

BAB IV

DATA DAN ANALISIS

4.1 Data Hasil Simulasi PVSYST

Simulasi PVSYST dilakukan untuk melihat kemiringan dan orientasi panel surya pada EC. Variabel simulasi antara lain:

Variabel Orientasi:

1. Orientasi 0° (ada 5 panel yang diuji, panel a,b,c,d,e,)
2. Orientasi 45° (ada 5 panel yang diuji, panel f,g,h,i,j)

Dari tiap orientasi juga dilakukan percobaan terhadap variabel Kemiringan:

1. Kemiringan 10° (T10)
2. Kemiringan 25° (T25)
3. Kemiringan 30° (T30)

Panel pada simulasi diletakkan paralel untuk memudahkan simulasi. Penyusunannya mengikuti grid kolom (trafe) yaitu 6m/panel. Trafe yang menjadi penelitian berjumlah 10 trafe berarti ada 10 panel yang diuji dengan dua orientasi, seperti yang telah diuraikan pada bab III.

4.1.1 Kemiringan Panel 10°

Kemiringan 10°, Ketinggian 5.8m (T10H5,8)

Tabel 4-1. Panel surya yang optimal terkena sinar matahari menurut simulasi PVSYST, kemiringan 10°, ketinggian 5.8m

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Panel a												
Panel b												
Panel c												
Panel d												
Panel e												
Panel f												
Panel g												
Panel h												
Panel i												
Panel j												

Tabel 4-1 diatas menunjukkan panel dT10H5,6 terkena sinar matahari sepanjang tahun pada orientasi bangunan 0°. Pada orientasi 45° panel tidak optimal pada bulan januari-juni.

Kemiringan 10°, Ketinggian 9.6m (T10H9,6)

Tabel 4-2. Panel surya yang optimal terkena sinar matahari menurut simulasi PVSYST, kemiringan 10°, ketinggian 9.6m

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Panel a												
Panel b								Yellow				
Panel c									Yellow			
Panel d	Yellow									Yellow	Yellow	Yellow
Panel e		Yellow	Yellow									
Panel f	Grey											
Panel g	Grey											
Panel h	Grey											
Panel i	Grey											
Panel j	Grey											

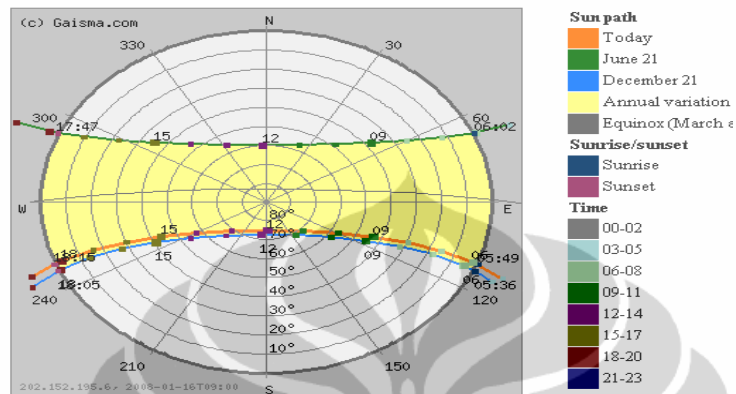
Tabel 4-2 di atas menunjukkan panel dT10H9,6 paling optimal karena terkena sinar matahari terbanyak yaitu pada bulan oktober, november, desember, dan januari. Selama bulan januari sampai bulan juni, panel pada orientasi 45° terkena bayangan bangunan karena matahari berada di sebelah barat.

Kemiringan 10°, Ketinggian 13.4m (T10H13,4)

Tabel 4-3. Panel surya yang optimal terkena sinar matahari menurut simulasi PVSYST, kemiringan 10°, ketinggian 13.4m

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Panel a												
Panel b									Yellow			
Panel c										Yellow		
Panel d	Yellow										Yellow	Yellow
Panel e		Yellow										
Panel f					Grey	Grey		Yellow				
Panel g					Grey	Grey						
Panel h					Grey	Grey						
Panel i					Grey	Grey						
Panel j					Grey	Grey						

Tabel 4-3 diatas menunjukkan panel dT10H13,4 paling optimal karena terkena sinar matahari terbanyak yaitu pada bulan November, desember, dan januari. Pada bulan mei dan juni semua panel orientasi 45 tidak optimal karena terkena bayangan bangunan



Gambar 4-1. Pergerakan matahari sepanjang tahun

Sumber : www.gaisma.com/en/location/jakarta (2008)

4.1.2 Kemiringan Panel 25°

Kemiringan 25°, Ketinggian 5.8m (T25H5,8)

Tabel 4-4. Panel surya yang optimal terkena sinar matahari menurut simulasi PVSYST, kemiringan 25°, ketinggian 5.8m

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Panel a												
Panel b												
Panel c												
Panel d												
Panel e												
Panel f												
Panel g												
Panel h												
Panel i												
Panel j												

Tabel 4-4 menunjukkan pada bulan juni sampai agustus matahari berada di sebelah utara dengan ketinggian tertentu sehingga pada ketinggian 5,8 yang terkena secara langsung panel dT25H5,8. Pada bulan januari sampai mei, panel surya untuk orientasi 45° tidak terkena

sinar matahari karena matahari berada di sebelah barat. Matahari pada bulan tersebut mulai menuju ke utara, sehingga panel pada level 5,8 tidak terkena sinar.

Kemiringan 25°, Ketinggian 9.6m (T25H9,6)

Tabel 4-5. Panel surya yang optimal terkena sinar matahari menurut simulasi PVSYST, kemiringan 25°, ketinggian 9.6m

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Panel a							Yellow					
Panel b												
Panel c								Yellow	Yellow			
Panel d	Yellow	Yellow	Yellow							Yellow	Yellow	Yellow
Panel e												
Panel f	Grey											
Panel g	Grey						Yellow					
Panel h	Grey											
Panel i	Grey											
Panel j	Grey											

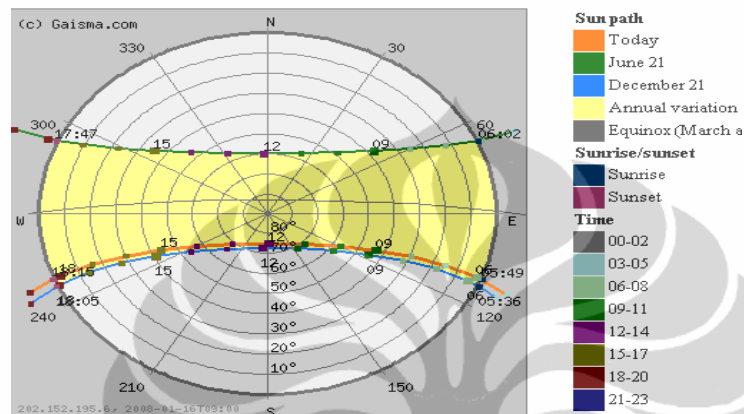
Tabel 4-5 menunjukkan panel dT25H9,6 terkena sinar matahari langsung terbanyak yaitu pada bulan oktober sampai maret. Matahari pada bulan oktober sampai maret berada di sebelah selatan dan menuju arah barat

Kemiringan 25°, Ketinggian 13.4m (T25H13,4)

Tabel 4-6. Panel surya yang optimal terkena sinar matahari menurut simulasi PVSYST, kemiringan 25°, ketinggian 13.4m

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Panel a								Yellow				
Panel b									Yellow			
Panel c										Yellow		
Panel d												Yellow
Panel e	Yellow	Yellow										
Panel f								Yellow				
Panel g												
Panel h												
Panel i												
Panel j												

Tabel 4-6 diatas menunjukkan panel eT25H13,4 terkena sinar matahari langsung terbanyak yaitu pada bulan januari dan february, karena pada bulan tersebut matahari berada di selatan menuju barat dengan posisi sekitar 20° dari Jakarta (didepan bangunan). Pada bulan mei, panel terkena bayangan bangunan, karena matahari mulai bergerak ke sisi utara dari barat.



Gambar 4-2. Pergerakan Matahari sepanjang tahun

Sumber : www.gaisma.com/en/location/jakarta (2008)

4.1.3 Kemiringan Panel 30°

Kemiringan 30°, Ketinggian 5.8m (T30H5,8)

Tabel 4-7. Panel surya yang optimal terkena sinar matahari menurut simulasi PVSYST, kemiringan 30°, ketinggian 5.8m

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Panel a												
Panel b												
Panel c												
Panel d												
Panel e												
Panel f												
Panel g												
Panel h												
Panel i												
Panel j												

Tabel 4-7 diatas menunjukkan sinar matahari menyinari panel dT30H5,8 secara langsung terbanyak. Pada bulan januari sampai mei panel pada ketinggian 5.8 tidak terkena matahari karena posisi matahari masih berada selatan.

Kemiringan 30°, Ketinggian 9.6m (T30H9,6)

Tabel 4-8. Panel surya yang optimal terkena sinar matahari menurut simulasi PVSYST, kemiringan 30°, ketinggian 9.6m

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Panel a							Yellow					
Panel b												
Panel c								Yellow	Yellow			
Panel d	Yellow									Yellow	Yellow	Yellow
Panel e		Yellow	Yellow									
Panel f	Grey											
Panel g	Grey						Yellow					
Panel h	Grey											
Panel i	Grey											
Panel j	Grey		Grey	Grey	Grey							

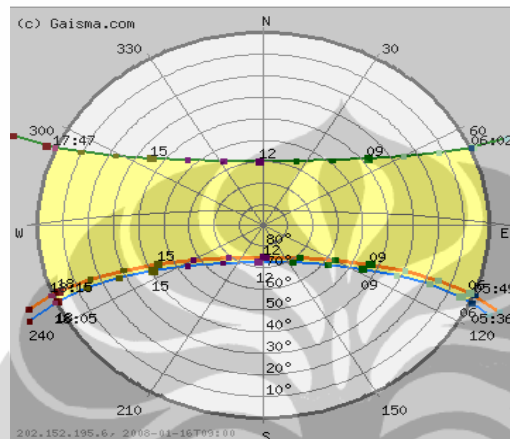
Tabel 4-8 diatas menunjukkan panel dT30H9,6 tersering menerima sinar matahari langsung. Matahari pada bulan oktober - januari berada di sebelah selatan. Pada bulan maret sampai mei panel pada ketinggian 9,6m tidak terkena matahari karena posisi matahari masih berada di bawah (selatan).

Kemiringan 30°, Ketinggian 13.4m (T30H13,4)

Tabel 4-9. Panel surya yang optimal terkena sinar matahari menurut simulasi PVSYST, kemiringan 30°, ketinggian 13.4m

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Panel a								Yellow				
Panel b									Yellow			
Panel c										Yellow		
Panel d	Yellow										Yellow	Yellow
Panel e		Yellow	Yellow									
Panel f					Grey							
Panel g					Grey							
Panel h					Grey			Yellow				
Panel i					Grey		Yellow					
Panel j					Grey							

Tabel 4-9 menunjukkan panel dT30H3 tersering menerima sinar matahari langsung. Matahari pada bulan November, desember, dan januari berada pada di sebelah selatan. Pada bulan mei panel pada ketinggian 13.4m tidak terkena matahari karena posisi matahari masih berada di bawah.



Gambar 4-3. Pergerakan Matahari sepanjang tahun

Sumber : www.gaisma.com/en/location/jakarta (2008)

4.1.4 Analisis hasil Simulasi

Berdasarkan hasil simulasi di atas, panel yang terkena sinar matahari langsung dimasukkan ke dalam tabel berikut ini:

Tabel 4-10. panel yang optimal

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
H 13.4m	dT10 eT25	eT10 eT25						fT10, T25a, T25f	bT10, bT25	cT10 cT25	dT10	dT10 dT25
H 9.6 m	dT10 dT25 dT30	eT10 dT25 eT30	eT10 dT25 eT30				aT25, gT25, aT30, gT30	bT10, cT25, cT30	cT10 cT25 cT30	dT25 T30d	T25d T30d	T25d T30d
H 5.8m	dT10	dT10	dT10 dT30	dT10 dT30	dT10 eT25 dT30	dT25,hT25 dT30,eT30 gT30	dT10, dT30, iT30	dT10, dT25 dT30, gT30	T10d T25d T30d	dT10 dT25 dT30	dT10 dT25	dT10 dT25

Tabel 4-10 menunjukkan bahwa variabel d terkena sinar matahari langsung pada semua variabel ketinggian, terutama pada ketinggian 5.8m. Bulan yang tidak optimal untuk variabel ketinggian 9.6m dan 13.4m adalah bulan april sampai juni. Kemiringan panel yang paling optimal terlihat dari seringnya panel tersebut terkena sinar matahari, yaitu:

1. Kemiringan 10 : sebanyak 23 kali terkena sinar langsung.
2. Kemiringan 25 : sebanyak 25 kali terkena sinar langsung
3. Kemiringan 30 : sebanyak 22 kali terkena sinar langsung.

Berdasarkan analisis panel yang terbanyak disinari matahari langsung, maka kemiringan 25 paling optimal sebagai sun shading. Hasil tersebut dilanjutkan pada analisis lanjutan dengan parameter yang lebih mengacu pada energi yang dihasilkan panel PV.

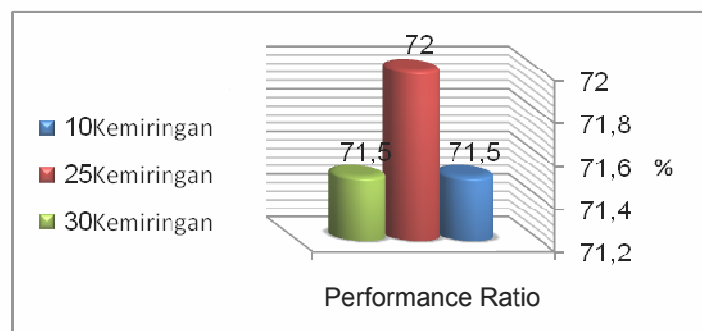
Variabel yang dicari dari hasil simulasi akan digunakan dalam analisis untuk menentukan kemiringan PV yang akan digunakan. Parameter tersebut adalah:

1. *Performance ratio*
2. *Solar fraction*
3. *Missing Energi*
4. *Energi Available*

1. **Performance ratio**

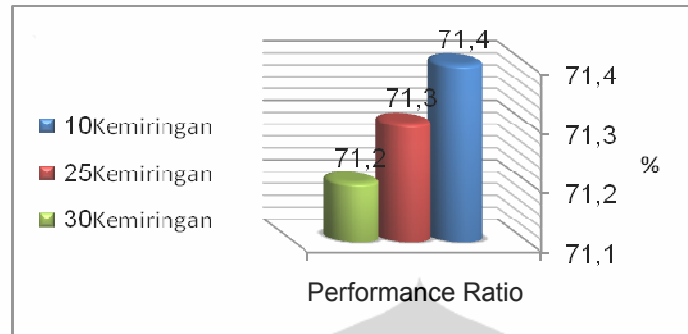
Performance ratio adalah persentase energi yang dihasilkan dari perbandingan antara energi yang dihasilkan panel surya dengan energi maksimal yang dihasilkan.

Orientasi 0°



Gambar 4-4 hasil simulasi untuk performance ratio pada orientasi 0°.

Orientasi 45°



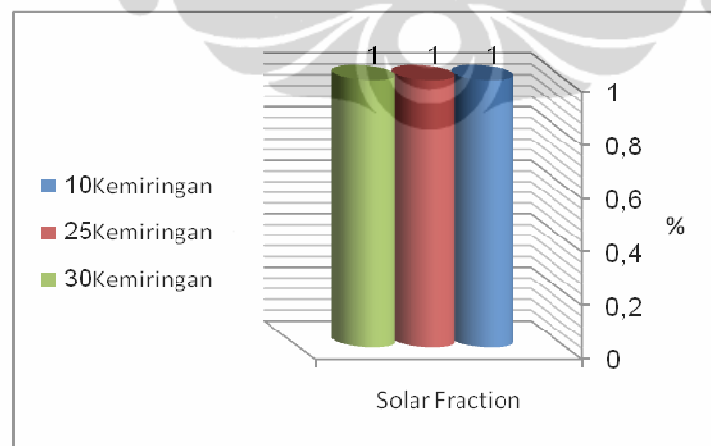
Gambar 4-5 hasil simulasi untuk performance ratio pada orientasi 45°.

Nilai performance ratio yang optimal adalah 100%. Dari gambar 4-4 dan 4-5 terlihat bahwa kinerja PV pada orientasi 0°, kemiringan 25° paling optimal yaitu sebesar 72%. Untuk orientasi 45°, kemiringan 10° paling optimal yaitu sebesar 71,4%.

2. Solar Fraction

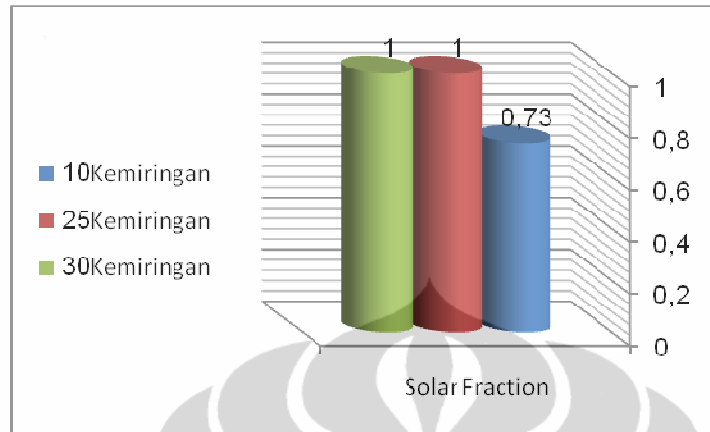
Solar fraction adalah energi yang dihasilkan perbandingan antara energi panel surya dengan energi yang dibutuhkan.

Orientasi 0°



Gambar 4-6 hasil simulasi untuk solar fraction (f) pada orientasi 0°.

Orientasi 45°



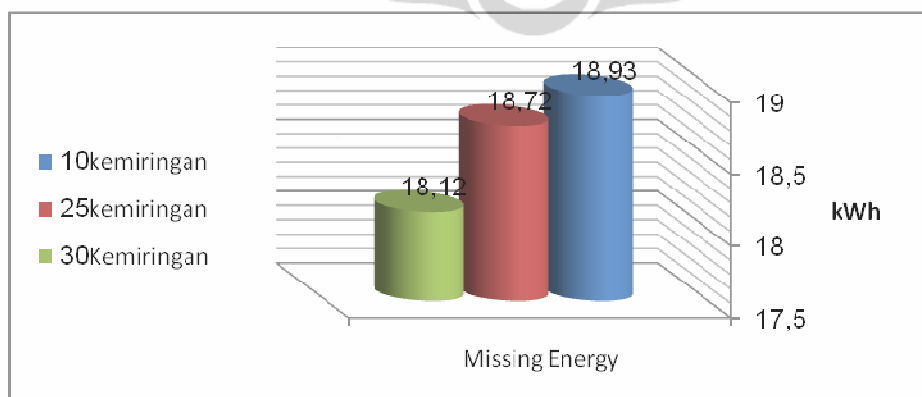
Gambar 4-7 hasil simulasi untuk *Solar fraction*(f) pada orientasi 45°.

Nilai *solar fraction* yang optimal adalah 1. Dari gambar 4-6 dan 4-7 terlihat bahwa kinerja PV pada orientasi 0° dan kemiringan 10°, 25° dan 30° besarnya sama yaitu 1. Tetapi pada orientasi 45°, kemiringan 10° memiliki nilai f terkecil yaitu 0,73. Kemiringan 25° dan 30° memiliki nilai yang optimal yaitu 1.

3. Missing Energy

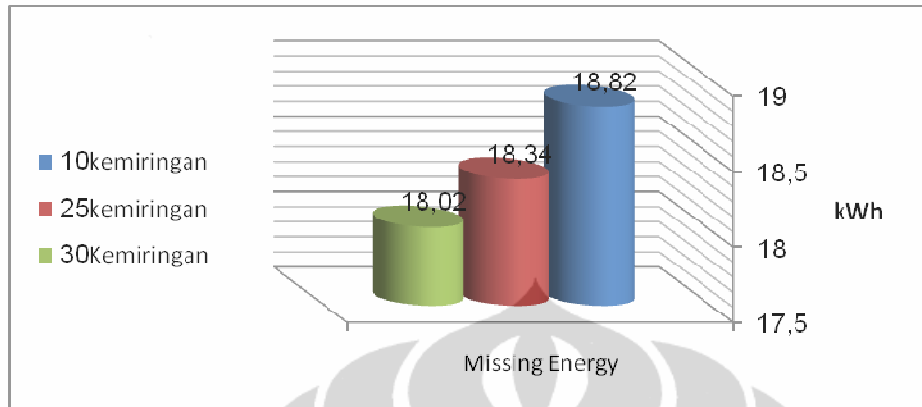
Missing energy adalah energi yang hilang selama perambatan dari PV menuju inverter.

Orientasi 0°



Gambar 4-8 hasil simulasi untuk Missing Energi pada orientasi 0°.

Orientasi 45°



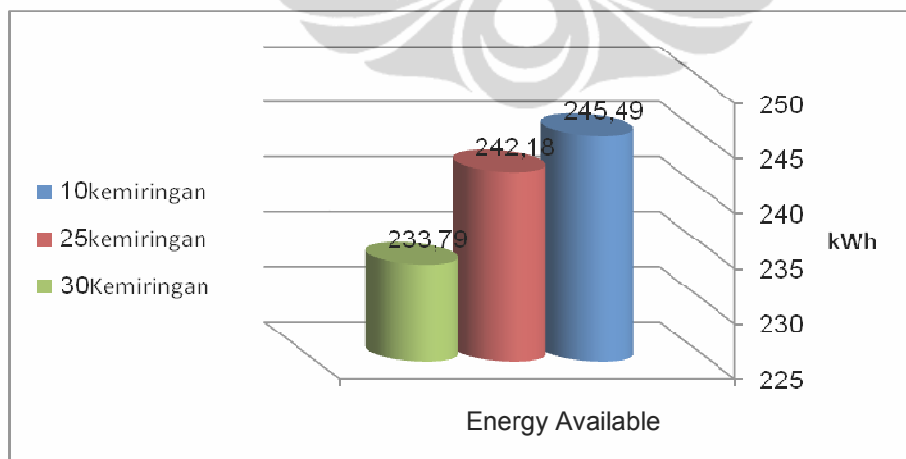
Gambar 4-9 hasil simulasi untuk Missing Energi pada orientasi 45°.

Nilai *missing energy* yang optimal adalah 1kWh. Dari gambar 4-8 dan 4-9 terlihat bahwa kinerja PV dengan kemiringan 30° paling optimal. Energi yang hilang terkecil yaitu 18,12 kWh dan 18,02 kWh.

Energy Available

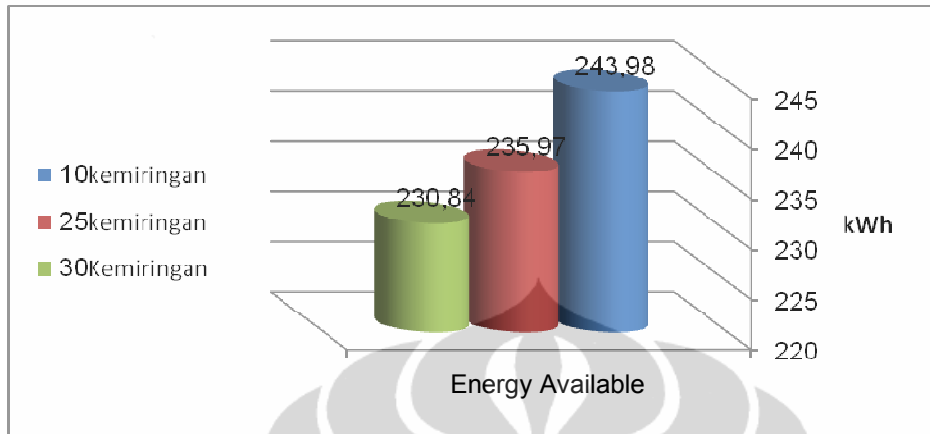
Available energy adalah energi listrik yang tersedia hasil keluaran dari panel surya yang bisa diteruskan ke inverter.

Orientasi 0°



Gambar 4-10 hasil simulasi untuk Energy Available pada orientasi 0°.

Orientasi 45°



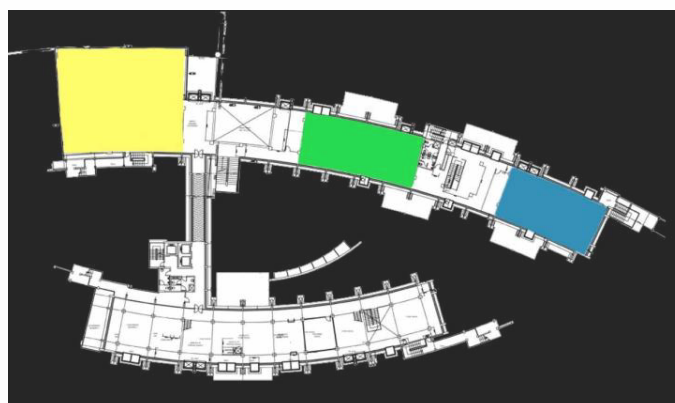
Gambar 4-11 hasil simulasi untuk Energy Available pada orientasi 45°.

Dari gambar 4-7 dan 4-8 terlihat bahwa kinerja PV pada kemiringan 10 paling optimal karena energi yang tersedia terbesar yaitu 245,49 kWh dan 243,98 kWh.

4.2 Analisis Bangunan Engineering center

4.2.1 Analisis Ruang Aktif Engineering center

Patricia dewi (2005) mengatakan ratio yang optimal untuk panel surya adalah 1:2,33. Berdasarkan area yang aktif digunakan pada engineering center dapat dibagi menjadi tiga bagian, seperti pada gambar IV-4 dibawah ini.



Gambar 4-12 ruang aktif berdasarkan aspek ratio

Penggunaan area aktif per lantai pada engineering center berbeda-beda, pada lantai satu hanya sebagian ruang yang digunakan, pada lantai dua dan tiga ruang aktif lebih dominan sisi timur.

4.2.2 Kebutuhan Energi Listrik Engineering center

Panel surya yang dibutuhkan pada engineering center sebanyak 2333 panel surya. Tetapi ternyata fasade engineering center hanya mampu menghasilkan panel sebanyak 1120 panel surya. Analisis lebih lanjut adalah kebutuhan energi per lantai untuk melihat panel surya mampu melayani konsumsi listrik untuk semua kebutuhan penghawaan atau elektronika atau hanya penghawaan pada lantai tertentu.

Kebutuhan energi terbesar adalah untuk penghawaan buatan yaitu sebesar 39% atau sekitar 32.760 watt. Oleh sebab itu analisis kebutuhan energi yang dilakukan pertama kali adalah analisis kebutuhan listrik terbesar yang mungkin dilayani oleh panel surya, yaitu penghawaan buatan.

Kebutuhan Listrik lantai Satu

Lantai satu Engineering center merupakan area Career Development Center (CDC FTUI), CCIT-FTUI dan area komersial seperti, bank, toko, cafe.

Tabel 4.11 Kebutuhan energi listrik lantai Satu

No.	Nama Ruang	Nama Barang	Jumlah	Daya (Watt)	Durasi Pemakaian (jam)	Energi (Wh)/hari
1.	CDC-FTUI	AC (1 grill 5 difusser)	2	1600	8	12800
2.	CCIT-FTUI	AC (1 grill 5 difusser)	2	1600	8	12800
3.	Bank Bukopin	AC (1 grill 5 difusser)	2	1600	8	12800
4.	Dua Digid Shop	AC (1 grill 5 difusser)	1	800	8	6400
5.	Arif media	AC (1 grill 5 difusser)	1	800	8	6400
6.	D.N Collection	AC (1 grill 5 difusser)	1	800	8	6400
7.	Fitness Pointers	AC (1 grill 5 difusser)	1	800	8	6400
8.	Cyber Cafe	AC (1 grill 5 difusser)	1	800	8	6400
9.	Smart Plus	AC (1 grill 5 difusser)	1	800	8	6400
Total Kebutuhan Energi				9600		76800

Kebutuhan Listrik Lantai Dua

Lantai Satu Engineering center merupakan area Data Center (EDIC) yang terdiri dari 9 divisi dan dua ruang multimedia yang disewakan.

Tabel 4.12 Kebutuhan energi listrik lantai dua

No.	Nama Ruang	Nama Barang	Jumlah	Daya (Watt)	Durasi Pemakaian (jam)	Energi (Wh)/hari
1.	Exhibition & Penelitian	AC (1 grill 5 difusser)	3	2400	6	14400
2.	Product Development	AC (1 grill 5 difusser)	1	800	8	6400
3.	Mining Energi & Power	AC (1 grill 5 difusser)	1	800	8	6400
4.	Automotive & Manufacturing	AC (1 grill 5 difusser)	1	800	8	6400
5.	Material & basic Science	AC (1 grill 5 difusser)	1	800	8	6400
6.	Built Environment Engineering Education Resouces	AC (1 grill 5 difusser)	1	800	8	6400
7.	Defense Engineering	AC (1 grill 5 difusser)	1	800	8	6400
8.	Bio Technology	AC (1 grill 5 difusser)	1	800	8	6400
9.	Telecomunicaton & Information Technology	AC (1 grill 5 difusser)	1	800	8	6400
10.	Disaster management & Mitigation	AC (1 grill 5 difusser)	1	800	8	6400
11.	Network	AC Split	1	800	8	6400
12.	Programmer & Analysis	AC Split	1	800	8	6400
13.	EDIC Manager	AC (1 grill 5 difusser)	1	800	8	6400
Total kebutuhan Energi				12000		91200

Kebutuhan Listrik Lantai Tiga

Lantai Dua engineering center merupakan area sekretariat, perkantoran dan dua ruang multimedia yang disewakan.

Tabel 4.13 Kebutuhan energi listrik lantai tiga

No.	Nama Ruang	Nama Barang	Jumlah	Daya (Watt)	Durasi Pemakaian (jam)	Energi (Wh)/hari
1.	Sekretariat EC	AC Package 1PK	1	800	8	6400
2.	Kepala EC	AC Package 1PK	1	800	8	6400
3.	Pusat Penelitian Sains & Teknologi	AC Package 1PK	1	800	8	6400
4.	Continuing Education Programme	AC Package 1PK	1	800	8	6400
5.	Lemtek Konsultan	AC Package 1PK	1	800	8	6400
6.	Unity	AC Package 1PK	1	800	8	6400
7.	Incubator	AC Package 1PK	1	800	8	6400
8.	Pakartu	AC Package 1PK	1	800	8	6400
9.	Mercator-UI	AC Package 1PK	2	1600	8	12800
10.	PE-UI	AC Package 1PK	1	800	8	6400
11.	Multimedia	AC Package 1PK	3	2400	8	19200
Total kebutuhan energi				11200	8	89600

Berdasarkan kebutuhan energi listrik ruang terpakai per lantai, maka kebutuhan total engineering center untuk tiap lantai adalah:

Tabel 4.14 Kebutuhan energi listrik total

No.	Keterangan	Daya (watt)	Durasi Pemakaian (h)	Kebutuhan listrik / lantai (Wh) / hari
1.	Lantai satu	9600	8	76900
2.	Lantai dua	12000	8	91200
3.	Lantai tiga	11200	8	89600
	total			257700

Kebutuhan Listrik berdasarkan aspect rasio

Kebutuhan energi listrik area berdasarkan aspect ratio memiliki nilai yang berbeda antar area. Kebutuhan energi listrik berdasarkan aspect rasio perlu dianalisis untuk menentukan banyaknya modul PV yang akan digunakan pada fasade dan perletakkannya berkaitan dengan jarak panel PV dengan inverter.

Tabel 4.15 Kebutuhan energi listrik menurut Aspect rasio

No.	Aspect ratio	area	Jumlah/lantai	Daya (watt)	Durasi Pemakaian (jam)	Energi (kWh)/hari
1.	1:3	Area 1	1	4000	8	32
2.	1:3,2	Area 2	1	4000	8	32
3.	1:2	Area 3	1	3600	6	21.6
	Total					85.6

Berdasarkan tabel diatas, maka area dengan aspect rasio 1:2 membutuhkan energi listrik yang lebih sedikit dibandingkan variabel lainnya yaitu sebesar 21600 Wh. Hasil ini selanjutnya digunakan dalam analisis perletakkan panel PV pada fasade dan kaitannya dengan penentuan jarak terdekat panel PV ke inverter.

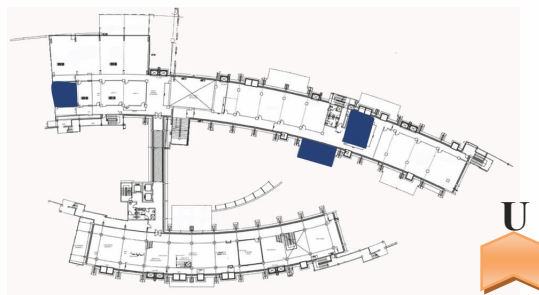
4.2.3 Analisis Jarak panel ke Inverter

Analisis Jarak PV-Inverter

Parameter yang menjadi pertimbangan letak inverter adalah besarnya energi missing yang terbentuk. Semakin kecil energi yang hilang selama perambatan, maka semakin optimal energi yang tersedia pada inverter. Untuk mendapatkan menekan energi missing, maka perletakkan inverter menjadi salah satu poin penting dalam optimasi kinerja PV, maka parameter yang menjadi landasan analisis antara lain:

1. jarak dengan area panel listrik
2. jarak dengan panel surya dengan inverter

Sebelum menganalisis jarak panel surya – inverter, dianalisis terlebih dahulu area yang memungkinkan untuk perletakkan inverter, dilihat dari kedekatan inverter dengan panel listrik bangunan (gambar 4-10).



Gb.4-13 area tersedia untuk perletakkan inverter pada EC-UI

Berdasarkan jarak terdekat dengan PV

Tabel 4.16 Variabel pemilihan area inverter

Zona	Kedekatan dengan panel Surya	Besar Ruang untuk menyimpan inverter dan Baterai	Kedekatan dengan panel listrik	Kemudahan perawatan
Zona A	√	√	√	√
Zona B	√			√
Zona C	√	√	√	√

Berdasarkan data tabel 4-16 didapatkan zona dan zona C adalah posisi inverter yang terbaik. Pada gambar 4-14 di bawah ini, ketiga zona inverter pada bangunan diperhitungkan jaraknya dengan susunan panel surya .



Gambar 4-14 pembagian zona inverter pada EC-UI

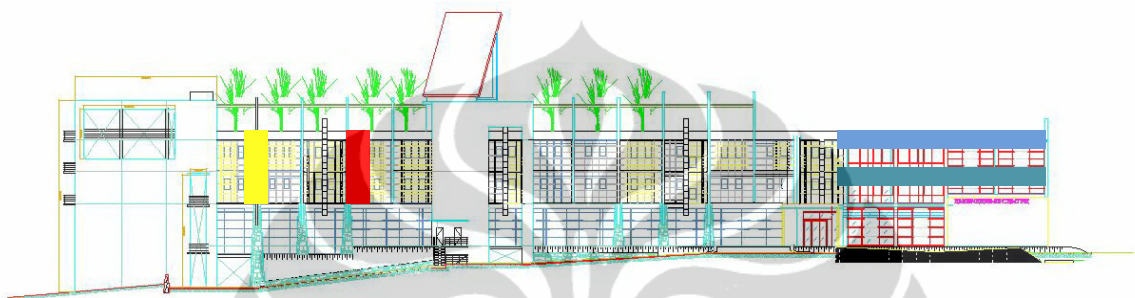
Di bawah ini adalah tabel perhitungan jarak array panel surya menuju ketiga area inverter untuk menemukan area terdekat dengan panel surya.

Tabel 4.17 Pemilihan area inverter

Zona	a (m)	b (m)	c (m)	d (m)	e (m)	f (m)	g (m)	h (m)	i (m)	j (m)
Zona A	22	24.7	18.7	11	10.5	108.8	102.2	74	68	52.4
Zona B	50.2	66	72	100	106.6	106.6	100	72	66	50.2
Zona C	52.4	68	74	102.2	108.8	10.5	11	18.7	24.7	22

4.2.4 Analisis Luas Permukaan Fasade untuk Panel Surya

Luas fasade *engineering center* bangunan A sisi utara : $99,3 \text{ m} \times 13,4 \text{ m} = 1330,62 \text{ m}^2$. Pada kenyataannya luas fasade yang memungkinkan dipasang panel surya tidak sebesar 1330 m^2 . Tidak semua permukaan *engineering center* dapat menggunakan sun shading, seperti pada gambar 4-15.






Gambar 4-15 Fasade yang bisa menggunakan panel surya

Pada gambar 4-15 menunjukkan area permukaan fasade yang memungkinkan untuk perletakkan panel surya. Fasade yang diblok berwarna memungkinkan bagi panel surya, dikarenakan:

1. Material penutup dinding adalah concrete sehingga cukup kuat untuk rangka panel surya yang menggunakan konstruksi baja.
2. Permukaan terbebas dari bayangan bangunan sendiri ataupun bangunan sekitar.

Total luas fasade yang bisa dipasang panel surya sebesar 710.464 cm^2 atau 71 m^2 , dengan rincian sebagai berikut:

	$t \times p = 190 \text{ cm} \times 2356 \text{ cm} = 447.640 \text{ cm}^2$
	$t \times p = 94 \text{ cm} \times 2356 \text{ cm} = 221.464 \text{ cm}^2$
	$t \times p = 94 \text{ cm} \times 220 \text{ cm} \times 2 = 41.360 \text{ cm}^2$

keterangan:

t: tinggi

p: panjang

4.3 Analisis Susunan Panel sebagai Sun shading

Berdasarkan simulasi PVSYST didapatkan area fasade yang optimal untuk panel yaitu panel b,c,d,e,f,g,h,i,j. Panel tersebut optimal pada ketinggian tertentu. Kemiringan yang optimal adalah 25° dan ketinggian ketinggian 5,8m paling optimal. Tetapi pada kenyataannya, pada ketinggian 5.8 sulit dilakukan pemasangan panel karena terkena bayangan bangunan sendiri sebagai akibat adanya bagian banguna yang menjorok keluar.

Simulasi susunan fasade dilakukan untuk mendapatkan ratio sun shading yang optimal pada fasade bangunan. Dimensi panel surya yang digunakan ada dua, yaitu:

1. Dimensi 35 cm x 55 cm (D55)
2. Dimensi 40 cm x 40 cm (D40)

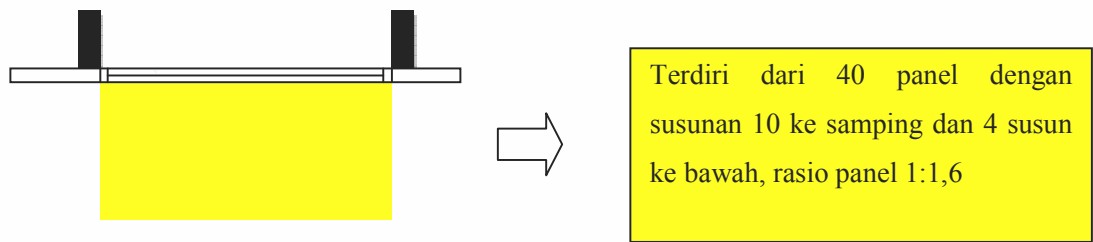
Susunan panel dengan Dimensi 35 cm x 55 cm (D55)

Gambar 4-16 di bawah menunjukkan panel surya dengan dimensi 35cm x 55cm disusun sesuai dengan teori *solid overhang* dan *inclined wall* pada orientasi 0° dan orientasi 45° . 40 panel surya disusun dalam satu rangka menjadi satu kesatuan panel, seperti pada gambar 4-17.

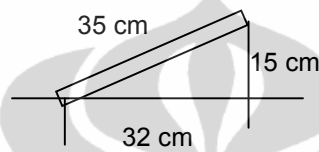


Gambar 4-16 Susunan panel dengan kaidah *solid overhang* dan *inclined wall*.

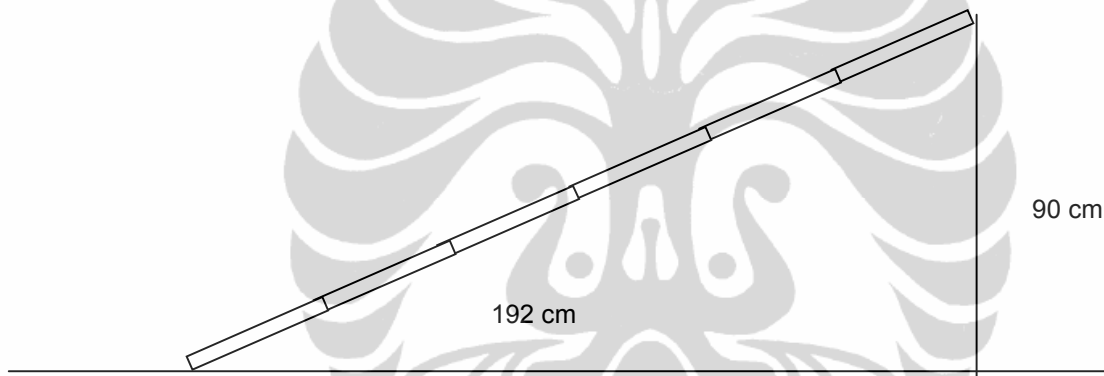
. Berdasarkan gambar 4-14, 40 panel digabung pada satu rangka modul dengan susunan 10 panel disusun ke samping (seri) dan 4 panel disusun kebawah (parallel). Satu panel membutuhkan ruang bebas sepanjang 32cm dan setinggi 15cm.



Gambar 4-17 perletakkan panel surya dimensi 35cm x 55cm pada bukaan



Gambar 4-18 ukuran satu panel surya dimensi 35 cm x 55 cm

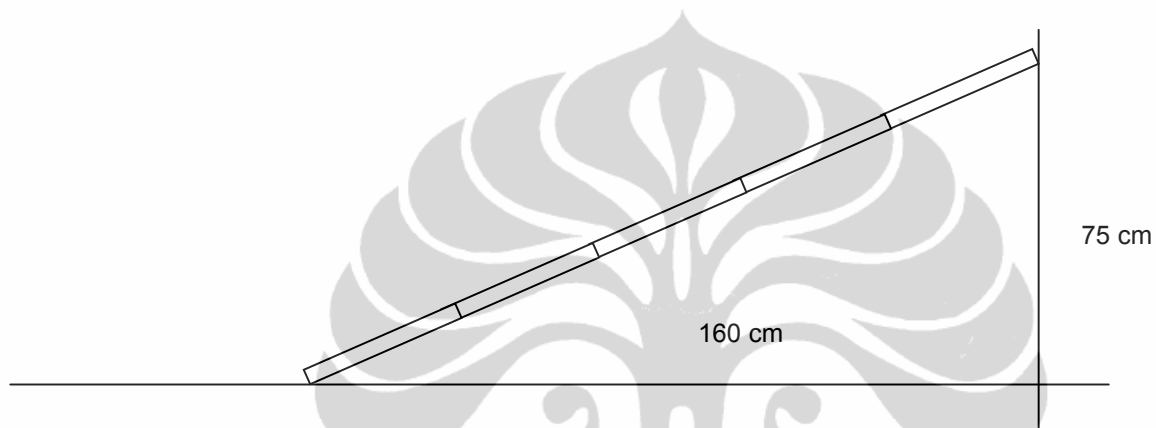


Gambar 4-19 potongan susunan panel surya D55 dengan 6 panel surya tersusun parallel

Berdasarkan gambar 4-18, dengan lebar panel 35cm bila dimiringkan 25° membutuhkan ruang bebas setinggi 15 cm (gambar 4-19). Ruang bebas setinggi 15 cm memungkinkan panel surya disusun secara parallel (kebawah) sebanyak 6 panel, seperti gambar 4-20.

Gambar 4-20 Tampak 6 susun panel D55 *solid overhang* dan *inclined wall* (D55-1)

Berdasarkan gambar 4-20, panel surya dengan lebar 35 cm dapat disusun enam panel ke bawah karena sesuai analisis luas fasade, tinggi terkecil untuk pemasangan panel adalah 94 cm. Dengan panjang 55cm panel disusun seri hanya bisa sampai 10 panel. Pada penyusunan ini, panel yang dihasilkan sebanyak 180 panel per ketinggian pada orientasi 0 dan 48 panel pada orientasi 45. Karena hanya pada lantai dua dan tiga dengan orientasi 0°, maka total panel yang dihasilkan adalah 360 panel untuk orientasi 0°, dan 96 panel pada orientasi 45°.



Gambar 4-21 potongan susunan panel surya D55 dengan 5 panel surya tersusun paralel

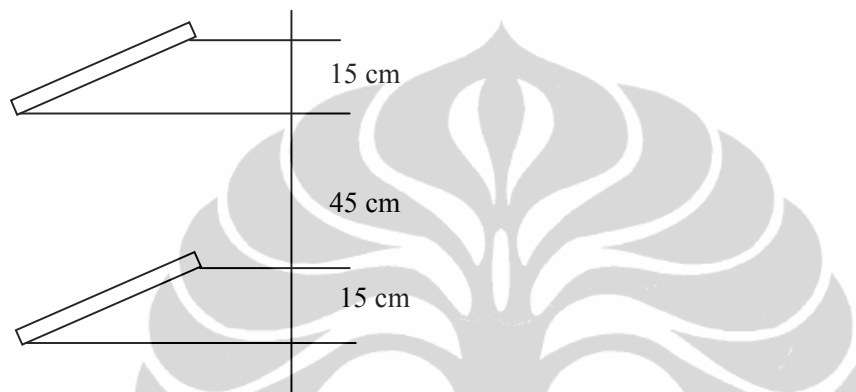
Berdasarkan gambar 4-21 (lampiran 2.1), ruang bebas setinggi 15 cm memungkinkan panel surya disusun secara paralel (kebawah) sebanyak 5 panel untuk mendapatkan tinggi ruang bebas yang lebih kecil dari 94cm (ketinggian maksimal), seperti gambar 4-22 (lampiran 2.2).

Gambar 4-22 Tampak 5 susun panel D55 paralel *solid overhang* dan *inclined wall* (D55-2)

Pada penyusunan D55-2, dengan lebar 35 cm dapat disusun lima panel ke bawah karena sesuai analisis luas fasade, panjang teritisan tidak sampai menutupi arah pandang ke luar bangunan (maksimal 200cm). Dengan panjang 55cm panel disusun seri hanya bisa sampai 10 panel. Pada penyusunan ini, panel yang dihasilkan sebanyak 150 panel per

ketinggian pada orientasi 0° dan 50 panel pada orientasi 45° . Karena hanya pada lantai dua dan tiga dengan orientasi 0° , maka total panel yang dihasilkan adalah 300 panel untuk orientasi 0, dan 100 panel pada orientasi 45° .

Bila penyusunan menggunakan tipe *inclined with windows*, maka panel yang dihasilkan juga semakin sedikit, dengan rasio panel surya dimensi 35 x 55 adalah 1:1,6 (gambar 4-20).



Gambar 4-23 potongan susunan panel surya D55 dengan 5 panel surya tersusun paralel

Berdasarkan gambar 4-23, dengan tipe *inclined with windows* hanya dua panel surya yang bisa disusun ke bawah. Hal ini dikarenakan dengan susunan tersebut tinggi bebas yang dibutuhkan sebesar 75cm, sedangkan tinggi maksimal untuk pemasangan panel adalah 94 cm. Dengan panjang 55cm panel disusun seri hanya bisa sampai 10 panel. Pada penyusunan ini, panel yang dihasilkan sebanyak 80 panel per ketinggian pada orientasi 0° dan 16 pada orientasi 45. Karena hanya pada lantai dua dan tiga dengan orientasi 0° , maka total panel yang dihasilkan adalah 160 panel untuk orientasi 0, dan 32 panel pada orientasi 45.

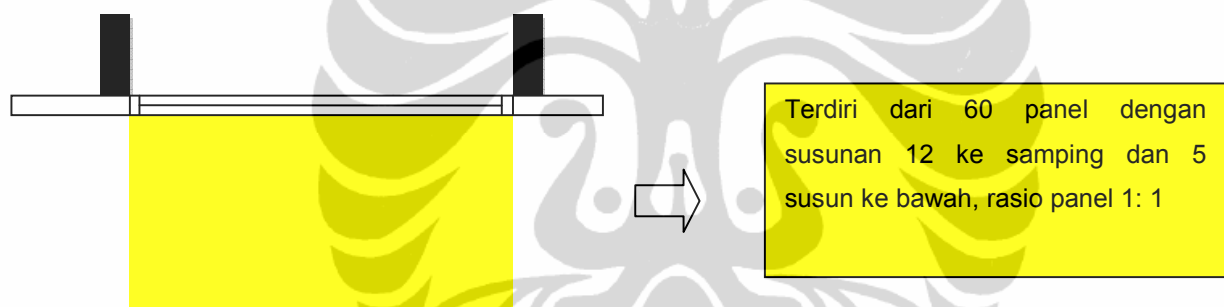
Susunan panel dengan Dimensi 40cm x 40 cm (D40)

Panel surya dengan dimensi 40cm x 40cm dapat disusun dengan teori *solid overhang* dan *inclined wall*. 60 panel surya disusun dalam satu rangka menjadi satu kesatuan panel, seperti pada gambar 4-24.

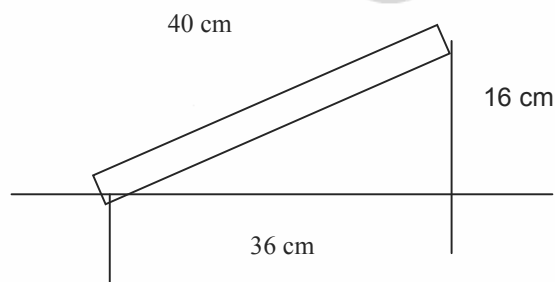


Gambar 4-24 Susunan panel dimensi 40cm x 40cm dengan tipe *solid overhang* dan *inclined wall*.

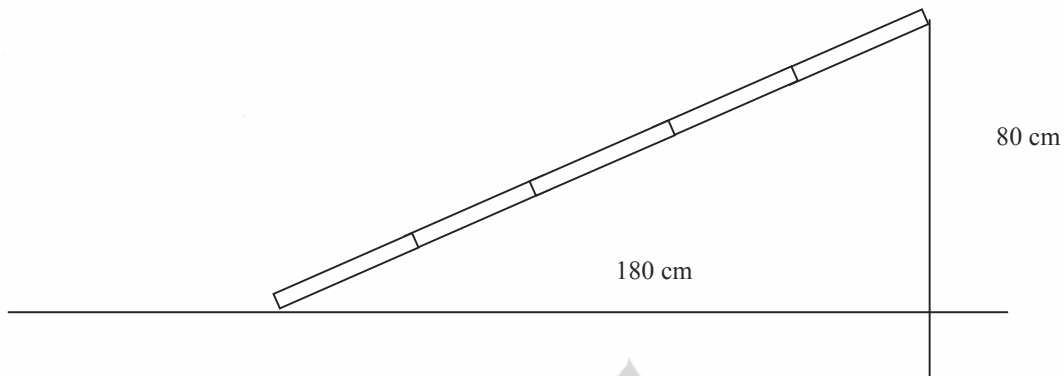
Berdasarkan gambar 4-24, 60 panel digabung pada satu rangka modul dengan susunan 12 panel disusun ke samping (seri) dan 4 panel disusun kebawah (parallel). Satu panel membutuhkan ruang bebas sepanjang 36cm dan setinggi 16 cm (gambar 4-25).



Gambar 4-25 perletakkan panel surya dimensi 40cm x 40cm pada bukaan



Gambar 4-26 ukuran satu panel surya dimensi 35 cm x 55 cm



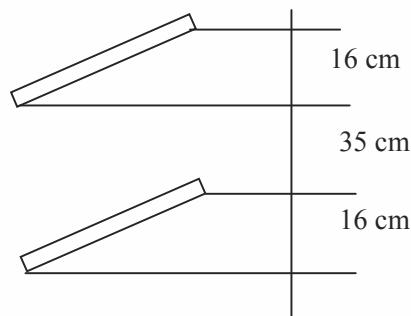
Gambar 4-27 potongan susunan panel surya D40 dengan 5 panel surya tersusun parallel

Berdasarkan gambar 4-27, ruang bebas setinggi 16 cm memungkinkan panel surya disusun secara parallel (kebawah) sebanyak 5 panel untuk mendapatkan tinggi ruang bebas yang lebih kecil dari 94cm, gambar detail terlampir pada lampiran 2.

Gambar 4-28 Tampak 5 susun panel D40 paralel *solid overhang* dan *inclined wall* (D40-1)

Penyusunan hanya sampai empat panel ke bawah karena sesuai analisis luas fasade, tinggi terkecil untuk pemasangan panel adalah 94 cm. Dengan panjang 40cm panel disusun seri hanya bisa sampai 12 panel. Pada penyusunan ini, panel yang dihasilkan sebanyak 240 panel per ketinggian pada orientasi 0 dan 50 pada orientasi 45. Karena hanya pada lantai dua dan tiga dengan orientasi 0°, maka total panel yang dihasilkan adalah 480 panel untuk orientasi 0, dan 100 panel pada orientasi 45.

Bila penyusunan menggunakan tipe *inclined with windows*, maka panel yang dihasilkan juga semakin sedikit, gambar potongan bangunan terlampir pada lampiran 3.



Gambar 4-29 potongan susunan panel surya D40 dengan 5 panel surya tersusun parallel

Berdasarkan gambar 4-29, dengan tipe *inclined with windows*, hanya dua panel surya yang bisa disusun ke bawah karena tinggi yang didapat sebesar 67cm. Apabila disusun tiga panel maka tinggi yang didapat sebesar 118cm. Tinggi tersebut melewati tinggi maksimal fasade engineering center yaitu 94 cm. Dengan panjang 40cm panel disusun seri hanya bisa sampai 12 panel. Pada penyusunan ini, panel yang dihasilkan sebanyak 72 panel per ketinggian pada orientasi 0 dan 16 pada orientasi 45. Karena hanya pada lantai dua dan tiga dengan orientasi 0°, maka total panel yang dihasilkan adalah 180 panel untuk orientasi 0°, dan 32 panel pada orientasi 45°.

Berdasarkan analisis penyusunan panel surya tersebut, didapatkan rasio panel surya 1:1 adalah rasio panel surya yang paling optimal. Pada studi kasus engineering center, panel surya rasio 1:1 mampu menghasilkan 580 panel pada penyusunan *solid overhang* dan 212 panel pada penyusunan *inclined with windows*.

Keuntungan penyusunan *solid overhang*:

1. Pengerjaan dan sistem rangka panel lebih mudah.
2. Jumlah panel yang dihasilkan lebih banyak.
3. Perawatan mudah karena panel pada satu frame besar.

Kekurangan penyusunan *solid overhang*:

1. Bila terjadi kerusakan pada satu panel, maka penggantian panel lebih sulit.
2. Dibutuhkan space bebas yang cukup besar

Keuntungan penyusunan *inclined with windows*:

1. Kemudahan penggantian unit panel bila terjadi kerusakan.
2. Space bebas yang dibutuhkan tidak terlalu besar.
3. Perawatan mudah

Kekurangan penyusunan *inclined with windows*:

1. Sistem rangka panel lebih sulit dan mahal.
2. Jumlah panel yang dihasilkan tidak sebanyak *solid overhang*.

Dari penjabaran tersebut maka dipilih penyusunan *solid overhang*, karena kebutuhan listrik engineering center cukup besar.

4.4 Analisis Ekonomi

Analisis Ekonomi menggunakan teori Present value, yaitu semua harga investasi yang digunakan adalah harga sekarang. Tetapi Sebelum melakukan analisis ekonomi, perlu diketahui kebutuhan energi listrik dan besarnya energi yang dihasilkan oleh panel surya.

Pada umumnya satu panel PV memiliki kuat arus (A) sebesar 2,5A – 4A dan efisiensi tegangan (volt) sebesar 12volt, maka satu panel PV memiliki daya (watt) sebesar 36 watt. Berdasarkan analisis kebutuhan energi, lantai dua membutuhkan energi terbesar yaitu 12000 watt.

Tabel 4-18 kebutuhan listrik per lantai engineering center

No.	Keterangan	Daya (watt)	Durasi Pemakaian (h)	Kebutuhan listrik / lantai (Wh) / hari
1)	Lantai satu	9600	8	76900
2)	Lantai dua	12000	8	91200
3)	Lantai tiga	11200	8	89600
	total	32800		257700

Berdasarkan tabel 4-18 didapatkan total kebutuhan listrik engineering center sebesar 257.700 Wh, dimana hasil tersebut menjadi data untuk perhitungan analisis ekonomi.

Penurunan Tegangan dari Modul panel Surya ke inverter

Setiap jarak 10m, tegangan yang dihasilkan oleh modul panel surya akan mengalami penurunan sebesar 1,5 volt.¹ Akibat perletakkan modul tidak semuanya pada bidang yang sama, maka penurunan tegangan antar modul tidak sama. Panel c penurunan tegangan sebesar 1.305 volt. Panel d mengalami penurunan tegangan sebesar 0,15 volt. Panel e mengalami penurunan tegangan sebesar 0,075 volt. Total penurunan tegangan panel surya ke inverter sebesar 1,53 volt.

¹ Zanghis Chan, Staff ahli Photovoltaics balai Konservasi Energy BPPT Puspiptek Serpong.

4.4.1 Analisis Biaya Investasi Panel Surya

Berdasarkan faktor yang mempengaruhi energi didapatkan $performance\ pv = 66.6\%$. sesuai dengan teori bahwa energi panel juga dapat diolah dengan mengolah koefisien beberapa faktor.

Perhitungan untuk *performance ratio* panel surya

a. Berdasarkan perhitungan biasa dengan daur hidup 10 tahun:

$$0.95 \times 0.92 \times 0.98 \times 0.995 \times 0.99 \times 0.95 \times 0.98 \times 1.00 \times 1.00 \times 0.9 = 0.71 \text{ (71\%)}$$

b. Berdasarkan perhitungan biasa dengan daur hidup 20 tahun:

$$0.95 \times 0.92 \times 0.98 \times 0.995 \times 0.99 \times 0.95 \times 0.98 \times 1.00 \times 1.00 \times 0.8 = 0.62 \text{ (62\%)}$$

Berdasarkan analisis kebutuhan energi, keseluruhan bangunan membutuhkan energi sebesar 84000 watt , maka didapatkan jumlah panel surya dengan kemampuan 50 watt sebesar 1680 panel PV. Jika dibandingkan dengan luas fasade yang bisa digunakan untuk panel surya sebesar 580 panel, hanya 34% dari total kebutuhan panel.

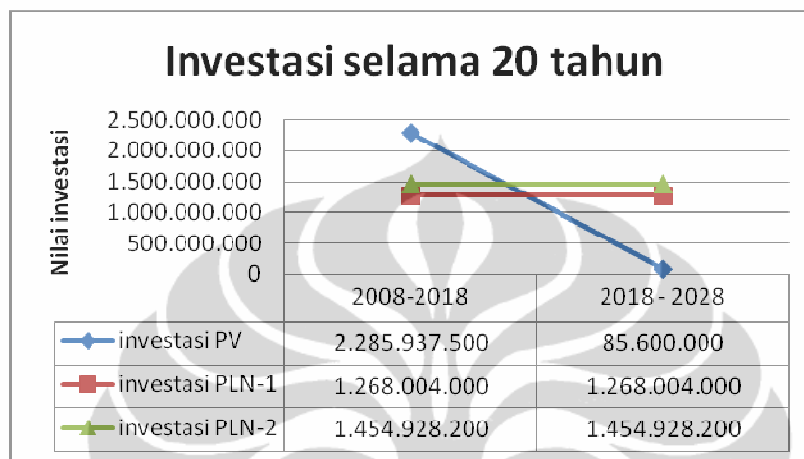
1. Jumlah tersebut terlalu besar, dengan luas fasade yang terbatas dan jumlah panel hanya sebanyak 580 panel, maka panel surya hanya melayani sebagian saja.
2. Jumlah 580 panel hanya untuk melayani 25230 watt, dengan demikian panel surya hanya mengakomodasi kebutuhan listrik untuk penerangan.
3. Berdasarkan diagram konsumsi listrik Engineering center, elektronika (Ipenerangan dan perangkat elektronik) digunakan sebesar 36%, terdiri dari :
 - a. Penerangan sebesar 25.000 watt
 - b. Alat elektronik sebesar 5.800 watt

4.4.2 perbandingan nilai investasi dengan biaya listrik konvensional (PLN)

Tabel 4-19 Perbandingan nilai investasi dengan biaya listrik konvensional (PLN)

	2008-2018	2018 - 2028	total
	10 tahun pertama	10 tahun kedua	
Nilai Investasi PV	2.285.937.500	85.600.000	2.419.537.500
Investasi PLN (PLN-1)	1.268.004.000	1.268.004.000	2.536.008.000
Investasi PLN (PLN-2)	1.454.928.200	1.454.928.200	2.909.856.400

Berdasarkan tabel 4-19 di atas, investasi PV pada tahun pertama sangat tinggi dibandingkan investasi listrik konvensional. Tetapi pada tahun 2018-2028, nilai investasi PV 14-16 kali lebih murah dibandingkan investasi listrik konvensional, seperti pada gambar 4-30. Perhitungan terlampir pada lampiran 1.



Gambar 4-30 nilai investasi selama 20 tahun

Berdasarkan gambar 4-30 di atas, investasi PV pada awal investasi sangat tinggi tetapi biaya perawatan lebih murah jika dibandingkan dengan investasi listrik konvensional (PLN).

Tabel 4-20 nilai investasi listrik konvensional (PLN) dikurangi beban lampu

	2008	2018	2028
Investasi PLN (PLN-1)	1.268.004.000	888.504.000	909.924.000
Investasi PLN (PLN-2)	1.454.928.200	998.364.000	1.019.784.000

Berdasarkan tabel 4-20, setelah pemakaian PV selama 10 tahun nilai investasi listrik konvensional menurun dari Rp. 1.268.004.000 menjadi Rp. 888.504.000. penurunan ini menunjukkan bahwa dengan penggunaan PV mampu menekan biaya listrik konvensional sebesar 30%. Perhitungan terlampir pada lampiran 1.

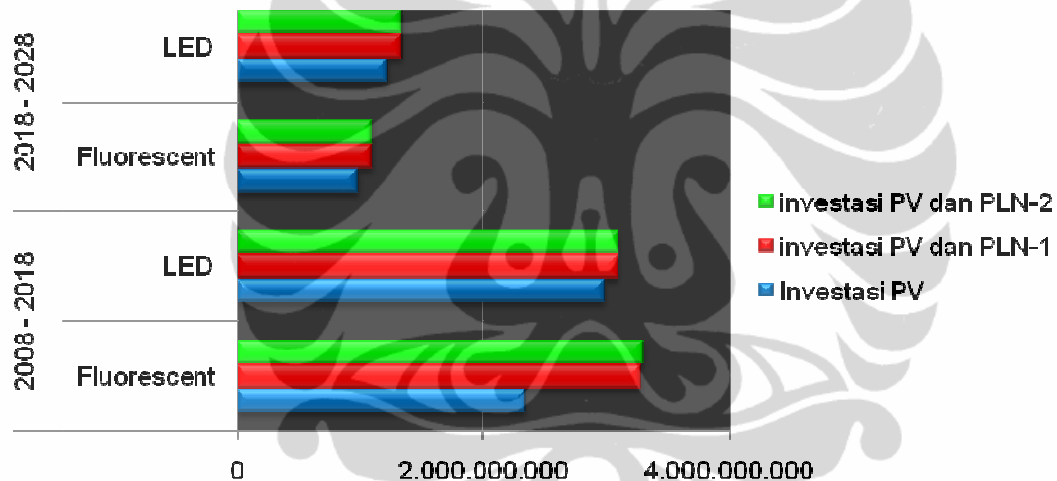
Pada tahun 2028 dengan nilai investasi yang kecil memungkinkan PV menggantikan listrik konvensional, ditunjang dengan jumlah minyak bumi (energy tidak terbarukan) yang semakin menipis.

4.4.3 Perbandingan nilai investasi dengan biaya listrik konvensional (PLN)

Tabel 4-21 perbandingan nilai investasi pemakaian lampu fluorescent dengan lampu LED

	2008-2018		2018 - 2028	
	10 tahun pertama		10 tahun kedua	
	Fluorescent	LED	Fluorescent	LED
Investasi PV	2.350.197.500	2.987.101.500	995.524.000	1.236.594.000
investasi PV dan PLN-1	3.284.301.500	3.096.961.500	1.105.384.000	1.346.454.000
investasi PV dan PLN-2	3.308.301.500	3.096.961.500	1.105.384.000	1.346.454.000

Berdasarkan tabel 4-21, nilai investasi awal PV lebih kecil dibandingkan nilai investasi listrik konvensional pada tahun 2018.



Gambar 4-31 perbandingan nilai investasi lampu fluorescent – LED pada 10 tahun pertama

Berdasarkan gambar 4-31 nilai investasi LED pada awal lebih mahal dibandingkan fluorescent, tetapi pada tahun 2018, nilai investasi LED lebih murah dari fluorescent. Hal ini dikarenakan masa hidup LED yang lebih lama, sehingga pada tahun 2018 belum melakukan pergantian lampu.

4.4.4 Kesimpulan Analisis

Berdasarkan rangkaian analisis dengan simulasi PVSYST dengan batasan orientasi bangunan utara-selatan, perletakkan panel terhindar dari bayangan bangunan sekitar, serta perhitungan simulasi pada waktu 09.00-15.00, didapatkan orientasi panel surya yang optimal dengan keluaran energi terbesar adalah orientasi 0°. Kemiringan panel surya yang efektif

dengan besar energi yang dihasilkan pada orientasi 0 ataupun 45 adalah kemiringan 25°. Pada analisis pengaturan panel pada sun shading menggunakan tipe *horizontal solid overhang* yang dikombinasi dengan tipe pemasangan panel *inclined walls*. Didapatkan sebanyak 580 panel dengan dimensi 40cm x 40 cm bila menggunakan kedua tipe sun shading tersebut. Oleh sebab itu, kinerja panel surya yang optimal untuk bangunan dengan orientasi utara-selatan dapat dilakukan dengan cara pengaturan panel sebagai *sun shading* dengan tipe *horizontal device*.

Berdasarkan rangkaian analisis ekonomi, nilai investasi panel surya sangat besar yaitu Rp. 2.285.937.500. Harga komponen pendukung seperti Baterai, dan *Power conditioning* atau inverter masih mahal menyebabkan biaya investasi panel surya yang lebih mahal dibandingkan biaya listrik konvensional. Setelah pemakaian selama 10 tahun, bila panel surya digabungkan dengan listrik konvensional terjadi pengurangan biaya listrik konvensional sebesar Rp. 379.500.000 atau sebesar 30% dari biaya listrik pada awal tahun.

