

**OPTIMASI KINERJA PANEL SURYA MELALUI
PENGATURAN PANEL SEBAGAI SUN SHADING UNTUK
MENEKAN BIAYA LISTRIK BANGUNAN**

**OPTIMIZING SOLAR PANEL PERFORMANCE BY ARRANGING PANEL AS
SUN SHADING TO REDUCE BUILDING ELECTRICITY COST**

TESIS

KARLINA ROMASINDAH

0606003966



**DEPARTEMEN ARSITEKTUR
BIDANG KEKHUSUSAN TEKNOLOGI BANGUNAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS INDONESIA
2008**

**OPTIMASI KINERJA PANEL SURYA MELALUI
PENGATURAN SUSUNAN PANEL SEBAGAI SUN
SHADING UNTUK MENEKAN BIAYA LISTRIK BANGUNAN**

**OPTIMIZING SOLAR PANEL PERFORMANCE BY ARRANGING PANEL AS
SUN SHADING TO REDUCE BUILDING ELECTRICITY COST**

Tesis ini diajukan sebagai kelengkapan persyaratan kurikulum program Pasca Sarjana Universitas
Indonesia untuk memperoleh gelar Magister Arsitektur

KARLINA ROMASINDAH

0606003966



**DEPARTEMEN ARSITEKTUR
BIDANG KEKHUSUSAN TEKNOLOGI BANGUNAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS INDONESIA
2008**

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tesis saya dengan judul:

OPTIMASI KINERJA PANEL SURYA MELALUI PENGATURAN PANEL SEBAGAI SUN SHADING UNTUK MENEKAN BIAYA LISTRIK BANGUNAN

OPTIMIZING SOLAR PANEL PERFORMANCE BY ARRANGING PANEL AS SUN SHADING TO REDUCE BUILDING ELECTRICITY COST

yang disusun untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Magister Arsitektur Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari tesis yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Depok, 18 Juli 2008



Karlina Romasindah

(0606003966)

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis dengan judul:

OPTIMASI KINERJA PANEL SURYA MELALUI PENGATURAN PANEL SEBAGAI SUN SHADING UNTUK MENEKAN BIAYA LISTRIK BANGUNAN

**OPTIMIZING SOLAR PANEL PERFORMANCE BY ARRANGING PANEL AS SUN SHADING TO
REDUCE BUILDING ELECTRICITY COST**

dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Magister Arsitektur pada kekhususan Teknologi Bangunan Departemen Arsitektur, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, dan telah diujikan pada sidang ujian tesis.

Depok, 18 Juli 2008

PEMBIMBING I



Ir. Azrar Hadi, Ph.D

NIP. 131471952

PEMBIMBING II



Ir. Siti Handjarinto, MSc

NIP. 131408291

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur Alhamdulillah kepada Allah SWT atas anugerah dan kasih sayang-Nya yang sangat luar biasa sehingga penulis diberi kesempatan untuk mengenyam pendidikan magister sampai menyelesaikan Tesis ini tepat pada waktunya. Tesis ini diajukan sebagai syarat untuk menyelesaikan program studi strata 2 (S2) Magister Arsitektur Universitas Indonesia. Selama penyusunan tesis, penulis banyak dibantu oleh beberapa pihak. Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Azrar Hadi, Ph.D., selaku pembimbing pertama atas saran-sarannya yang membuka wawasan, kesabaran dalam mengarahkan penulis dan motivasi selama penulisan sehingga tesis ini dapat selesai. Terima Kasih atas kepercayaannya.
2. Ibu Ir. Siti Handjarinto, MSc, selaku pembimbing kedua atas kesabaran dan pengertian ibu selama penulisan ini begitu berarti bagi penulis untuk terus melangkah. Terima kasih atas kesempatan, ilmu dan waktu yang ibu berikan.
3. Dosen-dosen Arsitektur Universitas Indonesia dan seluruh civitas akademika Universitas Indonesia. Pengalaman yang didapat tidak dapat penulis ungkapkan dengan kata. Terima kasih banyak atas kesediannya mengajar penulis.
4. Keluargaku (kedua orangtuaku dan ketiga kakakku) terkasih atas segala tawa serta kesunyian yang kalian berikan untuk menyusun tesis ini. Kesempatan, doa serta dukungan dan kasih sayang yang tak akan pernah mampu terbayar sampai kapanpun.
5. Sahabat-sahabatku Dita, Iyus, Dradjad, dan Anto, dan teman seperjuangan magister Arsitektur UI angkatan 2005, 2006, dan 2007 yang selalu ada untuk diskusi dan bersenang-senang. Semua waktu yang kita lewati sangat membantu menghilangkan penat perkuliahan.
6. Rekan dan saudara yang tidak mungkin penulis tuliskan satu persatu. Dimanapun kalian berada selalu memberikan goresan kesan yang tak bisa terhapuskan.

Akhir kata penulis sangat menyadari bahwa masih banyak kekurangan yang ada dalam tesis ini, tetapi sedikitnya semoga dapat memberi masukan dan pengetahuan terutama bagi mereka yang tertarik pada dunia panel surya.

Jakarta, 18 Juli 2008

Penulis,

Karlina Romasindah

OPTIMIZE SOLAR PANEL PERFORMANCE BY ARRANGING PANEL AS SUN SHADING TO REDUCE BUILDING ELECTRICITY COST

Karlina Romasindah

Abstract

Photovoltaics known as solar panel has been well broad in the research activity as well as practical utilization. Installation of the solar panel gives a new approaching to building design as well as it provides clean energy to building. In Indonesia, research about solar panels as sun shading had never been done. All research that have been done are about the optimize performance solar panels in slopped roof and also the optimum tilt for photovoltaics as stand alone system. So that, the main purpose of this research is finding the optimum performance of solar panel as sun shading to reduce building electricity cost.

Optimum performance means the effective solar panels array which produce the most energy. Solar panels effectivity depend on panel's orientation, panel's tilt, shadow on panels, dust on panel's surface, and solar panels distance to inverter. Building dimension, building surrounding condition, and total area for solar panel are significant datas for PVSYST simulation.

Engineering center University of Indonesia was chosen as case study because of the orientation (north and south), free of building shadow and the energy demand more than 80.000 watt. Buliding with north orientation, horizontal device sun shading with north orientation and tilt 25° could produce more energy than east, west or south orientation, and also vertical device sun shading with tilt 10° or 30°.

Solar cell arrangement in modul do not depending on the available space of panel itself. Solar cell dimension is 5,75 cm/cell, so that it can be use in all building element, especially sun shading. By using Autocad simulation in solar cell array, solar panel with 36 solar cell in 40 cm x 40 cm solar panel could produce 36% energy of total energy demand.

36% energy of total energy demand mean that engineering center University of Indonesia need 580 solar panels as sunshading. In the beginning investment, 580 solar panel spend more money than conventional electricity (PLN). In the year 2018, conventional electricity payment could be reduce 34% off.

Key words : solar panel, tilt angled, horizontal device, solar cell array,

OPTIMASI KINERJA PANEL SURYA DENGAN PENGATURAN SUSUNAN PANEL PADA FASADE BANGUNAN UNTUK MENEKAN BIAYA LISTRIK BANGUNAN

Karlina Romasindah

Abstrak

Photovoltaics atau panel surya telah banyak dikembangkan baik dalam bidang keilmuan ataupun teknologi terapan. Panel surya memberikan pendekatan baru dalam perancangan bangunan sebagai sumber listrik yang ramah lingkungan. Di Indonesia, penelitian mengenai penggunaan panel surya sebagai teritisan belum pernah dilakukan. Semua penelitian panel surya yang pernah dilakukan mengenai optimasi kinerja panel surya pada atap miring dan kemiringan optimal panel surya dengan sistem stand alone. Oleh sebab itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja panel surya yang optimal sebagai teritisan untuk menekan biaya listrik bangunan.

Kinerja yang optimal berarti susunan panel surya yang efektif menghasilkan energi terbesar. Efektivitas panel surya bergantung pada orientasi panel, kemiringan panel, bayangan pada panel, debu pada permukaan panel, dan jarak panel ke inverter. Dimensi bangunan, kondisi sekitar bangunan, dan total area untuk panel surya merupakan data penting yang dimasukkan ke dalam simulasi PVSYST untuk analisis.

Engineering center Universitas Indonesia dipilih sebagai studi kasus karena orientasi bangunan utara-selatan, terbebas dari bayangan bangunan sekitar, dan kebutuhan energi listrik diatas 80.000 watt. Bangunan dengan orientasi utara, teritisan tipe horisontal dengan kemiringan panel 25° menghasilkan energi lebih besar daripada orientasi timur, barat, atau selatan, serta teritisan tipe vertikal dengan kemiringan 10° atau 30° .

Pengaturan sel surya pada panel tidak bergantung pada ruang yang tersedia pada panel itu sendiri. Dengan ukuran 5,75 cm/sel, sel surya bisa digunakan pada semua elemen bangunan, terutama teritisan. Dengan menggunakan simulasi Autocad, panel dimensi 40cm x 40cm (36 sel surya) mampu menghasilkan 36% energi dari total kebutuhan energi.

36% energi dari total kebutuhan energi berarti engineering center Universitas Indonesia membutuhkan 580 panel surya sebagai teritisan. Pada investasi awal, 580 membutuhkan biaya lebih besar daripada listrik konvensional. Pada tahun 2018, pembayaran listrik konvensional dapat ditekan sebesar 30%.

Kata kunci : panel surya, *solid overhang*, *inclined walls*, nilai investasi panel, susunan sel surya, PVSYST

DAFTAR ISI

ABSTRAK	.....	i
ABSTRACT	.....	ii
UCAPAN TERIMA KASIH	.....	iii
DAFTAR ISI	.....	iv
DAFTAR GAMBAR	.....	vi
DAFTAR TABEL		
BAB I	PENDAHULUAN	
I.1	Latar Belakang	1
I.2	Permasalahan	3
I.3	Pertanyaan Penelitian	4
I.4	Tujuan Penelitian	4
I.5	Batasan Penelitian	4
I.6	Urutan Penulisan	5
I.7	Alur Pikir	7
BAB II	TINJAUAN TEORI	
2.1	Karakteristik Bangunan di Indonesia	8
2.1.1.	Karakteristik Bangunan Perkantoran	8
2.1.2.	Engineering Center	9
2.1.3.	Sun Shading pada Bangunan	11
2.2	Karakteristik Energi Matahari	15
2.2.1.	Radiasi Surya	15
2.2.2.	Pergerakan Relatif Matahari	18
2.3	Panel Surya Sebagai Sumber Energi Alternatif	19
2.3.1.	Perkembangan Panel Surya	20
2.3.2.	Spesifikasi Sel Surya	21
2.3.3.	Kinerja Sel Surya	23
2.3.4.	Faktor yang Mempengaruhi Operasional Sel Surya	25
2.3.5.	Sistem Panel Surya	29
2.4	Building Integrated Photovoltaics (BIPV)	34
2.4.1.	Panel Surya pada Atap bangunan	34
2.4.2.	Panel Surya pada Fasade Bangunan dan Sun Shading	35
2.5.	Penelitian Sebelumnya	39
2.6.	Kerangka Teori	39
BAB III	METODE PENELITIAN	
3.1.	Kerangka Penelitian	41
3.2.	Variabel Penelitian	42

3.2.1.	Orientasi Bangunan	.....	42
3.2.2.	Variabel Kemiringan Panel Surya	.....	45
3.3.	Luas Permukaan Fasade untuk Panel Surya	.....	46
3.3.1.	Variabel Perletakkan Panel Surya pada Fasade	.....	47
3.4.	Variabel Ketinggian Panel Surya	.....	48
3.5.	Penelitian Menggunakan Simulasi PVSYST	.....	49
3.5.1.	Variabel Simulasi PVSYST	.....	51
3.6.	Variabel Konfigurasi Susunan Panel pada Fasade	.....	51
3.7.	Hal-hal yang Diperhatikan pada Saat Penelitian	.....	53
3.8.	Langkah-langkah Penelitian	.....	53
BAB IV	DATA DAN ANALISIS		
4.1.	Data Hasil Simulasi PVSYST	.....	55
4.1.1.	Kemiringan Panel 10°	.....	55
4.1.2.	Kemiringan Panel 25°	.....	57
4.1.3.	Kemiringan Panel 30°	.....	59
4.1.4.	Analisis hasil Simulasi	.....	61
4.2.	Analisis Bangunan Engineering center	.....	66
4.2.1.	Analisis Ruang Aktif Engineering center	.....	66
4.2.2.	Kebutuhan Energi Listrik Engineering center	.....	67
4.2.3.	Analisis Jarak panel ke Inverter	.....	70
4.2.4.	Analisis Luas Permukaan Fasade untuk Panel Surya	.....	72
4.3	Analisis Susunan Panel sebagai Sun shading	.....	73
4.4.	Analisis Ekonomi	.....	80
4.4.1	Analisis Biaya Investasi Panel Surya	.....	81
4.4.2.	perbandingan nilai investasi dengan biaya listrik konvensional (PLN)	.....	81
4.4.3.	Perbandingan nilai investasi dengan biaya listrik konvensional (PLN)	.....	83
4.4.4.	Kesimpulan Analisis	.....	83
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1.	Kesimpulan	.....	85
5.2.	Saran	.....	86
DAFTAR PUSTAKA		.....	87
DAFTAR WEBSITE		.....	88

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1	Denah lantai tipikal engineering center	9
Gambar 2-2	Tampak utara engineering center	10
Gambar 2-3	Penempatan core pada engineering center	10
Gambar 2-4	Vertical perpendicular fins	11
Gambar 2-5	Vertical Angled fins	11
Gambar 2-6	Adjustable vertical fins	12
Gambar 2-7	Solid Overhang Horizontal	12
Gambar 2-8	Louvered overhang Paralell	13
Gambar 2-9	Louvered overhang pendicular	13
Gambar 2-10	Horizontal Louvers	13
Gambar 2-11	Fixed eggcrate	14
Gambar 2-12	Angled eggcrate	14
Gambar 2-13	Adjustable eggcrate	15
Gambar 2-14	Persentase energy matahari yang diserap dan dipantulkan oleh permukaan bumi	16
Gambar 2-15	Perhitungan air mass menggunakan panjang bayangan benda dengan tinggi tertentu	17
Gambar 2-16	Sudut Deklinasi	8
Gambar 2-17	Lapisan mono-poly silicon kristal	20
Gambar 2-18	Sel surya tipe poly-crystalline	21
Gambar 2-19	Susunan Sel (23 x 51,75) cm = 35cm x 55cm	22
Gambar 2-20	Susunan Sel (34,5 x 34,5) cm = 40cm x 40cm	23
Gambar 2-21	Hubungan Maximum power Voltage dan Circuit current	24
Gambar 2-22	Pergerakan matahari dalam setahun	25
Gambar 2-23	Sistem Grid connected	30
Gambar 2-24	Sistem Hybrid	30
Gambar 2-25	Sistem Stand Alone	31
Gambar 2-26	Aliran energy dari solar cell ke baterai	31
Gambar 2-27	Ruang Kontrol inverter dan ruang penyimpanan	33
Gambar 2-28	Pemasangan panel pada atap datar	34
Gambar 2-29	pemasangan panel pada atap miring	35
Gambar 2-30	pilihan pemasangan sel surya pada atap bangunan	35
Gambar 2-31	University of Erlangen	36
Gambar 2-32	Instruksi pembautan panel surya	36
Gambar 2-33	Adjustable tilt PV shading	37
Gambar 2-34	sistem pemasangan panel surya sebagai <i>sun shading</i> dengan tipe <i>solid overhang</i> dan <i>inclined wall</i>	37
Gambar 2-35	Sistem pemasangan panel surya sebagai sun shading dan atap datar	38
Gambar 2-36	pilihan pemasangan sel surya pada fasade bangunan	38
Gambar 3-1	Pembagian Orientasi engineering center	42
Gambar 3-2	Pembagian zona ruang yang aktif digunakan	43

Gambar 3-3	pembagian zona berdasarkan rasio bangunan	44
Gambar 3-4	Variabel Orientasi	45
Gambar 3-5	susunan panel pada simulasi	47
Gambar 3-6	susunan panel pada fasade orientasi utara	47
Gambar 3-7	susunan panel pada fasade orientasi timur laut	48
Gambar 3-8	Jarak jatuhnya sinar pada bangunan	48
Gambar 3-9	Alternatif 1 Perletakkan panel surya pada fasade engineering center	49
Gambar 3-10	Alternatif 2 perletakkan panel surya pada fasade engineering center	49
Gambar 3-11	Preliminary Design	50
Gambar 3-12	Solid overhang	51
Gambar 3-13	Louvered overhang parallel	51
Gambar 3-14	Inclined with windows	52
Gambar 3-15	Inclined wall	52
Gambar 3-16	alternatif 1 susunan panel surya	52
Gambar 3-17	alternatif 2 susunan panel surya	53
Gambar 4-1	Pergerakan Matahari sepanjang tahun	57
Gambar 4-2	Pergerakan Matahari sepanjang tahun	59
Gambar 4-3	Pergerakan Matahari sepanjang tahun	61
Gambar 4-4	hasil simulasi untuk performance ratio pada orientasi 0	62
Gambar 4-5	hasil simulasi untuk performance ratio pada orientasi 45°.	63
Gambar 4-6	hasil simulasi untuk solar fraction (f) pada orientasi 0°.	63
Gambar 4-7	hasil simulasi untuk <i>Solar fraction</i> (f) pada orientasi 45°.	64
Gambar 4-8	hasil simulasi untuk Missing Energi pada orientasi 0°.	64
Gambar 4-9	hasil simulasi untuk Missing Energi pada orientasi 45°.	65
Gambar 4-10	hasil simulasi untuk Energi Available pada orientasi 0°.	65
Gambar 4-11	hasil simulasi untuk Energi Available pada orientasi 45°.	66
Gambar 4-12	ruang aktif berdasarkan aspek ratio	66
Gambar 4-13	area tersedia untuk perletakkan inverter pada EC-UI	70
Gambar 4-14	area tersedia untuk perletakkan inverter pada EC-UI	71
Gambar 4-15	pembagian zona inverter pada EC-UI	72
Gambar 4-16	Fasade yang bisa menggunakan panel surya	73
Gambar 4-17	perletakkan panel surya dimensi 35cm x 55cm pada bukaan	74

Gambar 4-18	ukuran satu panel surya dimensi 35 cm x 55 cm	.....	74
Gambar 4-19	potongan susunan panel surya D55 dengan 6 panel surya tersusun paralel	.....	74
Gambar 4-20	Tampak 6 susun panel D55 <i>solid overhang</i> dan <i>inclined wall</i> (D55-1)	.....	74
Gambar 4-21	potongan susunan panel surya D55 dengan 5 panel surya tersusun paralel	.....	75
Gambar 4-22	Tampak 5 susun panel D55 paralel <i>solid overhang</i> dan <i>inclined wall</i> (D55-2)	.....	75
Gambar 4-23	potongan susunan panel surya D55 dengan 5 panel surya tersusun paralel	.....	76
Gambar 4-24	Susunan panel dimensi 40cm x 40cm dengan tipe <i>solid overhang</i> dan <i>inclined wall</i>	.....	77
Gambar 4-25	perletakkan panel surya dimensi 40cm x 40cm pada bukaan	.....	77
Gambar 4-26	ukuran satu panel surya dimensi 35 cm x 55 cm	.....	77
Gambar 4-27	potongan susunan panel surya D40 dengan 5 panel surya tersusun paralel	.....	78
Gambar 4-28	Tampak 5 susun panel D40 paralel <i>solid overhang</i> dan <i>inclined wall</i> (D40-1)	.....	78
Gambar 4-29	potongan susunan panel surya D40 dengan 5 panel surya tersusun paralel	.....	78
Gambar 4-30	nilai investasi selama 20 tahun	.....	82
Gambar 4-31	perbandingan nilai investasi lampu fluorescent – LED pada 10 tahun pertama	.....	83

DAFTAR TABEL

Tabel 2-1	perbandingan efisiensi menyerap radiasi matahari	21
Tabel 2-2	spesifikasi sel surya poly-crystalline	22
Tabel 2.3	faktor yang menyebabkan berkurangnya energi pada perubahan sistem DC-AC	28
Tabel 2-4	Spesifikasi batterai <i>lead acid battery</i>	32
Tabel 2-5	Spesifikasi inverter	33
Tabel 4-1.	Panel surya yang optimal terkena sinar matahari menurut simulasi PVSYST, kemiringan 10°, ketinggian 5.8m	55
Tabel 4-2.	Panel surya yang optimal terkena sinar matahari menurut simulasi PVSYST, kemiringan 10°, ketinggian 9.6m	56
Tabel 4-3.	Panel surya yang optimal terkena sinar matahari menurut simulasi PVSYST, kemiringan 10°, ketinggian 13.4m	56
Tabel 4-4.	Panel surya yang optimal terkena sinar matahari menurut simulasi PVSYST, kemiringan 25°, ketinggian 5.8m	57
Tabel 4-5.	Panel surya yang optimal terkena sinar matahari menurut simulasi PVSYST, kemiringan 25°, ketinggian 9.6m	58
Tabel 4-6.	Panel surya yang optimal terkena sinar matahari menurut simulasi PVSYST, kemiringan 25°, ketinggian 13.4m	58
Tabel 4-7.	Panel surya yang optimal terkena sinar matahari menurut simulasi PVSYST, kemiringan 30°, ketinggian 5.8m	59
Tabel 4-8.	Panel surya yang optimal terkena sinar matahari menurut simulasi PVSYST, kemiringan 30°, ketinggian 9.6m	60
Tabel 4-9.	Panel surya yang optimal terkena sinar matahari menurut simulasi PVSYST, kemiringan 30°, ketinggian 13.4m	60
Tabel 4-10.	panel yang optimal pada bulan yang paling optimal	61
Tabel 4-11	Kebutuhan energi listrik lantai Satu	67
Tabel 4-12	Kebutuhan energi listrik lantai dua	68
Tabel 4-13	Kebutuhan energi listrik lantai tiga	69

Tabel 4-14	Kebutuhan energi listrik total	69
Tabel 4-15	Kebutuhan energi listrik menurut Aspect rasio	70
Tabel 4-16	Variabel pemilihan area inverter	71
Tabel 4-17	Pemilihan area inverter	71
Tabel 4-18	kebutuhan listrik per lantai engineering center	80
Tabel 4-19	Perbandingan nilai investasi dengan biaya listrik konvensional (PLN)	81
Tabel 4-20	nilai investasi listrik konvensional (PLN) dikurangi beban lampu	82
Tabel 4-21	perbandingan nilai investasi pemakaian lampu fluorescent dengan lampu LED	83

