayangan.

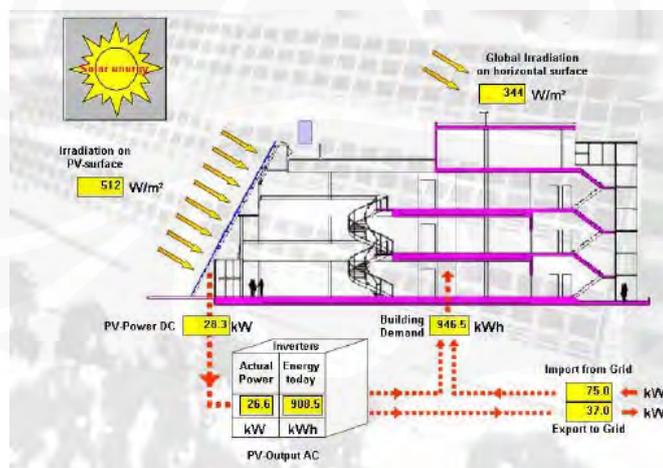


Gambar.68 Panel *monocrystalline silicon*.  
Sumber: [www.studioe.co.uk](http://www.studioe.co.uk)



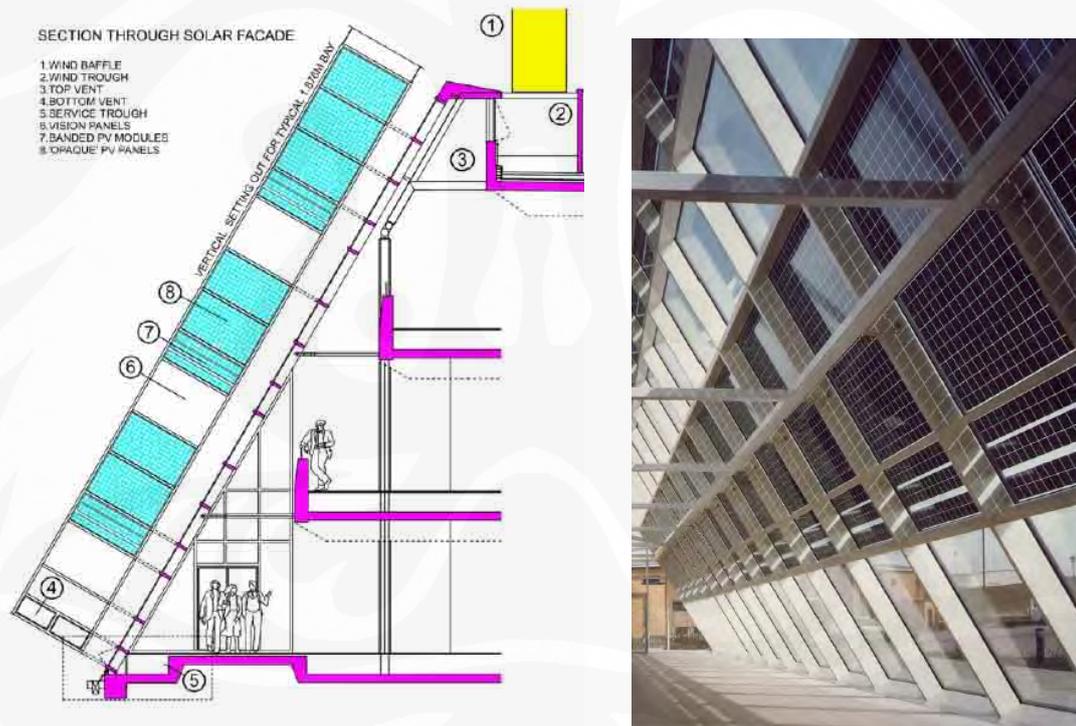
Gambar.69 Kualitas ruang dalam The Solar Office.  
Sumber: [www.studioe.co.uk](http://www.studioe.co.uk)

Sistem yang digunakan adalah *grid connected system* tetapi 1/3 dari keseluruhan konsumsi listrik adalah dari fotovoltaik. Sampai saat ini belum ada bangunan yang menerapkan instalasi fotovoltaik untuk mengganti keseluruhan energi listrik yang dibutuhkan kecuali bangunan dengan konsumsi energi yang rendah. Jadi bangunan ini juga mendapat asupan energi listrik dari perusahaan listrik negara setempat.



Gambar.70 Diagram pengaliran listrik dari *grid connected system*.  
Sumber: The Solar Office Doxford International.pdf: 42, [www.studioe.co.uk](http://www.studioe.co.uk)

Dari gambar potongan dapat dilihat, sisi bangunan dengan fotovoltaik kemiringan  $60^\circ$ . Dapat dilihat juga bahwa terjadi kombinasi pemasangan sel fotovoltaik antara sel yang *semitransparent* dan non-sel atau pelapis bening transparan. Hal ini dilakukan adalah selain untuk pemanfaatan aktif energi matahari juga untuk pemanfaatan pasif untuk pencahayaan alami pada bagian dalam ruang. Bagian fasade dengan pelapis bening transparan ini juga untuk tidak menghalangi view dari dalam bangunan kearah luar karena disepanjang fasade itu terdapat koridor disetiap lantainya, sehingga bagian pelapis transparan juga disesuaikan peletakannya yang harus sejajar dengan penglihatan orang ketika sedang berdiri atau berjalan. Untuk konstruksi fasade miring dengan fotovoltaik, strukturnya tidak terlepas kepada struktur utama bangunan. Penambahan struktur miring sebagai penahan beban sisi miring, dan sisi miring juga ikut ditopang oleh struktur yang dihubungkan ke tiap lantai bangunan.



Gambar.71 Potongan dan perspektif ruang dalam yang memperlihatkan kombinasi panel fotovoltaik dan penutup transparan serta konstruksi penopang panel.

Sumber: [www.studioe.co.uk](http://www.studioe.co.uk)

Dari segi tampak luar bangunan, karena bidang tempat peletakan panel fotovoltaik ini langsung menjadi bidang terluar atau dinding yang membatasi ruang dalam dan ruang luar, maka bangunan ini dari luar terlihat tidak biasa karena menjadi

seperti dinding kaca yang miring dan berwarna biru. Lebih terlihat *hi-tech* dan *futuristic* karena susunan panel-panel fotovoltaik yang langsung terlihat dari luar. Adanya permainan antara peletakan panel dan kaca transparan juga menambah estetika luar bangunan. Ini yang nantinya akan menarik pengunjung untuk datang dan memasuki ruang yang ada di dalam bangunan ini.



Gambar.72 Tampak depan bangunan *The Solar Office*.  
Sumber: [www.iea-pvps.org](http://www.iea-pvps.org)

### IV.3 Kesimpulan Studi Kasus

Hasil yang didapat dari analisis studi kasus ECN Building 31 di Belanda adalah:

Sebab	Akibat
Bangunan lama dan ditambahkan panel fotovoltaik.	Pemasangan fotovoltaik pada bidang terluas.
Latitude 52,47° utara	Orientasi bidang fasade tempat perletakan panel kearah barat daya.
Altitude 5m diatas permukaan laut	Penambahan panel pada atap dengan penerapan <i>flexible / metal photovoltaics substrates</i> dengan desain melengkung dan menggunakan sel <i>thin film</i> yang tipis
Azimuth & sudut jatuh sinar matahari	Kemiringan panel 37° terhadap horizontal
Bangunan dengan fungsi sebagai laboratorium.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menerapkan <i>hybrid awning system</i> pada fasade.</li> <li>- Menggunakan sel <i>polycrystalline silicone</i> buram.</li> <li>- Pemasangan <i>fixed</i> dan <i>moveable</i>.</li> </ul>
Hybrid awning system	Mempengaruhi ruang dalam yang merupakan laboratorium sehingga panel juga berfungsi sebagai <i>sun shading</i> dan tidak meneruskan cahaya ke dalam ruang.
Sel <i>polycrystalline</i> buram	Tidak meneruskan cahaya kedalam ruang dan efisien dalam menangkap radiasi matahari.
Pemasangan <i>fixed</i> dan <i>moveable</i>	Memberikan kesempatan melihat view ke luar bagi manusia yang sedang duduk bekerja di dalam bangunan dengan konstruksi tambahan yang bertumpu pada struktur utama bangunan. Pemasangan panel pada fasade juga diberi jarak sekitar 80m terhadap fasade utama . Tujuannya adalah untuk menyisakan ruang bagi para pekerja untuk

		membersihkan jendela atau maintenance fasade.
Penerapan panel fotovoltaik fasade dan atap	panel pada fasade dan atap	Tampak luar menjadi lebih hi-tech dan futuristic dengan adanya repetisi panel di fasade dan bentukan panel melengkung pada atap.

Gambar.73 Tabel hasil analisis studi kasus ECN Building 31 di Belanda.

Hasil yang didapat dari analisis studi kasus The Solar Office di Inggris adalah:

Sebab	Akibat
Bangunan baru dengan perencanaan hemat energi.	Pemasangan panel fotovoltaik pada bidang yang diorientasikan kearah yang paling efisien dalam menangkap radiasi cahaya matahari
Latitude 55° utara	Orientasi bidang fasade tempat peletakan panel kearah selatan
Altitude 30m diatas permukaan laut	Peletakan panel cukup pada fasade, tidak ada penambahan di atap
Azimuth dan sudut jatuh sinar matahari	Kemiringan panel 60° terhadap bidang horizontal
Bangunan dengan fungsi sebagai kantor dan komersil yang hemat energi.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- sistem <i>photovoltaics hybrid curtain wall</i> pada fasade secara <i>fixed</i></li> <li>- menggunakan sel <i>monocrystalline silicone semi transparent</i> dikombinasikan dengan kaca bening.</li> </ul>
<i>Photovoltaics hybrid curtain wall</i> secara <i>fixed</i>	Langsung menjadi dinding pembatas antara ruang komersil dengan ruang luar. Dari luar terlihat seperti dinding kaca miring dan setiap lantai di dalam mengikuti kemiringan dari dinding panel.
Sel <i>monocrystalline silicone semi transparent</i> kombinasi	Merupakan jenis sel yang paling efisien dalam menangkap radiasi cahaya matahari karena bangunan ini bangunan hemat energi. Sel <i>semitransparent</i> dapat meneruskan

dengan kaca bening.	cahaya matahari ke dalam ruang dan memberikan kualitas ruang yang baik seperti kotak-kotak bayangan. Pemasangan kaca bening untuk memberikan kesempatan bagi pengunjung yang sedang berdiri dan berjalan dapat melihat view kearah luar.
Pemasangan panel miring secara fixed sebagai dinding.	Penambahan konstruksi untuk bidang miring yang bertumpu kepada struktur utama bangunan.
Penerapan panel fotovoltaik pada fasade.	Tampak luar bangunan terlihat lebih hi-tech dan futuristic seperti dinding kaca miring berwarna biru dan hal inilah yang dapat menarik pengunjung untuk masuk ke dalam bangunan ini.

Gambar.74 Tabel hasil analisis studi kasus The Solar Office di Inggris.

Dari kedua tabel hasil analisis studi kasus terlihat bahwa perbedaan jenis, fungsi, dan kegiatan yang terjadi di dalam bangunan akan menambah sistem baru selain sistem yang sudah mempertimbangkan masalah kaitan letak geografis suatu wilayah dan pemilihan fotovoltaik. Seperti pada *ECN Building 31* di Belanda yang menambahkan sistem pemasangan *fixed* dan *moveable* pada panel serta memberi jarak 80cm terhadap fasade bangunan dengan tujuan untuk melindungi ruang laboratorium di dalam bangunan, memberi pandangan kearah luar, dan untuk maintenance fasade utama. Pada *The Solar Office* di Inggris, adanya kombinasi pemasangan antar sel semitransparent dan kaca bening dengan tujuan untuk memberikan pandangan kearah luar kepada orang yang sedang berjalan atau berdiri di dalam ruang komersil.

Berdasarkan hasil analisis studi kasus *ECN Building 31* di Belanda dan *The Solar Office* di Inggris, dapat disimpulkan bahwa perbedaan letak geografis suatu wilayah dan pemilihan fotovoltaik menyebabkan perbedaan penerapan panel fotovoltaik pada atap ataupun fasade bangunan dan juga perbedaan jenis, fungsi, dan kegiatan yang terjadi di dalam bangunan juga mempengaruhi penerapan panel fotovoltaik pada atap dan fasade bangunan.

## B A B V

### K E S I M P U L A N

Banyak sekali hal yang harus diperhatikan dalam penerapan panel fotovoltaik terintegrasi pada fasade dan atap. Ini dapat dilihat melalui pembelajaran dan pemahaman secara umum pada studi teori dan pendalaman yang dilakukan pada studi kasus (*ECN Building 31* di Belanda dan *The Solar Office* di Inggris) yang telah dibahas. Dapat ditarik kesimpulan bahwa penerapan panel fotovoltaik terintegrasi pada fasade dan atap memang harus sangat memperhatikan konsekuensi dari letak geografis wilayah dan jenis fotovoltaik dengan tujuan untuk mendapatkan radiasi matahari yang paling efisien. Tetapi penerapan ini juga bergantung kepada jenis dan fungsi bangunan dalam artian kegiatan yang terjadi di dalam bangunan, sehingga tidak memberi pengaruh buruk bagi ruang di dalam dan tampak luar bangunan.

Hasil yang didapat dari studi literature pada teori energi matahari yang berkaitan dengan upaya penerapan panel fotovoltaik pada atap dan fasade bangunan adalah:

- rotasi bumi, revolusi bumi, dan letak geografis suatu wilayah mempengaruhi cuaca dan iklim yang mengakibatkan perbedaan pancaran radiasi cahaya matahari pada setiap wilayah.
- latitude atau garis lintang mengakibatkan perbedaan durasi matahari di setiap wilayah sehingga mempengaruhi posisi dan orientasi bangunan yang akan menerapkan integrasi fotovoltaik
- altitude dan ketinggian wilayah diatas permukaan laut mempengaruhi peletakan panel di fasade atau atap karena semakin tinggi suatu wilayah dari permukaan laut, intensitas radiasi matahari akan lebih banyak.
- azimuth mengakibatkan perbedaan sudut jatuh cahaya matahari di setiap wilayah sehingga mempengaruhi kemiringan peletakan panel.

Hasil yang didapat dari studi literature pada teori fotovoltaik yang berkaitan dengan upaya penerapan panel fotovoltaik pada atap dan fasade bangunan adalah:

- orientasi, posisi dan kemiringan panel harus sesuai dengan konsekuensi dari letak geografis suatu wilayah untuk mendapatkan radiasi cahaya matahari yang paling efisien.
- Jenis bahan pembuatan sel fotovoltaik yang mempunyai efisiensi yang berbeda-beda dalam menangkap energi cahaya matahari.
- Perbedaan transparansi sel fotovoltaik yang memberikan pengaruh kepada ruang di dalam dan tampak luar bangunan.
- Sel fotovoltaik yang berwarna-warni yang menambah estetika luar bangunan.
- Sistem dan cara kerja fotovoltaik yang memerlukan sebuah inverter dan pemasangannya dapat dilakukan secara mandiri, hybrid, ataupun yang berintegrasi dengan sumber listrik negara.
- Perletakan fotovoltaik pada atap dan fasade dapat dilakukan dengan berbagai cara tergantung kepada kebutuhan bangunan dan mempengaruhi ruang dalam dan tampak luar bangunan.

Hasil kedua analisis studi kasus memperlihatkan bahwa perbedaan jenis, fungsi, dan kegiatan yang terjadi di dalam bangunan akan menambah sistem baru selain sistem yang sudah mempertimbangkan masalah kaitan letak geografis suatu wilayah dan pemilihan fotovoltaik. Seperti pada *ECN Building 31* di Belanda yang menambahkan sistem pemasangan *fixed* dan *moveable* pada panel serta memberi jarak 80cm terhadap fasade bangunan dengan tujuan untuk melindungi ruang laboratorium di dalam bangunan, memberi pandangan kearah luar, dan untuk maintenance fasade utama. Pada *The Solar Office* di Inggris, adanya kombinasi pemasangan antar sel *semitransparent* dan kaca bening dengan tujuan untuk memberikan pandangan kearah luar kepada orang yang sedang berjalan atau berdiri di dalam ruang komersil.

Jadi, penerapan panel fotovoltaik pada atap dan fasade bangunan memang harus mempertimbangkan kaitan antara konsekuensi letak geografis wilayah dan panel fotovoltaik dan juga tergantung kepada jenis, fungsi, dan kegiatan yang terjadi di dalam bangunan. Sehingga penerapan sistem ini nantinya dapat bekerja dengan baik pada berbagai jenis bangunan, menciptakan atmosfir positif pada ruang dalam bangunan dan memberikan kualitas visual yang baik pada tampak luar bangunan.

## DAFTAR PUSTAKA

1978, *Process: Architecture No.6, Solar Architecture*, Jepang.

Anderson, Bruce. 1977, *Solar Energy: Fundamental in Building Design*. USA: McGraw-Hill Book Company.

Fitriani, Yusi. 1997, *Penerapan Arsitektur Surya Pada Menara Perkantoran di Daerah Tropis Lembab, Kajian pada Bangunan wisma 46-Kota BNI dan Menara Mesiniaga Malaysia*, Skripsi Sarjana, Depok.

Givoni, B. 1976, *Man, Climate, and Architecture* (second Edition), London: Applied Science Publishers Ltd.

Hendroyono, Tony. 2007, *Bangunan Mandiri dengan Sel Photovoltaics*, I-Arch Indonesia Architecture Magazine, edisi Smart Building, Jakarta: PT. Grasindo Mediatama.

Humm, Othmar; Toggweller, Peter. 1993, *Photovoltaics in Architecture*, The Integration of Photovoltaics Cell in Building Envelopes, Birkhauser Verlag.

Karyono, Tri Harso. 1999, *Arsitektur Kemapanan Pendidikan Kenyamanan dan Penghematan Energi*. Jakarta: Catur Libra Optima.

Koeningsberger; Ingersoll; Mayhew; Szokolay. 1974, *Manual of Tropical Housing and Building* (Part 1, Climatic Design), London: Longman Group Ltd.

Kukreja, C.P. 1978, *Tropical Architecture*, New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Ltd.

Lechner, Norbert. 2007, *Heating, Cooling, Lighting Metode Desain untuk Arsitektur* (edisi kedua), Jakarta: PT. RajaGrafindo Persada.

Lippsmeier, Georg. 1994, *Bangunan Tropis*, terjemahan Ir. Syahmir Nasution & Ir. PurnomoWahyu Indarto dari Tropenbau Building in Tropics.

Mangunwijaya, Y.B. 1999, *Pengantar Fisika Bangunan*.

*Menikmati Listrik dari Matahari*, Tabloid Rumah, edisi 103. V / 23 Januari – 05 Februari 2007.

Nusantari, Era. 2005, *Pengahalang Cahaya Matahari (Sun Shading), Orientasi Bangunan terhadap Cahaya matahari dengan Studi Kasus Bangunan di Daerah Tropis*, Skripsi Sarjana, Depok.

Olgay, Victor; Aladar. *Solar Control and Shading Devices*.

Prasad, Deo; Snow, Mark. 2005, *Designing With Solar Power A Source Book for Building Integrated Photovoltaics (BiPV)*, Australia: The Images Publishing Group Pty Ltd and Earthscan.

Szokolay, S.V. 1974, *Solar Energy and Building* (Second Edition), London: The Architectural Press.

Tabb, Philip. 1984, *Solar Energy Planning, A Guide to Residential Settlement*, U.S.A: McGraw Hill.

Yanti, Nurul. 2002, *Penerapan Arsitektur Solar Pada Bangunan Sekolah*, Skripsi Sarjana, Depok.

Buidling-Integrated Photovoltaics.pdf, January 1993 Kiss Cathcart Anders Architects, P.C, [www.kisscathcart.com](http://www.kisscathcart.com).

Mintorogo, Danny Santoso, Desember 2000, Strategi Aplikasi Sel Surya (Photovoltaics Cells) pada Perumahan dan Bangunan Komersial.pdf.

Pearsall, Nicola M; Hill, Robert. April 2001, Photovoltaics Modules, Systems, and Applications.pdf.

Lundgren, Marja; Engström, Dan; Torstensson, Kjell. Desember 2003, Photovoltaics in architecture.pdf, , Lessons learned in PV Nord, www.pvnord.com

Wenas, Wilson Walery, Teknologi Sel Surya : Perkembangan Dewasa Ini dan yang Akan Datang.pdf

Yulianto, Brian. Teknologi Sel Surya untuk Energi Masa Depan.pdf

Karyono, Tri Harso. Tenaga Surya dan Arsitektur: Suatu Analisis Lingkungan dan Perancangan.pdf.

Zulfikri, Juli 2007. Arsitektur Surya. Zulfikri's weblog

[www.bear.nl](http://www.bear.nl)

[www.gaisma.com](http://www.gaisma.com)

[www.google.com](http://www.google.com)

[www.iea-pvps.org](http://www.iea-pvps.org)

[www.pvdatabase.com](http://www.pvdatabase.com)

[www.studioe.co.uk](http://www.studioe.co.uk)

## DAFTAR ISTILAH

- *Awning system*: sistem tenda pada perletakan fotovoltaik
- *Building Integrated Photovoltaics*: Bangunan dengan Fotovoltaik terintegrasi
- *Cladding*: bahan material yang bersifat melindungi/penutup bagian dari bangunan, baik sebagai penutup balok, kulit luar bangunan, kolom dan lainnya.
- *Clear glazing*: lapisan penutup bersih transparan/ kaca bening
- *Curtain wall*: dinding kulit luar bangunan yang tidak memikul beban vertical, sehingga tebal dan beratnya relative lebih ringan dari berat dinding pemikul beban
- *Latitude*: garis lintang
- *Photovoltaics*: sistem surya aktif
- *Solar collector, solar cell*: komponen pengumpul pada system surya aktif
- *Sun shading*: penghalang cahaya matahari
- *Sunpath*: jalur pergerakan matahari
- *Tilt and orientation*: kemiringan dan orientasi

## LAMPIRAN

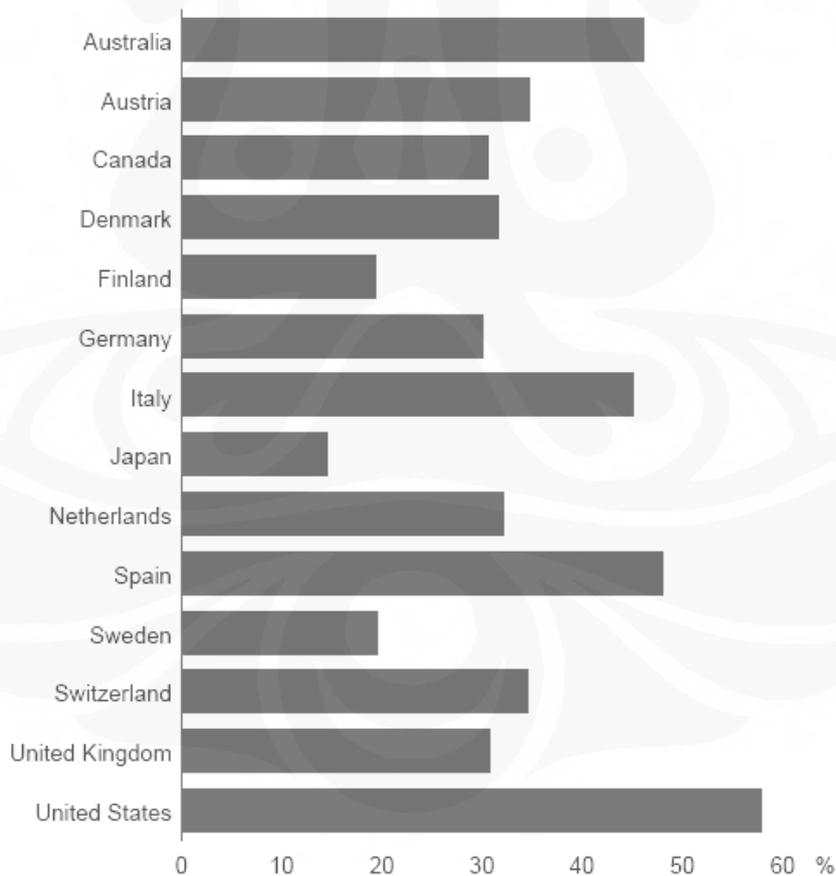
Table 2: BIPV Area Potential for Roofs and Areas of Selected IEA Countries (Nowak, et al. 2002)

BIPV area potential (in km <sup>2</sup> )		Residential buildings	Agricultural buildings	Industrial buildings	Commercial buildings	Other buildings	All buildings
Australia 	Roof	373.50	22.50	6.00	16.5	3.75	422.25
	Facade	140.06	2.81	2.25	8.25	1.41	158.34
Austria 	Roof	85.65	17.13	15.19	17.45	4.20	139.62
	Facade	32.12	2.14	5.70	8.73	1.58	52.36
Canada 	Roof	727.20	36.36	60.60	133.32	6.06	963.54
	Facade	272.70	4.55	22.73	66.66	2.72	361.33
Denmark 	Roof	50.88	14.84	10.60	10.60	1.06	87.98
	Facade	19.08	1.86	3.98	5.30	0.40	32.99
Finland 	Roof	78.28	21.01	19.16	8.45	0.41	127.31
	Facade	19.08	1.86	3.98	5.30	0.40	32.99
Germany 	Roof	721.78	164.04	229.66	164.04	16.40	1 295.92
	Facade	270.67	20.51	86.12	82.02	6.15	485.97
Italy 	Roof	410.26	113.96	136.75	91.17	11.40	763.53
	Facade	153.85	14.25	51.28	45.58	4.27	286.32
Japan 	Roof	753.88	40.48	75.89	91.07	5.06	966.38
	Facade	282.71	5.06	28.46	45.54	1.90	362.39
Netherlands 	Roof	127.48	42.70	52.75	35.80	0.63	259.36
	Facade	47.81	5.34	19.78	17.90	0.24	97.26
Spain 	Roof	251.97	78.74	55.12	55.12	7.87	448.82
	Facade	94.49	9.84	10.67	27.56	2.95	168.31
Sweden 	Roof	134.52	36.11	32.92	14.51	0.71	218.77
	Facade	50.45	4.51	12.35	7.26	0.27	82.04
Switzerland 	Roof	67.12	21.90	21.05	12.80	15.36	138.22
	Facade	25.17	2.74	7.89	6.40	5.76	51.83
United Kingdom 	Roof	601.88	71.09	61.61	168.24	11.85	914.67
	Facade	225.70	8.89	23.10	84.12	4.44	343.00
United States 	Roof	6 791.83	322.91	602.76	2 260.36	118.40	10 096.26
	Facade	2 546.94	40.36	226.04	1 130.18	44.40	3785.10

**Table 4:** Solar electricity BIPV potential fulfilling the good solar yield (80% of the maximum local annual solar input, separately defined for slope roofs and façades and individually for each location / geographical unit). Source: IEA for electricity consumption in 1998

Solar electricity BIPV production potential	Potential production of solar electricity (TWh/y) on roofs	Potential production of solar electricity (TWh/y) on façades	Potential production of solar electricity (TWh/y) on building envelope	Actual electricity consumption (in TWh)	Ratio "solar electricity production potential / electricity consumption"
Australia	68.176	15.881	84.057	182.24	46.1%
Austria	15.197	3.528	18.725	53.93	34.7%
Canada	118.708	33.054	151.762	495.31	30.6%
Denmark	8.710	2.155	10.865	34.43	31.6%
Finland	11.763	3.063	14.827	76.51	19.4%
Germany	128.296	31.745	160.040	531.64	30.1%
Italy	103.077	23.827	126.904	282.01	45.0%
Japan	117.416	29.456	146.872	1 012.94	14.5%
Netherlands	25.677	6.210	31.887	99.06	32.2%
Spain	70.689	15.784	86.473	180.17	48.0%
Sweden	21.177	5.515	26.692	137.12	19.5%
Switzerland	15.044	3.367	18.410	53.17	34.6%
United Kingdom	83.235	22.160	105.395	343.58	30.7%
United States	1 662.349	418.312	2 080.661	3 602.63	57.8%

**Figure 12:** Achievable levels of solar power production from photovoltaic roofs and façades in IEA countries. Levels are expressed in the ratio "solar electricity production potential / electricity consumption", given the solar yield criterion of 80% and an overall photovoltaic system efficiency of 10%.



Tabel 1. Intensitas Radiasi Matahari di Indonesia

Propinsi	Lokasi	Tahun Pengukuran	Posisi Geografis	Intensitas Radiasi (Wh/m <sup>2</sup> )
NAD	Pidie	1980	4°15' LS; 96°52' BT	4.097
SumSel	Ogan Komering Ulu	1979-1981	3°10' LS; 104°42' BT	4.951
Lampung	Kab. Lampung Selatan	1972-1979	4°28' LS; 105°48' BT	5.234
DKI Jakarta	Jakarta Utara	1965- 1981	6°11' LS; 106°05' BT	4.187
Banten	Tangerang	1980	6°07' LS; 106°30' BT	4.324
	Lebak	1991 - 1995	6°11' LS; 106°30' BT	4.446
Jawa Barat	Bogor	1980	6°11' LS; 106°39' BT	2.558
	Bandung	1980	6°56' LS; 107°38' BT	4.149
Jawa Tengah	Semarang	1979-1981	6°59' LS; 110°23' BT	5.488
DI Yogyakarta	Yogyakarta	1980	7°37' LS; 110°01' BT	4.500
Jawa Timur	Pacitan	1980	7°18' LS; 112°42' BT	4.300
KalBar	Pontianak	1991-1993	4°36' LS; 9°11' BT	4.552
KalTim	Kabupaten Berau	1991-1995	0°32' LU; 117°52' BT	4.172
		1979 - 1981	3°27' LS; 114°50' BT	4.796
KalSel	Kota Baru	1991 - 1995	3°25' LS; 114°41' BT	4.573
		1991-1995	1°32' LU; 124°55' BT	4.911
Gorontalo	Gorontalo	1991-1995	1°32' LU; 124°55' BT	4.911
SulTeng	Donggala	1991-1994	0°57' LS; 120°0' BT	5.512
Papua	Jayapura	1992-1994	8°37' LS; 122°12' BT	5.720
Bali	Denpasar	1977- 1979	8°40' LS ; 115°13' BT	5.263
NTB	Kabupaten Sumbawa	1991-1995	9°37' LS; 120°16' BT	5.747
NTT	Ngada	1975-1978	10°9' LS; 123°36' BT	5.117

Sumber: BPPT, BMG

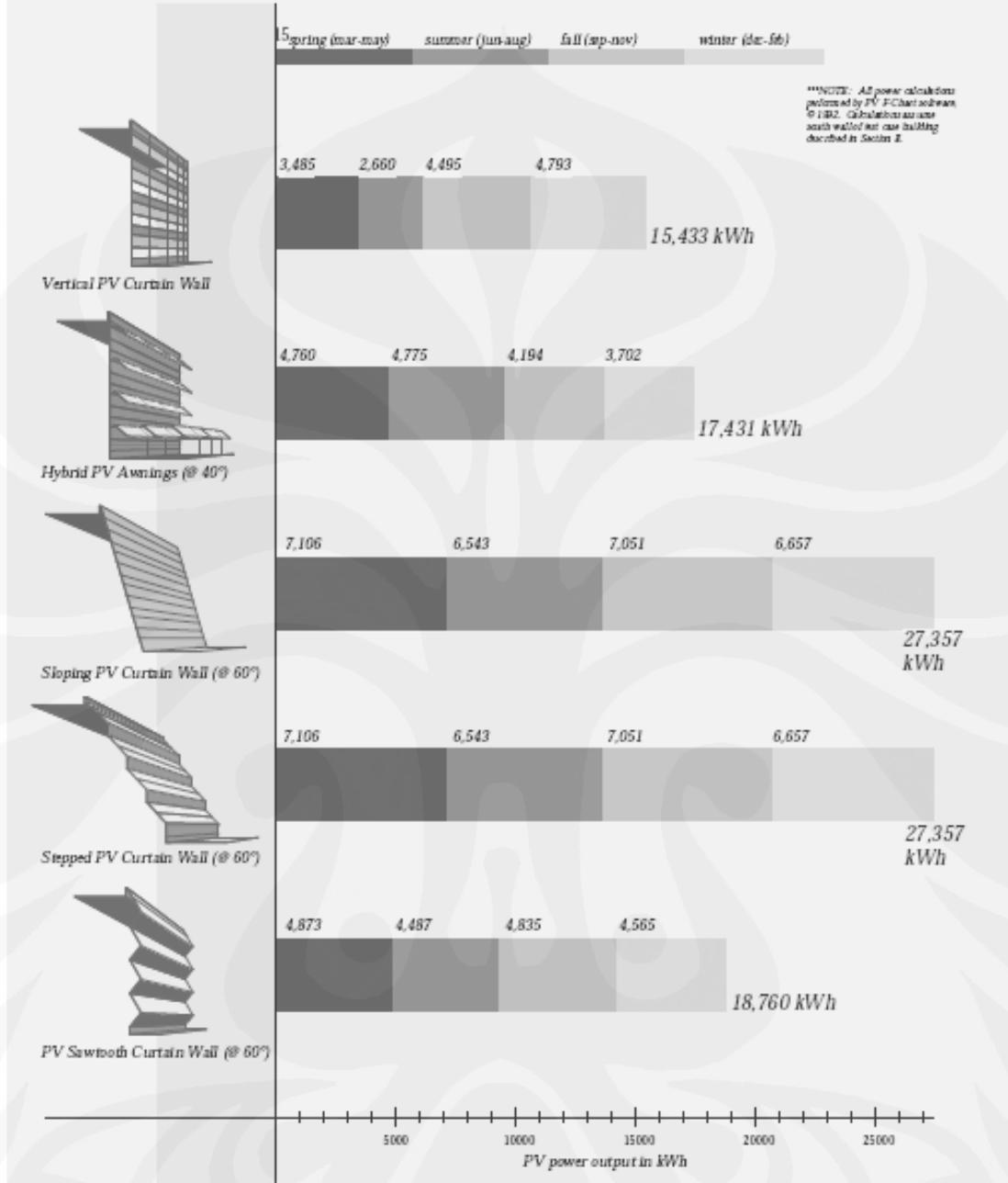
Pada Tabel 1 terlihat bahwa Nusa Tenggara Barat dan Papua mempunyai intensitas radiasi matahari paling tinggi di seluruh wilayah Indonesia, sedangkan Bogor mempunyai intensitas radiasi matahari paling rendah di seluruh wilayah Indonesia. Dalam penelitian potensi PLTS di Indonesia ini, semua wilayah baik yang mempunyai intensitas radiasi matahari paling tinggi maupun paling rendah dipertimbangkan.

**Table I :**

Confirmed Terrestrial Cell and Sub-module Efficiency measured under the global AM 1,5 spectrum ( 1000 W/m<sup>2</sup> ) at 25 degree C.

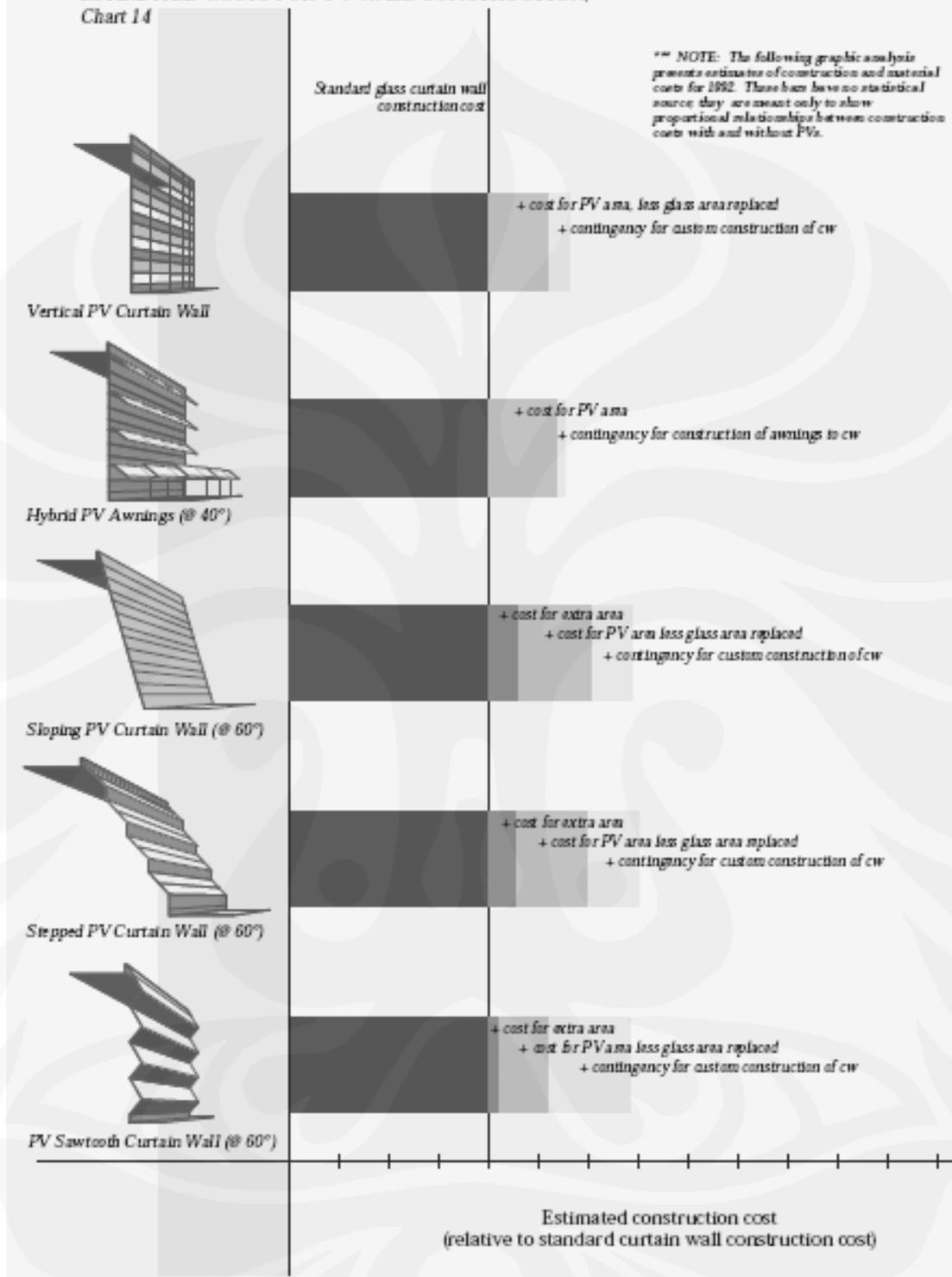
Classification <sup>a</sup>	Effic. <sup>b</sup> (%)	Area <sup>c</sup> (cm <sup>2</sup> )	Voc (V)	Jsc (mA/cm <sup>2</sup> )	FF <sup>d</sup> (%)	Test Centre <sup>e</sup> (and Date)	Description
<b>Silicon Cells</b>							
Si (crystalline)	24.4 ± 0.5	4.00 (da)	0.696	42.0	83.6	Sandia (2/98)	UNSW PERL <sup>12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

B. SEASONAL PV POWER GENERATION FOR 3 SOUTH-FACING CURTAIN WALL CONFIGURATIONS



ESTIMATED COSTS FOR PV WALL CONSTRUCTION

Chart 14





Aplikasi fotovoltaik pada bangunan dan bukan bangunan.



Aplikasi fotovoltaik pada bangunan dan bukan bangunan.

