

BAB IV

HASIL PEMBAHASAN DAN ANALISA

4.1 Pendahuluan

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kinerja sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) skala kecil berkapasitas 40 Wp dengan membandingkan dua metode instalasi, yaitu sistem *Ground-mounted* dan *Rooftop*, terhadap pengaruh *partial shading* dan variasi sudut kemiringan panel. Penelitian ini bersifat eksperimental dengan pendekatan pengukuran langsung di lapangan serta didukung dengan simulasi menggunakan perangkat lunak *PVsyst* sebagai pendukung.

Bab ini menyajikan hasil pengujian sistem PLTS 40 Wp pada konfigurasi *Ground-mounted* dan *Rooftop* di lingkungan Gedung FT UKI, Jakarta. Pengujian dilaksanakan selama enam hari (5 Mei - 11 Mei 2026) dengan interval pengambilan data setiap 15 menit dari pukul 08.00 - 16.00 WIB. Parameter yang diukur meliputi tegangan (V), arus (A), intensitas radiasi matahari (W/m^2), dan temperatur lingkungan ($^{\circ}\text{C}$). Dari data mentah tersebut dihitung daya keluaran, efisiensi sistem, dan energi harian untuk setiap variasi sudut kemiringan (10° , 20° , 30°) pada dua kondisi: tanpa *shading* dan dengan *partial shading* 50%.

4.2 Pengambilan Data

Pada penelitian ini, metode pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan metode pengukuran langsung (*eksperimental*) yang didukung oleh observasi lapangan serta simulasi menggunakan perangkat lunak *PVsyst* sebagai data pendukung.

1. Metode Utama: Pengukuran Langsung (*Eksperimental*)

Metode utama yang digunakan adalah pengukuran langsung di lapangan, karena penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja nyata sistem PLTS 40 Wp pada kondisi aktual.

Pengumpulan data dilakukan dengan mengukur parameter dan lingkungan secara *real-time*, meliputi:

- Tegangan (Volt)
- Arus (Ampere)
- Intensitas radiasi matahari (W/m^2)
- Temperatur lingkungan ($^{\circ}\text{C}$)

Pengukuran dilakukan pada:

- Sistem *Ground-mounted*
- Sistem *Rooftop*

Dengan variasi:

- Sudut kemiringan: 10° , 20° , 30°
- Kondisi: Tanpa *Shading* dan *Partial Shading* 50%

Data diambil secara berkala pada kondisi cuaca nyata untuk merepresentasikan kondisi operasional sebenarnya.

2. Metode Pembandingan: Observasi Lapangan

Metode observasi digunakan untuk mendukung hasil pengukuran dengan cara melakukan pengamatan langsung terhadap kondisi lingkungan saat pengujian.

Observasi meliputi:

- Kondisi cuaca (cerah, mendung, dll)
- Waktu pengambilan data
- Perubahan intensitas cahaya
- Kondisi lingkungan sekitar (dengan merepresentasikan *partial shading* 50%)

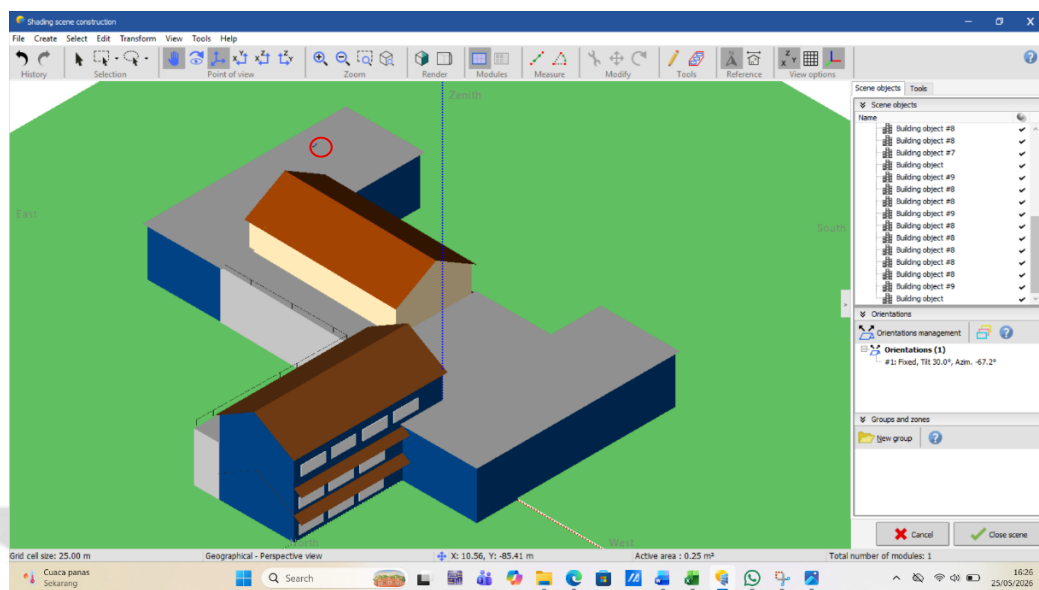
Metode observasi ini bertujuan untuk:

- Mendukung interpretasi terhadap data hasil pengukuran
- Menjelaskan terjadinya perubahan nilai tegangan, arus, dan daya
- Memastikan bahwa data yang diperoleh merepresentasikan kondisi riil di lapangan

Dengan adanya observasi lapangan, hasil penelitian menjadi lebih valid dan komprehensif, karena tidak hanya didasarkan pada data numerik, tetapi juga mempertimbangkan faktor lingkungan yang memengaruhi kinerja sistem PLTS.

3. Metode Pendukung: Simulasi *PVsyst*

Selain pengukuran langsung, penelitian ini juga menggunakan simulasi dengan perangkat lunak *PVsyst* sebagai metode pembandingan (validasi) terhadap data lapangan.



Gambar 4. 1 Desain 3D Simulasi *PVsyst*.

Simulasi dilakukan dengan memasukkan parameter yang sama dengan titik lokasi penelitian, yaitu:

- Lokasi penelitian dan Data radiasi matahari berdasarkan PVGIS

Geographical site parameters, new site

Geographical Coordinates | Monthly weather data | Interactive Map

Location

Site name: Universitas Kristen Indonesia Jakarta

Country: Indonesia Region: Asia

Geographical Coordinates

Sun paths

Latitude: -6.1748 [°] 6 10 29 (+ = North, - = South hemisph.)

Longitude: 106.8271 [°] 106 49 37 (+ = East, - = West of Greenwich)

Altitude: 11 M above sea level

Time zone: 7.0 Corresponding to an average difference Legal Time - Solar Time = 0h -6m

Weather data Import

☐ Meteomorm 8.2
☐ NASA-SSE
☒ PVGIS TMY Version: 5.2
☐ NREL / NSRDS TMY
☐ Solcast TMY
☐ SolarAnywhere@ TGY
☐ SolarGIS TMY

Import

Gambar 4. 2 Titik Koordinat Lokasi Penelitian dan Cuaca

- Kapasitas modul, baterai, dan beban

Av. daily needs: 0.02 kWh/day

Enter accepted PLOL: 5.0 %

Requested autonomy: 1.0 day(s)

The load profile holds data for only 1 months months in the year. This is not sufficient for performing a reliable pre-sizing.

12 V

26 Ah

0.00 Wp

Storage | Sub-array design | Back-Up | Simplified sketch

Sub-array name and Orientation

Name: PV Array

Orient: Fixed, Tilt 10.0°, Azim. -67.2°

Pre-sizing Help

☐ No sizing
☒ Planned power: 0.1 kWp
☐ or available area: 0 m²

Resize

Select the PV module

All modules

Eco Green Energy

Sort modules: ☒ Power ☐ Technology

40 Wp 17V Si-mono EGE-40W-36M(M10) Since 2021

Sizing voltages: Vmpp (60°C) 17.2 V Voc (-10°C) 27.9 V

Gambar 4. 3 Spesifikasi Panel pada Simulasi *PV*sys.

Specify the Battery set

Sort batteries by: ☒ voltage ☐ capacity ☐ manufacturer

Universal 12 V 14 Ah Pb Sealed Gel Adjustable Lead-acid Since 2017

Lead-acid

1 batteries in series

1 batteries in parallel

100.0 % Initial State of Wear (nb. of cycles)

100.0 % Initial State of Wear (static)

Universal battery pack

You have chosen a universal battery

Nominal pack voltage: 12.0 V

Nominal pack capacity: 14.0 Ah

Battery pack voltage: 12 V

Global capacity: 14 Ah

Stored energy (80% DOD): 0.1 kWh

Total weight: 7 kg

Nb. cycles at 80% DOD: 1200

Total stored energy during the battery life: 179 kWh

Gambar 4. 4 Spesifikasi Baterai pada Simulasi *Pvsyst*.

Consumption Hourly distribution

Daily consumptions

Number	Appliance	Power	Daily use	Hourly distrib.	Daily energy
1	Lamps LED DC	20 W/lamp	8.0 h/day	OK	160 Wh
0	TV / PC / Mobile	0 W/app	0.0 h/day		0 Wh
0	Domestic appliances	0 W/app	0.0 h/day		0 Wh
0	Fridge / Deep-freeze	0.00 kWh/day	0.0		0 Wh
0	Dish- and Cloth-washer	0.0 W aver.	2.0 h/day		0 Wh
0	Other uses	0 W/app	0.0 h/day		0 Wh
0	Other uses	0 W/app	0.0 h/day		0 Wh
Stand-by consumers		1 W tot	24 h/day		24 Wh
Total daily energy					184 Wh/day
Monthly energy					5.5 kWh/mth

Appliances info

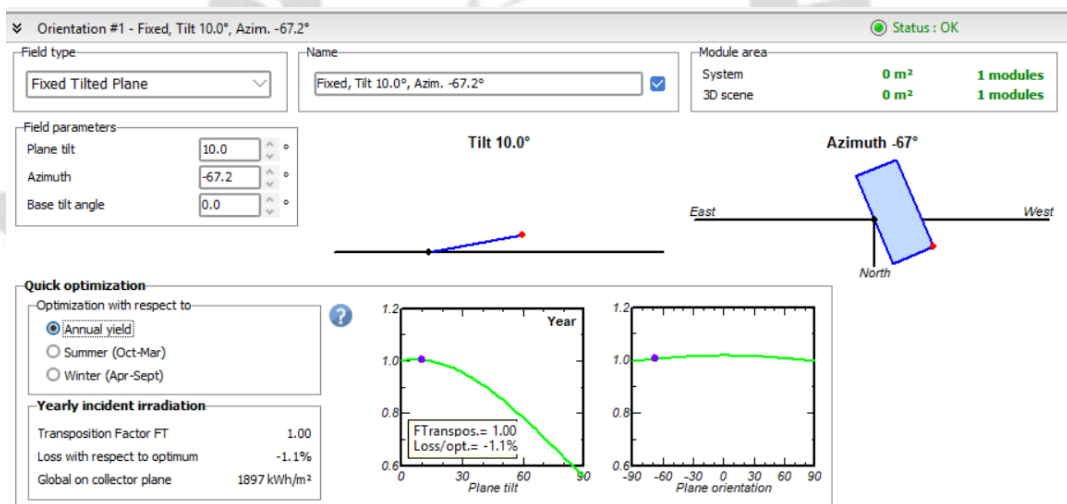
Consumption definition by
☐ Years
☐ Seasons
☒ Months

Show values of
 May Copy values

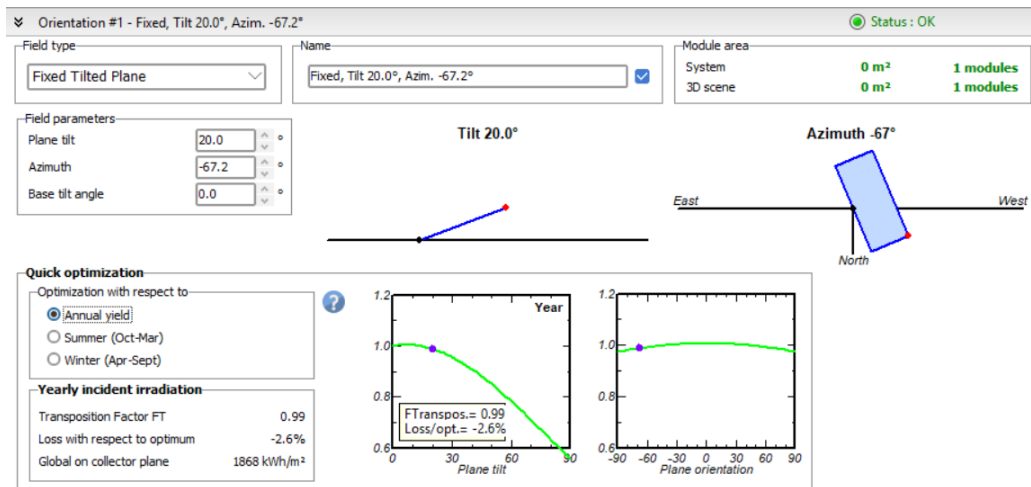
Daily global consumption

Gambar 4. 5 Spesifikasi Beban pada Simulasi *PV*syst.

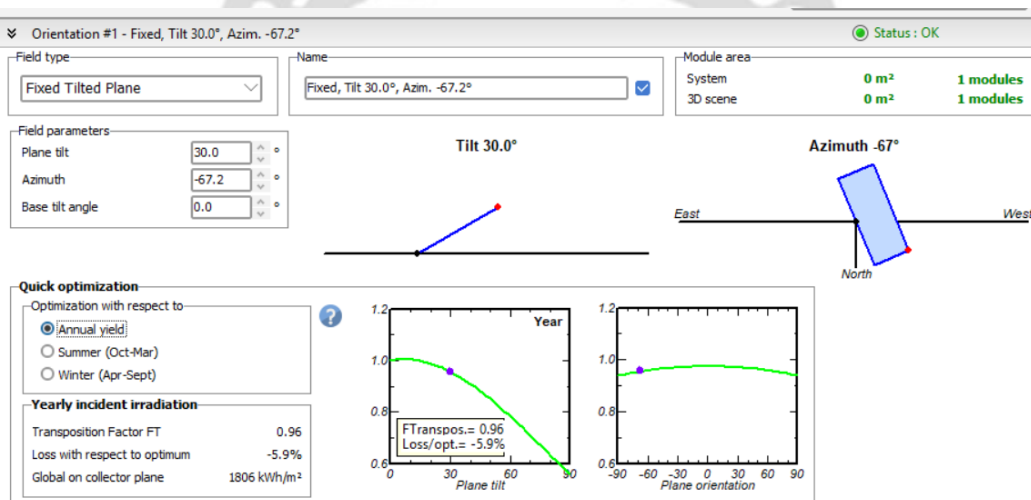
- Sistem PLTS *off-grid* dan Variasi sudut kemiringan (10° , 20° , 30°)



Gambar 4. 6 Sudut Kemiringan 10°



Gambar 4. 7 Sudut Kemiringan 20°.



Gambar 4. 8 Sudut Kemiringan 30°.

Hasil simulasi yang diperoleh berupa:

- *Energy Load*
- *Energy User*

Selanjutnya, hasil simulasi dibandingkan dengan data hasil pengukuran lapangan untuk :

- Mengetahui tingkat akurasi simulasi terhadap kondisi nyata
- Melihat kesesuaian tren antara data teoritis dan data riil

4. Kesimpulan Metode Pengumpulan Data

Dengan demikian, metode pengumpulan data dalam penelitian ini terdiri dari:

- **Metode utama:** Pengukuran langsung (*eksperimental*)
- **Metode pendukung:** Simulasi *PVsys*
- **Metode pembanding:** Observasi Lapangan

Kombinasi ketiga metode ini digunakan untuk menghasilkan data yang akurat, valid, dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah, serta memberikan analisis yang lebih komprehensif terhadap kinerja sistem PLTS pada kondisi nyata.

4.2.1 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel berikut.

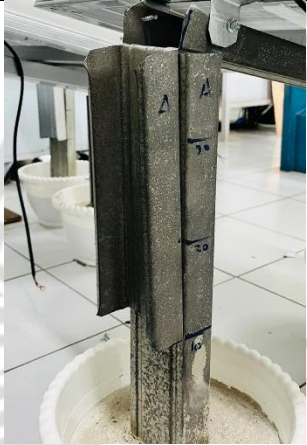
Tabel 4. 1 Alat Pengukuran.

No	Nama Alat	Gambar Alat	Spesifikasi	Jumlah	Fungsi
1	Multimeter		Digital XL830L	8 Unit	Mengukur tegangan dan arus
2	Lux / <i>Irradiance</i> meter		Digital AS803	2 Unit	Mengukur intensitas radiasi matahari dan suhu permukaan panel

3	Busur		Manual	1 Unit	Mengukur sudut kemiringan panel
---	-------	---	--------	--------	---------------------------------

Tabel 4. 2 Bahan Penelitian

No	Nama Bahan	Gambar Bahan	Keterangan	Jumlah	Fungsi
1	Panel Surya 40 Wp		Maysun 40 Wp, 18V Monocrystalline	4 Unit	Sumber pembangkit listrik dari energi surya
2	Solar Charge Controller (SCC)		PWM 10A 12/24 V	4 Unit	Mengatur pengisian baterai dan menstabilkan tegangan
3	Baterai		Tianneng Aki Selis 12V 14Ah	4 Unit	Menyimpan energi listrik dari panel surya
4	Lampu LED			4 Unit	Sebagai beban tetap

			Mitsuyama Lampu Led DC 20 W 12V		pada sistem PLTS
5	Struktur Penyangga		Baja/Besi	4 Unit	Menopang panel surya dan mengatur sudut kemiringan
6	Kabel Pv		Visero 2 x 2.5mm	8 meter	Menghubun gkan Solar Pv ke SCC
7	Kabel NYMHY		NYMHY 2 x 1,5mm	6 meter	Menghubun gkan SCC ke Beban

	Kabel NYAF		NYAF 1 x 2,5mm Biru	5 meter	Menghubungkan SCC ke Baterai
	Kabel NYAF		NYAF 1 x 2,5mm Merah	5 meter	
8	Isolasi		-	1 buah	Melindungi penghantar dari pengaruh lingkungan
9	Bayangan Shading		Triplek	4 x (470 x 600) mm	Mensimulasikan <i>partial shading</i> sebesar 50% dan sebagai papan kontrol

4.2.2 Spesifikasi Alat dan Perancangan Bahan

Jenis panel yang akan digunakan pada penelitian kali ini adalah jenis *monocrystalline* 40 WP dengan ukuran 53 x 45 x 2,5 cm. Dibawah ini merupakan Tabel spesifikasi dari jenis panel yang digunakan.

Tabel 4. 3 Spesifikasi Panel Surya.

Keterangan	Spesifikasi
<i>Rated Maximum Power</i> ($P_{\max}$)	40W
<i>Tolerance</i>	3%
<i>Open Circuit Voltage</i> (V_{oc})	22.0V
<i>Short Circuit Current</i> (I_{sc})	2.46A
<i>Voltage at $P_{\max}$</i> (V_{mp})	18V
<i>Current at $P_{\max}$</i> (I_{mp})	2.22A
<i>Cell Tecnology</i>	Mono-Si
<i>Weight</i>	2.02 kg
<i>Dimension</i>	53 x 45 x 2,5 cm

Tabel 4. 4 Spesifikasi Rangka Penyangga.

Variasi Sudut	Tiang Depan (cm)	Tiang Belakang (cm)
10°	40	49
20°	40	58
30°	40	67

Tabel 4. 5 Spesifikasi Rangka *Shading*.

Keterangan	Spesifikasi
Ukuran Triplek <i>Shading</i>	53 cm x 43 cm
Ukuran Tiang <i>Shading</i>	46 cm x 66 cm

4.2.3 Skema Rangkaian

Skema rangkaian pada penelitian ini terdiri dari sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) 40 Wp yang bekerja secara *off-grid*. Energi listrik dihasilkan dari panel surya berupa arus searah (DC) melalui proses konversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik menggunakan efek fotovoltaiik, kemudian dialirkan menuju *solar charge controller* (SCC) untuk mengatur proses pengisian baterai agar stabil dan tidak terjadi *overcharging* maupun *overdischarging*. Selanjutnya energi disimpan dalam baterai dan digunakan untuk menyuplai beban. Gambaran dari rangkaian dapat kita lihat pada Gambar 4.8.

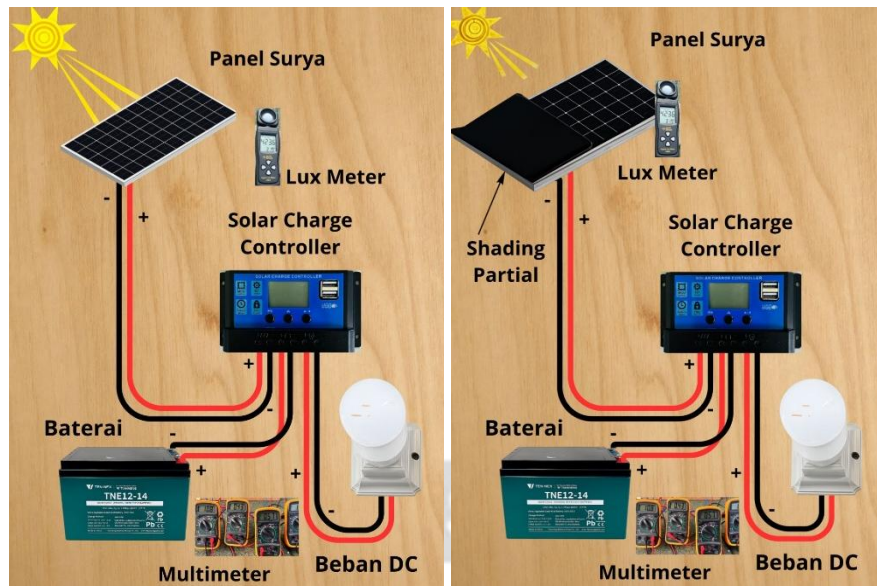


Gambar 4. 9 Alat Penelitian.

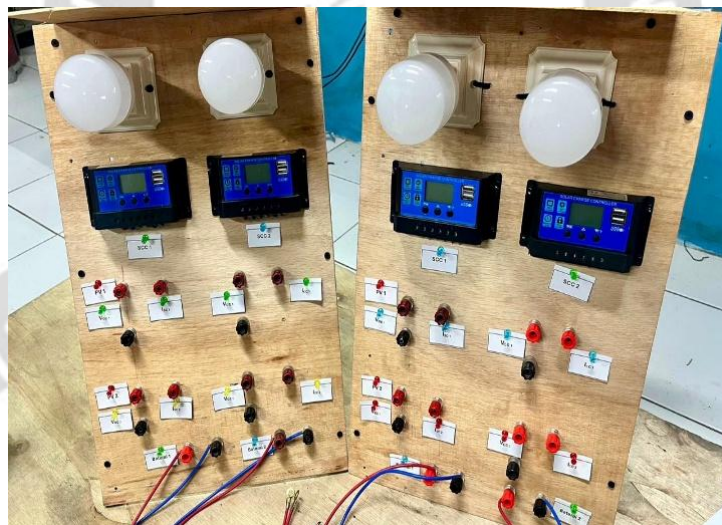
Keterangan :

Kiri pada sistem *Ground-mounted* dan Kanan pada sistem *Rooftop*

Parameter seperti tegangan dan arus diukur menggunakan alat ukur multimeter untuk mengetahui kinerja sistem pada berbagai kondisi pengujian, yaitu variasi sudut kemiringan dan kondisi *partial shading*. Rangkaian ini disusun sesuai dengan prinsip kerja sistem PLTS *off-grid* yang telah dijelaskan pada Bab 2.



Gambar 4. 10 Diagram Pengukuran Tanpa *Shading* dan Dengan *Partial Shading* 50% pada sistem PLTS.



Gambar 4. 11 Papan Kontrol.

Sistem ini dirancang untuk menganalisis kinerja PLTS berdasarkan variasi:

- Sudut kemiringan (10° , 20° , 30°)
- Kondisi *partial shading* 50%
- Lokasi pemasangan (*Rooftop* dan *Ground-mounted*)

Dengan konfigurasi tersebut, diharapkan energi matahari dapat dikonversikan menjadi energi listrik secara optimal, serta dapat diketahui pengaruh *shading* dan sudut kemiringan terhadap daya keluaran dan efisiensi sistem.

4.2.4 Metode Pengujian

Metode pengujian pada penelitian ini dilakukan secara *eksperimental* (pengukuran langsung di lapangan) dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh variasi sudut kemiringan dan *partial shading* 50% terhadap kinerja sistem PLTS 40 Wp pada konfigurasi *Ground-mounted* dan *Rooftop*. Pengujian dilakukan secara terstruktur agar setiap variabel dapat dianalisis secara terpisah maupun kombinasi.

A. Pengujian Karakteristik Dasar Panel Surya

Tabel ini digunakan sebagai bagian dari proses evaluasi awal untuk mengetahui karakteristik dasar panel surya melalui pengukuran tegangan rangkaian terbuka (Voc) dan arus hubung singkat (Isc). Pengukuran dilakukan tanpa beban dan tanpa variasi sudut kemiringan. sehingga nilai yang diperoleh merepresentasikan kondisi dasar panel terhadap radiasi matahari.

Tabel 4. 6 Pengukuran Tegangan dan Arus Tanpa Beban.

Lokasi	Waktu	Voc Panel 1	Isc Panel 1	Voc Panel 2	Isc Panel 2	Intensitas Radiasi Matahari (W/m ²)	Suhu (°C)
Rooftop	8:00	20	1,85	20	1,82	750	33
	8:15	21	1,95	21	1,9	833	34
	8:30	21	2,05	21	2	917	36
	8:45	21	2,15	21	2,1	1000	39
	9:00	21	2,2	21	2,18	1042	41
	9:15	21	2,28	21	2,25	1067	43
	9:30	21	2,35	21	2,4	1075	46
	9:45	21	2,38	21	2,5	1078	47,8
	10:00	21	2,45	21	2,42	1249	42,4
	10:15	20	2,41	20	2,32	1181	39,6
	10:30	21	2,48	21	2,4	1207	38,7
	10:45	21	2,37	21	2,35	1257	38,8
	11:00	21	2,33	21	2,35	1267	38,6
	11:15	21	1,68	21	1,71	1064	40,7
	11:30	20	1,73	20	1,7	943	39

	11:45	20	2,13	20	2,19	1135	39,8
	12:00	20	2,11	20	2,02	197	37,4
	12:15	20	2,01	20	2,01	1105	40,3
	12:30	20	2,12	20	2,03	1118	40,1
	12:45	21	1,92	21	1,95	981	45,3
	13:00	21	1,92	21	1,95	906	39,5
	13:15	21	1,68	21	1,7	863	40,6
	13:30	21	1,6	21	1,62	817	39,5
	13:45	21	1,52	21	1,55	767	38,8
	14:00	20	1,4	20	1,42	667	37,8
	14:15	20	1,25	20	1,28	542	36,8
	14:30	20	1,1	20	1,15	433	35
	14:45	20	0,95	20	1	333	34
	15:00	20	0,82	20	0,85	250	32
	15:15	20	0,75	20	0,78	208	31
	15:30	19	0,7	19	0,72	183	30
	15:45	19	0,65	19	0,68	150	29
	16:00	19	0,6	19	0,62	125	28
<i>Ground-mounted</i>	8:00	20	1,8	20	1,78	708	32
	8:15	20	1,88	20	1,85	792	33
	8:30	20	1,98	20	1,95	875	35
	8:45	20	2,1	20	2,08	983	37
	9:00	21	2,18	21	2,15	1025	39
	9:15	21	2,25	21	2,22	1058	41
	9:30	21	2,32	21	2,3	1083	44
	9:45	21	2,36	21	2,34	1098	45,3
	10:00	21	2,47	21	2,38	361	48,6
	10:15	21	2,43	21	2,35	1104	40,1
	10:30	20	2,51	20	2,4	1161	37,8
	10:45	21	2,37	21	2,31	1168	38,6
	11:00	21	2,4	21	2,15	1087	39,7
	11:15	21	1,68	21	1,7	837	40,5
	11:30	21	1,62	21	1,63	705	41,8
	11:45	20	1,84	20	1,75	973	39,2
	12:00	20	2,16	20	2,07	1176	39,4
	12:15	20	2,07	20	1,99	1143	41,9
	12:30	21	2,17	21	2,03	1136	42,6
	12:45	21	1,94	21	1,88	969	42,4
	13:00	21	1,88	21	1,82	917	39
	13:15	21	1,69	21	1,77	850	37,6
	13:30	21	1,58	21	1,6	792	37
	13:45	20	1,48	20	1,5	733	36,5
	14:00	20	1,35	20	1,38	650	35,5

	14:15	20	1,2	20	1,22	517	34,5
	14:30	20	1,05	20	1,08	400	33,5
	14:45	20	0,9	20	0,95	317	32,5
	15:00	20	0,78	20	0,8	233	31
	15:15	19	0,7	19	0,72	183	30,5
	15:30	19	0,65	19	0,68	150	29
	15:45	19	0,6	19	0,62	125	28
	16:00	19	0,55	19	0,58	100	28

Data Voc dan Isc yang diperoleh digunakan untuk memvalidasi kesesuaian karakteristik panel terhadap kurva I-V secara teoritis. Selain itu, pengukuran ini juga berfungsi untuk memastikan bahwa panel surya bekerja dalam kondisi normal sebelum dilakukan pengujian lebih lanjut pada variasi sudut kemiringan dan kondisi *partial shading*.

B. Pengujian Pengaruh *Partial Shading*

Tabel ini digunakan untuk pengujian pengaruh *partial shading* sebesar 50% terhadap kinerja sistem PLTS tanpa variasi sudut kemiringan. Pengujian dilakukan secara terkontrol dengan memberikan penutupan sebagian permukaan panel surya menggunakan triplek, sehingga kondisi *shading* dapat dibuat konsisten dan dapat direplikasi.

Tabel 4. 7 Pengukuran Dengan *Partial Shading* 50% Dengan Sudut 0°.

Lokasi	Sudut	Kondisi	Waktu	V _{panel} (V)	V _{out} (V)	I _{out} (A)	Intensitas Radiasi Matahari (W/m ²)	Suhu (°C)
Rooftop	0°	Shading	8:00	20	11,5	0,54	440,7	33,1
			8:15	20,1	11,5	0,55	466,2	33,7
			8:30	20,2	11,6	0,55	490,9	34
			8:45	20,9	11,5	0,55	631,6	34
			9:00	21	11,4	0,54	796,9	35
			9:15	20,7	11,4	0,52	758	34,9
			9:30	20,8	11,5	0,55	851,7	36,9
			9:45	20,3	11,4	0,53	848,3	36,6
			10:00	20,4	11,3	0,53	446,4	35,7
			10:15	21,1	11,4	0,55	1036,7	37,2

<i>Ground-mounted</i>	0°	<i>Shading</i>	10:30	21,3	11,4	0,54	1156,7	37
			10:45	20,7	11,3	0,52	272,3	34,5
			11:00	21,7	11,2	0,51	1046,7	36,4
			11:15	20,6	11,4	0,47	1113,3	38,5
			11:30	20,8	11,2	0,48	1003,3	41,3
			11:45	20,8	11,4	0,51	1090	38,7
			12:00	20,8	11,2	0,5	1068,3	42,4
			12:15	20,8	11,5	0,5	1071,7	39
			12:30	20,6	11,6	0,54	997,5	40,5
			12:45	20,3	11,5	0,54	1080,8	41
			13:00	20	11,4	0,52	323,3	37,4
			13:15	20,5	11,1	0,46	811,2	39,8
			13:30	20,8	11,5	0,54	875	39,1
			13:45	21,7	11,1	0,46	714,4	37,6
			14:00	20,5	11,4	0,51	744,2	38
			14:15	20,7	11,3	0,5	730	38
			14:30	20,4	11,6	0,57	510,4	43
			14:45	20,2	11,4	0,5	514,5	38,2
			15:00	20,2	11,4	0,51	434,4	42,8
			15:15	20,2	11,3	0,5	402,8	37,2
			15:30	20	10,8	0,43	240,3	37,8
			15:45	19,9	10,6	0,4	221,3	33,3
			16:00	19,7	10,5	0,39	155,2	32,7
			8:00	20,8	11,8	0,54	456,2	30,4
			8:15	20,9	11,8	0,54	476,8	30,8
			8:30	21	11,8	0,54	494,4	31
			8:45	21	11,8	0,54	493,3	37,4
			9:00	20,9	11,8	0,53	793,9	38,7
			9:15	20,8	11,8	0,53	725,3	37
			9:30	20,9	11,8	0,52	763,5	40,9
			9:45	21	11,8	0,52	885,8	41,4
			10:00	21,1	11,8	0,52	415,1	38,3
			10:15	21	11,8	0,51	1028,3	37,7
			10:30	20,9	11,8	0,51	970,8	37,5
			10:45	20,8	11,7	0,51	255	43
			11:00	20,8	11,7	0,5	966,7	40,8
			11:15	20,8	11,7	0,5	1055,8	40,3
			11:30	20,9	11,7	0,53	1037,5	40
			11:45	20,8	11,7	0,56	992,5	40,4

			12:00	20,7	11,7	0,55	1102,5	38
			12:15	20,6	11,7	0,55	1048,3	35,5
			12:30	20,5	11,7	0,54	941,7	36,6
			12:45	20,4	11,7	0,55	1050	37,1
			13:00	20,3	11,6	0,54	294,7	37,4
			13:15	20,4	11,6	0,53	425,9	36,3
			13:30	20,5	11,6	0,53	781,4	36,6
			13:45	20,7	11,6	0,52	659,8	38,8
			14:00	20,7	11,6	0,51	685,5	40,3
			14:15	20,6	11,6	0,5	565,8	43
			14:30	20,5	11,5	0,5	742,6	40,1
			14:45	20,4	11,5	0,49	436,3	36,4
			15:00	20,3	11,5	0,49	396,3	31,5
			15:15	20,2	11,5	0,48	373,4	34,1
			15:30	19,9	11,4	0,47	215	38
			15:45	19,8	11,3	0,46	168,3	34,5
			16:00	19,6	11,2	0,44	149,5	33,1

Tabel 4. 8 Pengukuran Tanpa *Shading Partial* 50% Dengan Sudut 0°.

Lokasi	Sudut	Kondisi	Waktu	V _{panel} (V)	V _{out} (V)	I _{out} (A)	Intensitas Radiasi Matahari (W/m ²)	Suhu (°C)
Rooftop	0°	Tanpa Shading	8:00	20,8	12	0,66	440,7	33,1
			8:15	20,9	12,1	0,67	466,2	33,7
			8:30	21	12,1	0,67	490,9	34
			8:45	21,7	12,1	0,66	631,6	34
			9:00	21,6	12,1	0,67	796,9	35
			9:15	21,4	12	0,66	758	34,9
			9:30	21,6	12	0,65	851,7	36,9
			9:45	21,4	12	0,65	848,3	36,6
			10:00	21,2	12	0,65	446,4	35,7
			10:15	21,7	12	0,65	1036,7	37,2
			10:30	21,9	12	0,65	1156,7	37
			10:45	20,9	12	0,65	272,3	34,5
			11:00	21,7	12	0,64	1046,7	36,4
			11:15	21,5	12	0,64	1113,3	38,5
			11:30	21,5	11,9	0,63	1003,3	41,3

			11:45	21,6	11,9	0,63	1090	38,7
			12:00	21,5	11,9	0,63	1068,3	42,4
			12:15	21,6	11,9	0,62	1071,7	39
			12:30	21,4	11,9	0,62	997,5	40,5
			12:45	21,3	11,9	0,6	1080,8	41
			13:00	20,7	11,9	0,61	323,3	37,4
			13:15	21,4	11,8	0,62	811,2	39,8
			13:30	21,7	11,8	0,6	875	39,1
			13:45	21,7	11,8	0,6	714,4	37,6
			14:00	21,5	11,7	0,61	744,2	38
			14:15	21,5	11,8	0,6	730	38
			14:30	21,2	11,8	0,59	510,4	43
			14:45	21,5	11,8	0,6	514,5	38,2
			15:00	21,4	11,7	0,59	434,4	42,8
			15:15	21,5	11,7	0,59	402,8	37,2
			15:30	21,3	11,8	0,57	240,3	37,8
			15:45	21,2	11,7	0,58	221,3	33,3
			16:00	21	11,6	0,56	155,2	32,7
<i>Ground-mounted</i>	0°	<i>Tanpa Shading</i>	8:00	20,9	12	0,63	456,2	30,4
			8:15	21	12	0,63	476,8	30,8
			8:30	21,1	12	0,62	494,4	31
			8:45	21,4	12,1	0,62	493,3	37,4
			9:00	21,3	12,1	0,62	793,9	38,7
			9:15	21,2	12,1	0,61	725,3	37
			9:30	21,3	12,1	0,61	763,5	40,9
			9:45	21,2	12,1	0,6	885,8	41,4
			10:00	21,3	12,1	0,6	415,1	38,3
			10:15	21,3	12,1	0,6	1028,3	37,7
			10:30	21,2	12,1	0,6	970,8	37,5
			10:45	21,2	12,1	0,6	255	43
			11:00	21,3	12,1	0,6	966,7	40,8
			11:15	21,3	12	0,59	1055,8	40,3
			11:30	21,3	12	0,59	1037,5	40
			11:45	21,2	12	0,59	992,5	40,4
			12:00	21,3	12	0,59	1102,5	38
			12:15	21,3	12	0,59	1048,3	35,5
			12:30	21,2	12	0,59	941,7	36,6
			12:45	21,1	12	0,58	1050	37,1
			13:00	21	12	0,58	294,7	37,4

			13:15	21,1	12	0,58	425,9	36,3
			13:30	21,2	12	0,58	781,4	36,6
			13:45	21,3	12	0,58	659,8	38,8
			14:00	21,3	11,9	0,58	685,5	40,3
			14:15	21,2	11,9	0,57	565,8	43
			14:30	21,1	11,9	0,57	742,6	40,1
			14:45	21,1	11,9	0,57	436,3	36,4
			15:00	21	11,9	0,56	396,3	31,5
			15:15	20,9	11,9	0,56	373,4	34,1
			15:30	20,8	11,8	0,55	215	38
			15:45	20,7	11,8	0,54	168,3	34,5
			16:00	20,5	11,7	0,52	149,5	33,1

C. Pengujian Pengaruh Sudut Kemiringan

Tabel ini digunakan sebagai bagian dari proses untuk mengetahui pengaruh sudut kemiringan panel yang paling optimal dalam menghasilkan kinerja sistem PLTS.

Tabel 4. 9 Pengukuran Variasi Sudut Kemiringan.

Variasi Sudut	Lokasi Pemasangan	Waktu	V_{panel} (V)	V_{out} (V)	I_{out} (A)	Intensitas Radiasi Matahari (W/m^2)	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)
10°	Rooftop	8:00	21	13,2	0,54	485	32,5
		8:15	21,1	13,3	0,55	554,2	33
		8:30	21,2	13,3	0,56	590	34
		8:45	21,3	13,4	0,57	603,3	35,5
		9:00	21,4	13,4	0,57	623,7	37,3
		9:15	21,5	13,3	0,79	536,7	37,5
		9:30	21,6	13,3	0,81	859,2	34
		9:45	21,5	13	0,78	638,9	41,2
		10:00	21,7	13,4	0,81	319,1	34
		10:15	21,5	13	0,77	371,7	33,8
		10:30	21,5	13	0,78	411,4	32,9
		10:45	21,4	13,1	0,78	480,1	33,1
		11:00	21,6	13,2	0,81	615,5	33,7
		11:15	21,3	13	0,72	395,8	34
		11:30	21,4	13,1	0,78	334,9	34
		11:45	21,4	13	0,76	633,3	35
		12:00	21,4	13	0,76	594,4	39,2

		12:15	21,2	12,9	0,7	320,2	35,6
		12:30	21,3	12,9	0,76	451,8	34,6
		12:45	21,7	13	0,76	924,2	34,5
		13:00	21,8	13	0,76	952,5	34
		13:15	21,6	12,9	0,76	740	35,3
		13:30	21,4	12,8	0,78	536,4	36,5
		13:45	21,3	12,8	0,65	582,5	35,5
		14:00	21,4	12,8	0,77	679,6	34
		14:15	21,2	12,7	0,76	386,5	35,7
		14:30	21	12,7	0,62	226,8	37,3
		14:45	21,1	12,8	0,63	376,6	36
		15:00	21	12,7	0,73	240,5	35,3
		15:15	21	12,8	0,63	230,4	35,5
		15:30	20,9	12,8	0,69	347,1	34
		15:45	20,8	12,7	0,61	281,7	33,5
		16:00	20,7	12,6	0,59	220	32,8
	Ground-mounted	8:00	21,2	13,8	0,88	148,3	31
		8:15	21,3	13,8	0,89	153,3	31,5
		8:30	21,4	13,9	0,9	157,5	32
		8:45	21,4	13,9	0,91	160	32,3
		9:00	21,5	14	0,92	162,5	32,4
		9:15	21,5	14	0,93	165,08	32,5
		9:30	21,7	13,2	0,88	155,25	38
		9:45	21,5	13,5	0,83	206,1	34,8
		10:00	21,7	13,2	0,85	216,6	34,1
		10:15	21,6	13,6	0,84	236,8	32,7
		10:30	21,6	13,4	0,86	231,5	36,7
		10:45	21,7	13,3	0,88	328,3	37,3
		11:00	21,9	13,9	0,96	790,8	38,7
		11:15	21,6	13,4	0,87	424,1	36,2
		11:30	21,4	13,1	0,85	220,2	34,4
		11:45	21,7	13,6	0,92	554	37
		12:00	21,5	13,2	0,87	254,8	35,6
		12:15	21,4	13,1	0,84	185	34,5
		12:30	21,5	13,2	0,86	322,3	36,7
		12:45	21,5	13,2	0,85	278,3	34,3
		13:00	21,9	13,9	0,99	706,1	34,6
		13:15	21,6	13,3	0,87	545	36,1
		13:30	21,6	13,4	0,9	525,9	38,6
		13:45	21,7	13,5	0,93	632,9	37,5
		14:00	21,8	13,7	0,95	667,7	38,2
		14:15	21,6	13,3	0,88	295,2	37,6
		14:30	21,3	13	0,83	205,8	35,3

20°		14:45	21,3	13	0,83	190	35
		15:00	21,2	12,9	0,78	163	35,2
		15:15	21,1	12,9	0,75	193,9	34,1
		15:30	21,1	13	0,76	232,3	35,6
		15:45	21	13,4	0,57	205	34
		16:00	20,9	13,3	0,79	170	33
	<i>Rooftop</i>	8:00	21,4	12,6	0,73	343,3	30,5
		8:15	21,5	12,6	0,74	358,6	30,9
		8:30	21,7	12,6	0,74	353	31,9
		8:45	21,6	12,6	0,74	420,5	32,7
		9:00	21,7	12,7	0,75	537,2	34
		9:15	21,6	12,7	0,75	689,2	36,5
		9:30	21,6	12,7	0,76	776,9	38,6
		9:45	21,4	12,7	0,75	812,5	38,7
		10:00	21,3	12,6	0,75	910,8	39
		10:15	21,5	12,7	0,76	1057,5	37,4
		10:30	21,5	12,7	0,75	1025	37,4
		10:45	21	12,7	0,76	1179,2	36,6
		11:00	21,1	12,7	0,76	965	37,2
		11:15	20,6	12,7	0,77	354,9	37,3
		11:30	20,7	12,6	0,75	197	36,4
		11:45	20,9	12,6	0,75	195,5	35,1
		12:00	21,8	12,7	0,77	544,4	35,3
		12:15	20,7	12,6	0,75	203,8	34,8
		12:30	21,1	12,6	0,75	270,6	35,5
		12:45	21,3	12,7	0,76	359,7	34,5
		13:00	21,4	12,7	0,74	682,7	38
		13:15	21	12,7	0,76	461,1	38,3
		13:30	21,1	12,7	0,77	395,9	36,6
		13:45	21,5	12,7	0,75	565,7	38
		14:00	21,4	12,7	0,74	505,3	37,4
		14:15	21,5	12,6	0,73	530,3	40,1
		14:30	21,4	12,6	0,74	472,4	37,1
		14:45	21,2	12,6	0,74	349,5	35,7
		15:00	20,7	12,5	0,72	106,3	35,5
		15:15	20,6	12,5	0,71	116,1	34,9
		15:30	21,4	12,5	0,72	187	35,7
		15:45	20,5	12,5	0,72	62,1	37,6
		16:00	19,9	12,5	0,72	323,2	33,9
	<i>Ground-mounted</i>	8:00	21,3	12,7	0,73	315	36,8
		8:15	21,4	12,8	0,74	328,8	37,6
		8:30	21,4	12,5	0,68	348,7	38,7
		8:45	21,4	12,4	0,68	408,9	36,4

		9:00	21,4	12,4	0,68	544,5	34,1
		9:15	21,5	12,4	0,71	622,1	34,6
		9:30	21,3	12,4	0,69	667,8	35,2
		9:45	21,3	13	0,79	683,3	38
		10:00	21,4	13,1	0,82	910,8	39
		10:15	21,3	13,3	0,84	893,3	38,3
		10:30	21,3	13,2	0,85	907,5	35
		10:45	21,2	12,2	0,86	932,5	41,6
		11:00	21,3	12,8	0,85	849,2	39,2
		11:15	20,5	12,7	0,81	375,5	35,3
		11:30	20,2	12,2	0,75	142,8	34,9
		11:45	20,7	12,7	0,75	185,9	34,9
		12:00	20,9	12,9	0,77	370,7	35,1
		12:15	20,9	12,6	0,73	205,3	35,3
		12:30	20,8	12,7	0,75	219,4	35,3
		12:45	21,1	12,7	0,77	261,3	35,4
		13:00	21,4	13,3	0,85	708,8	35,1
		13:15	21	13	0,8	387,5	38,3
		13:30	21	13	0,79	372,8	39,6
		13:45	21,5	13,2	0,82	471,8	31
		14:00	21,4	13,2	0,82	411,9	38
		14:15	21,4	13,2	0,8	426,4	39,8
		14:30	21,3	13,2	0,81	362,2	33,1
		14:45	21,4	13	0,77	304	31,5
		15:00	20,3	12,2	0,72	95,3	31,7
		15:15	20,2	12,7	0,72	92,6	34
		15:30	21,1	12,8	0,73	220,1	28,9
		15:45	20	12,6	0,69	40,2	34,1
		16:00	19,8	12,6	0,69	234,4	33,9
30°	Rooftop	8:00	21,8	12,1	0,68	451	30,2
		8:15	21,7	12,1	0,68	474,8	30,8
		8:30	21,7	12,1	0,66	476,3	37,3
		8:45	21,5	12,1	0,67	748,8	37,4
		9:00	21,5	12,1	0,66	714,1	36,5
		9:15	21,2	12,1	0,54	590,4	35,6
		9:30	21,1	12	0,64	278	34,8
		9:45	21	12	0,66	234,6	33,7
		10:00	21,1	12	0,66	236	33
		10:15	21,6	12	0,66	625,5	33,9
		10:30	20,8	11,9	0,65	289,6	34,4
		10:45	21	11,9	0,65	664,3	33,6
		11:00	21,8	12	0,66	105,3	34
		11:15	21,3	12	0,66	376,1	35,4

		11:30	21,2	12	0,66	348,9	35,1
		11:45	21,4	12	0,66	749,6	35,4
		12:00	21,2	12	0,65	929,2	37
		12:15	21,7	12	0,67	878,3	36,6
		12:30	21,3	12	0,67	462,2	36,2
		12:45	21,2	11,9	0,65	362,2	37,2
		14:00	21,2	12	0,64	345,6	38,5
		13:15	21,7	12	0,67	831,5	31,9
		13:30	21,3	12	0,67	901,7	36,6
		13:45	21,4	11,9	0,64	717,3	48,3
		14:00	21,5	11,9	0,65	725,2	39,1
		14:15	21,4	11,9	0,65	642,5	36,5
		14:30	21,4	11,9	0,66	612,9	36,8
		14:45	21,3	11,8	0,64	347,1	36,3
		15:00	20,9	11,8	0,63	185,4	35,3
		15:15	20,1	11,8	0,63	662,4	34,1
		15:30	20,7	11,7	0,61	119,7	34,8
		15:45	20,5	11,8	0,61	87,8	33
		16:00	20,2	11,7	0,61	657,1	33,1
	<i>Ground-mounted</i>	8:00	21,5	12,4	0,69	482	30,8
		8:15	21,4	12,4	0,69	499,6	31,5
		8:30	21,3	12,4	0,67	512,5	37,7
		8:45	21,2	12,4	0,68	630,6	31,1
		9:00	21,3	12,4	0,69	662	31,1
		9:15	21,2	12,3	0,66	420,1	30,8
		9:30	20,7	12,4	0,69	272	32,9
		9:45	20,4	12,4	0,67	234,9	33,4
		10:00	20,7	12,3	0,66	201,8	31,4
		10:15	21,1	12,4	0,66	276,7	32,9
		10:30	20,7	12,4	0,65	270,2	35,1
		10:45	20,7	12,4	0,66	455,6	35,1
		11:00	21,8	12,4	0,64	571,8	43,6
		11:15	21,6	12,2	0,64	416,5	32,4
		11:30	20,7	12,4	0,65	283,8	37
		11:45	21,6	12,4	0,65	698,1	30,7
		12:00	20,6	12,4	0,66	861,7	31,2
		12:15	21,6	12,3	0,63	850,8	36,1
		12:30	20,9	12,2	0,65	526,4	35,1
		12:45	21,1	12,4	0,65	365,3	39
		13:00	20,7	12,3	0,61	331	39,1
		13:15	21,4	12,3	0,64	864,2	38
		13:30	21,3	12,2	0,64	850,8	36,1
		13:45	21,5	12,4	0,65	746,2	38,8

		14:00	21	12,4	0,63	591,2	38,4
		14:15	21,4	12,4	0,62	671,6	37,7
		14:30	21,3	12,4	0,63	630,3	32,3
		14:45	21,1	12,3	0,63	291,5	33,9
		15:00	20,6	12,3	0,61	181	30,7
		15:15	19,9	12,2	0,59	90,4	30
		15:30	20,4	12,1	0,58	122,3	30,4
		15:45	20,1	12,2	0,6	106,4	30,8
		16:00	19,8	12,1	0,56	78,5	31,9

D. Pengujian Pengaruh *Partial Shading* 50% dan Variasi Sudut Kemiringan

Tabel berikut menunjukkan hasil pengukuran pengaruh *partial shading* 50% dan variasi sudut kemiringan panel surya untuk mengetahui pengaruh bayangan dan pada setiap variasi sudut kemiringan panel terhadap performa sistem PLTS.

Tabel 4. 10 Pengukuran Pengaruh *Partial Shading* 50% dan Variasi Sudut Kemiringan.

Lokasi	Sudut	Kondisi Shading	Waktu	V _{panel} (V)	V _{out} (V)	I _{out} (A)	Intensitas Radiasi Matahari (W/m ²)	Suhu (°C)
Rooftop	10°	50%	8:00	20,8	12,8	0,74	485	32
			8:15	20,9	12,8	0,75	554,2	33
			8:30	21	12,8	0,75	590	34,5
			8:45	21	12,8	0,76	603,3	35,8
			9:00	21,1	12,7	0,76	623,7	37,3
			9:15	21	12,6	0,75	536,7	37,5
			9:30	21,2	12,7	0,69	859,2	34
			9:45	21,1	12,7	0,78	638,9	41,2
			10:00	21	12,7	0,73	319,1	34
			10:15	21	12,7	0,74	371,7	33,8
			10:30	20,9	12,6	0,75	411,4	32,9
			10:45	20,9	12,5	0,75	480,1	33,1
			11:00	20,8	12,5	0,74	615,5	33,7
			11:15	20,8	12,4	0,71	395,8	34
			11:30	20,8	12,4	0,72	334,9	34
			11:45	20,8	12,4	0,71	633,3	35
			12:00	20,8	12,4	0,7	597,8	39,2

Ground-mounted	10°	50%	12:15	20,8	12,4	0,69	290,2	35,6
			12:30	20,8	12,4	0,71	451,8	34,6
			12:45	20,9	12,4	0,7	924,2	34,5
			13:00	21	12,4	0,7	952,5	34
			13:15	20,9	12,4	0,7	740	35,3
			13:30	21	12,6	0,72	5369,8	36,5
			13:45	21	12,6	0,71	582,5	35,5
			14:00	21	12,6	0,72	679,6	34
			14:15	20,9	12,6	0,71	390,3	35,7
			14:30	20,9	12,6	0,6	226,8	37,3
			14:45	20,8	12,6	0,66	376,6	36
			15:00	20,8	12,6	0,65	240,5	35,3
			15:15	20,8	12,7	0,59	230,4	35,5
			15:30	20,7	12,7	0,61	347,1	34
			15:45	20,6	12,6	0,59	281,7	33,5
			16:00	20,5	12,5	0,57	22	32,8
			8:00	21	13	0,77	148,3	30,8
			8:15	21,1	13	0,77	153,3	31,4
			8:30	21,1	13	0,78	160	31,9
			8:45	21,1	13	0,78	165,1	32,2
			9:00	21,1	13	0,78	162,5	32,5
			9:15	21	13	0,78	165,1	32,5
			9:30	21,3	13,3	0,77	155,3	38
			9:45	21	12,9	0,74	206,1	34,8
			10:00	21,3	13,3	0,72	216,6	34,1
			10:15	21	12,9	0,76	236,8	32,7
			10:30	21	13	0,73	231,5	36,7
			10:45	21,2	13,2	0,78	328,3	37,3
			11:00	21,3	13,3	0,83	790,5	38,7
			11:15	21,1	13	0,81	424,1	36,2
			11:30	21	12,9	0,79	220,2	34,4
			11:45	21	12,9	0,8	554	37
			12:00	20,9	12,8	0,79	254,8	35,6
			12:15	20,9	12,8	0,78	185	34,5
			12:30	20,9	12,8	0,78	322,3	36,7
			12:45	20,9	12,8	0,77	278,3	34,3
			13:00	21	12,9	0,78	706,1	34,6
			13:15	20,9	12,8	0,76	545	36,1
			13:30	20,9	12,8	0,78	525,9	38,6

			13:45	20,9	12,8	0,78	632,9	37,5
			14:00	20,9	12,8	0,78	667,7	38,2
			14:15	20,9	12,8	0,77	295,2	37,6
			14:30	20,8	12,7	0,76	205,8	35,3
			14:45	20,8	12,7	0,75	190	34,8
			15:00	20,7	12,6	0,74	163	35,2
			15:15	20,7	12,6	0,75	193,9	34,1
			15:30	20,6	12,6	0,73	232,3	35,6
			15:45	20,5	12,5	0,71	205	34,7
			16:00	20,4	12,4	0,69	170	33,8
<i>Rooftop</i>	20°	50%	8:00	20,7	12,5	0,7	340	30,4
			8:15	20,8	12,6	0,71	358,6	30,9
			8:30	20,9	12,5	0,72	353	31,9
			8:45	21	12,6	0,74	420,5	32,7
			9:00	21,1	12,5	0,72	537,2	34
			9:15	21	12,5	0,71	689,2	36,5
			9:30	21,1	12,5	0,72	776,8	38,6
			9:45	21	12,5	0,72	812,5	38,7
			10:00	20,9	12,5	0,71	910,8	39
			10:15	21,1	12,5	0,71	1057,5	37,4
			10:30	21	12,5	0,72	1025	37,4
			10:45	20,5	12,4	0,73	1179,2	36,6
			11:00	20,8	12,4	0,72	965	37,2
			11:15	20,4	12,4	0,72	354,9	37,3
			11:30	20,3	12,4	0,7	197	36,4
			11:45	20,3	12,4	0,68	195,5	35,1
			12:00	21,1	12,4	0,7	544,4	35,3
			12:15	20,3	12,4	0,7	287,1	34,8
			12:30	20,6	12,4	0,68	270,6	35,5
			12:45	20,9	12,4	0,68	359,7	34,5
			13:00	20,9	12,3	0,7	682,7	38
			13:15	20,1	12,3	0,7	461,1	38,3
			13:30	20,7	12,3	0,7	395,9	36,6
			13:45	21	12,3	0,69	565,7	38
			14:00	21	12,3	0,69	505,3	37,4
			14:15	20,9	12,3	0,67	530,3	40,1
			14:30	21	12,2	0,67	472,4	37,1
			14:45	20,7	12,2	0,67	349,5	35,7
			15:00	20,1	12,2	0,67	106,3	35,5

			15:15	19,9	12,2	0,65	116,1	34,9
			15:30	20,8	12,2	0,66	187	35,7
			15:45	19,6	12,2	0,66	621,2	37,6
			16:00	19,2	12,1	0,66	323,2	33,9
Ground-mounted	20°	50%	8:00	20,7	11,8	0,67	315,2	36,9
			8:15	20,8	11,8	0,68	328,5	37,6
			8:30	20,9	12,3	0,68	348,7	38,7
			8:45	20,9	12,2	0,65	408,9	36,4
			9:00	20,9	12,2	0,66	544,5	34,1
			9:15	21	12,3	0,67	622,1	34,6
			9:30	21	12,2	0,66	667,8	35,2
			9:45	20,9	12,2	0,67	683,3	38
			10:00	20,9	12,2	0,67	910,8	39
			10:15	20,8	12,2	0,68	893,3	38,3
			10:30	20,8	12,2	0,68	907,5	35
			10:45	20,7	12,2	0,67	932,5	41,6
			11:00	20,9	12,2	0,67	849,2	39,2
			11:15	20,5	12,2	0,67	375,5	35,3
			11:30	20,1	12,1	0,64	142,8	34,9
			11:45	20,4	12,1	0,66	185,9	34,9
			12:00	20,6	12,1	0,65	370,7	35,1
			12:15	20,5	12,1	0,65	205,3	35,3
			12:30	20,6	12,1	0,62	219,7	35,3
			12:45	20,8	12	0,61	261,3	35,4
			13:00	21	12	0,65	708,8	35,1
			13:15	20,6	12	0,65	387,5	38,3
			13:30	20,7	12	0,64	372,8	39,6
			13:45	21,1	12	0,62	471,8	31
			14:00	21	12	0,63	411,9	38
			14:15	21	12	0,63	426,4	39,8
			14:30	20,9	12	0,62	362,2	33,1
			14:45	21	11,9	0,62	304	31,5
			15:00	20,2	11,9	0,59	95,3	31,7
			15:15	20	11,9	0,6	92,6	34
			15:30	20,8	11,9	0,61	205,1	28,9
			15:45	19,8	11,9	0,57	40,2	34,1
			16:00	20	11,9	0,57	234,4	33,9
Rooftop	30°	50%	8:00	21	11,9	0,64	456,7	30,4
			8:15	21,1	11,9	0,65	474,8	30,8

			8:30	21	11,9	0,63	476,3	37,3
			8:45	20,9	11,9	0,65	748,8	37,4
			9:00	21	12	0,64	714	36,5
			9:15	20,7	12	0,64	590,4	35,6
			9:30	20,7	11,9	0,64	278	34,8
			9:45	20,3	11,9	0,63	234,6	33,7
			10:00	20,5	11,9	0,64	236	33
			10:15	20,7	11,9	0,64	625,5	33,9
			10:30	20,5	11,8	0,62	289,6	34,4
			10:45	20,7	11,7	0,61	664,3	33,6
			11:00	21,1	12	0,66	1053,3	34
			11:15	20,9	12	0,66	376,1	35,4
			11:30	20,7	11,9	0,65	348,9	35,1
			11:45	20,9	11,8	0,64	749,6	35,4
			12:00	20,8	11,8	0,65	925,8	37
			12:15	21,2	11,8	0,62	878,3	36,6
			12:30	20,9	11,8	0,63	462,2	36,2
			12:45	20,8	11,8	0,61	362,2	37,2
			13:00	20,7	11,8	0,61	345,6	38,5
			13:15	21,3	11,7	0,61	831,5	31,9
			13:30	21	11,7	0,62	901,7	36,6
			13:45	21	11,7	0,61	717,3	48,3
			14:00	20,9	11,7	0,61	725,2	39,1
			14:15	20,7	11,6	0,61	642,5	36,5
			14:30	21	11,6	0,6	612,9	36,8
			14:45	20,6	11,6	0,6	347,1	36,3
			15:00	20,3	11,6	0,58	185,4	35,3
			15:15	19,5	11,5	0,57	662,4	34,1
			15:30	20	11,5	0,57	119,7	34,8
			15:45	19,8	11,5	0,57	87,8	33
			16:00	19,6	11,5	0,57	657,1	33,1
Ground-mounted	30°	50%	8:00	21	12,4	0,64	481,7	30,9
			8:15	21	12,4	0,65	499,6	31,5
			8:30	21	12,4	0,65	512,5	37,7
			8:45	20,9	12,4	0,67	630,6	31,1
			9:00	21	12,3	0,66	662	31,1
			9:15	20,9	12	0,64	420,1	30,8
			9:30	20,6	12,3	0,64	272	32,9
			9:45	20,3	12,3	0,64	234,9	33,4

			10:00	20,5	11,5	0,52	201,8	31,4
			10:15	20,7	12,3	0,51	276,7	32,9
			10:30	20,6	12,3	0,51	270,2	35,1
			10:45	20,7	12,3	0,64	455,6	35,1
			11:00	21,2	12,3	0,64	571,8	43,6
			11:15	20,9	12,1	0,6	416,5	32,4
			11:30	20,6	12,2	0,63	283,8	37
			11:45	21,3	12,2	0,62	698,1	30,7
			12:00	20,3	12,2	0,63	861,7	31,2
			12:15	21,2	12,2	0,63	850,8	36,1
			12:30	20,8	12,2	0,63	526,4	35,1
			12:45	20,9	12,2	0,65	365,3	39
			13:00	20,6	12,2	0,63	331	39,1
			13:15	21,3	12,1	0,62	864,2	38
			13:30	20,9	12,1	0,6	850,8	36,1
			13:45	21,3	12,1	0,62	746,2	38,8
			14:00	20,7	12,1	0,62	591,2	38,4
			14:15	21,1	12,1	0,6	671,6	37,7
			14:30	21,1	12	0,61	630,3	32,3
			14:45	20,9	12	0,6	291,5	33,9
			15:00	20,3	12	0,61	181	30,7
			15:15	19,8	12	0,6	904,2	30
			15:30	20,2	12	0,59	122,3	30,4
			15:45	20	12	0,58	106,4	30,8
			16:00	19,8	12	0,56	78,5	31,9

4.3 Pengolahan Data

4.3.1 Perhitungan Daya Panel Surya

Daya keluaran panel (Pout) dihitung dari hasil perkalian tegangan (V) dan arus (A) yang terukur pada setiap interval pengukuran menggunakan persamaan (2.1). Data mentah berupa nilai V dan A kemudian diolah untuk mendapatkan nilai Pout pada setiap waktu pengukuran.

Sebagai contoh perhitungan daya keluaran yang dilakukan pada tabel data dan persamaan diatas akan menggunakan data pada pukul 10.00 WIB di *Rooftop*.

- a. Perhitungan daya keluaran panel pada tabel variasi sudut kemiringan 10°

$$P_{out} = V_{out} \times I_{out}$$

$$P_{out} = 13,4 \text{ V} \times 0,81 \text{ A}$$

$$P_{out} = 10,854 \text{ W}$$

- b. Perhitungan daya keluaran panel pada tabel dengan *Shading partial* 50% dan variasi sudut kemiringan 10°

$$P_{out} = V_{out} \times I_{out}$$

$$P_{out} = 12,7 \text{ V} \times 0,73 \text{ A}$$

$$P_{out} = 9,271 \text{ W}$$

4.3.2 Perhitungan Efisiensi Panel Surya

Efisiensi sistem (η) dihitung menggunakan persamaan (2.3) berdasarkan nilai P_{out} , intensitas radiasi (G) yang terukur, dan luas panel ($A = 0,2385 \text{ m}^2$). Menghitung efisiensi sebuah panel kita juga memerlukan nilai dari P_{in} suatu panel dimana kita dapat menggunakan persamaan (2.2). Efisiensi dihitung untuk setiap interval pengukuran, kemudian dirata-ratakan untuk setiap sesi pengujian. Panel surya yang digunakan pada penelitian kali ini merupakan panel surya jenis *Monocrystalline* 40 WP sehingga luas permukaan sebagai berikut :

$$A = p \times l$$

$$A = 45 \text{ cm} \times 53 \text{ cm}$$

$$A = 0,45 \text{ m} \times 0,53 \text{ m}$$

$$A = 0,2385 \text{ m}^2$$

$$P_{in} = G \times A$$

$$P_{in} = 319.1 \times 0,2385 \text{ m}^2$$

$$P_{in} = 76,10535 \text{ W}$$

Telah kita ketahui bahwa nilai daya masukan pukul 10.00 WIB pada tabel variasi sudut kemiringan 10° sebesar 91,32165 W, sehingga kita dapat mencari nilai efisiensinya dengan persamaan (2.3) sebagai berikut :

- b. Nilai efisiensi panel surya pukul 10.00 WIB pada tabel variasi sudut kemiringan 10° di *Roof top*

$$\eta = \frac{10,854}{76,10535} \times 100\% = 14,26\%$$

- c. Nilai efisiensi panel surya pukul 10.00 WIB pada tabel dengan *Shading partial* 50% dan variasi sudut kemiringan 10° di *Rooftop*

$$\eta = \frac{9,271}{76,10535} \times 100\% = 12,8\%$$

4.3.3 Perhitungan Energi Harian

Energi harian (E) dihitung dengan mengakumulasi nilai Pout selama periode pengujian (08.00 - 16.00 WIB, selama 8 jam) dan pengukuran dilakukan setiap 15 menit, maka energi pada setiap interval dapat dihitung menggunakan persamaan (2.6).

Berdasarkan data pengukuran pada *Rooftop* dengan sudut kemiringan 10° pukul 10.00 WIB, diperoleh:

- Daya keluaran (P_{out}) = 9,27 W
- Interval waktu pengukuran = 15 menit = 0,25 jam

Maka energi yang dihasilkan pada interval waktu tersebut adalah:

$$E = P \times t$$

$$E = 9,27 \times 0,25$$

$$E = 2,3175 \text{ Wh}$$

Hasil perhitungan selengkapnya disajikan dalam Tabel 4.11 - 4.14 sebagai berikut:

Tabel 4. 11 Hasil perhitungan Pout Pengujian *Partial Shading* 50% Dengan Sudut 0°.

Lokasi	Sudut	Kondisi	Waktu	V _{panel} (V)	V _{out} (V)	I _{out} (A)	P _{out} (W)
<i>Rooftop</i>	0°	<i>Shading</i>	8:00	20	11,5	0,54	6,21
			8:15	20,1	11,5	0,55	6,33
			8:30	20,2	11,6	0,55	6,38
			8:45	20,9	11,5	0,55	6,33
			9:00	21	11,4	0,54	6,16
			9:15	20,7	11,4	0,52	5,93
			9:30	20,8	11,5	0,55	6,33
			9:45	20,3	11,4	0,53	6,04
			10:00	20,4	11,3	0,53	5,99
			10:15	21,1	11,4	0,55	6,27

			10:30	21,3	11,4	0,54	6,16
			10:45	20,7	11,3	0,52	5,88
			11:00	21,7	11,2	0,51	5,71
			11:15	20,6	11,4	0,47	5,36
			11:30	20,8	11,2	0,48	5,38
			11:45	20,8	11,4	0,51	5,81
			12:00	20,8	11,2	0,5	5,60
			12:15	20,8	11,5	0,5	5,75
			12:30	20,6	11,6	0,54	6,26
			12:45	20,3	11,5	0,54	6,21
			13:00	20	11,4	0,52	5,93
			13:15	20,5	11,1	0,46	5,11
			13:30	20,8	11,5	0,54	6,21
			13:45	21,7	11,1	0,46	5,11
			14:00	20,5	11,4	0,51	5,81
			14:15	20,7	11,3	0,5	5,65
			14:30	20,4	11,6	0,57	6,61
			14:45	20,2	11,4	0,5	5,70
			15:00	20,2	11,4	0,51	5,81
			15:15	20,2	11,3	0,5	5,65
			15:30	20	10,8	0,43	4,64
			15:45	19,9	10,6	0,4	4,24
			16:00	19,7	10,5	0,39	4,10
Ground-mounted	0°	<i>Shading</i>	8:00	20,8	11,8	0,54	6,37
			8:15	20,9	11,8	0,54	6,37
			8:30	21	11,8	0,54	6,37
			8:45	21	11,8	0,54	6,37
			9:00	20,9	11,8	0,53	6,25
			9:15	20,8	11,8	0,53	6,25
			9:30	20,9	11,8	0,52	6,14
			9:45	21	11,8	0,52	6,14
			10:00	21,1	11,8	0,52	6,14
			10:15	21	11,8	0,51	6,02
			10:30	20,9	11,8	0,51	6,02
			10:45	20,8	11,7	0,51	5,97
			11:00	20,8	11,7	0,5	5,85
			11:15	20,8	11,7	0,5	5,85
			11:30	20,9	11,7	0,53	6,20
			11:45	20,8	11,7	0,56	6,55

			12:00	20,7	11,7	0,55	6,44
			12:15	20,6	11,7	0,55	6,44
			12:30	20,5	11,7	0,54	6,32
			12:45	20,4	11,7	0,55	6,44
			13:00	20,3	11,6	0,54	6,26
			13:15	20,4	11,6	0,53	6,15
			13:30	20,5	11,6	0,53	6,15
			13:45	20,7	11,6	0,52	6,03
			14:00	20,7	11,6	0,51	5,92
			14:15	20,6	11,6	0,5	5,80
			14:30	20,5	11,5	0,5	5,75
			14:45	20,4	11,5	0,49	5,64
			15:00	20,3	11,5	0,49	5,64
			15:15	20,2	11,5	0,48	5,52
			15:30	19,9	11,4	0,47	5,36
			15:45	19,8	11,3	0,46	5,20
			16:00	19,6	11,2	0,44	4,93

Tabel 4. 12 Hasil perhitungan Pout Pengujian Tanpa *Partial Shading* Dengan Sudut 0°.

Lokasi	Sudut	Kondisi	Waktu	V _{panel} (V)	V _{out} (V)	I _{out} (A)	P _{out} (W)
Rooftop	0°	Tanpa Shading	8:00	20,8	12	0,66	7,92
			8:15	20,9	12,1	0,67	8,11
			8:30	21	12,1	0,67	8,11
			8:45	21,7	12,1	0,66	7,99
			9:00	21,6	12,1	0,67	8,11
			9:15	21,4	12	0,66	7,92
			9:30	21,6	12	0,65	7,80
			9:45	21,4	12	0,65	7,80
			10:00	21,2	12	0,65	7,80
			10:15	21,7	12	0,65	7,80
			10:30	21,9	12	0,65	7,80
			10:45	20,9	12	0,65	7,80
			11:00	21,7	12	0,64	7,68
			11:15	21,5	12	0,64	7,68
			11:30	21,5	11,9	0,63	7,50
			11:45	21,6	11,9	0,63	7,50

<i>Ground-mounted</i>	0°		12:00	21,5	11,9	0,63	7,50
			12:15	21,6	11,9	0,62	7,38
			12:30	21,4	11,9	0,62	7,38
			12:45	21,3	11,9	0,6	7,14
			13:00	20,7	11,9	0,61	7,26
			13:15	21,4	11,8	0,62	7,32
			13:30	21,7	11,8	0,6	7,08
			13:45	21,7	11,8	0,6	7,08
			14:00	21,5	11,7	0,61	7,14
			14:15	21,5	11,8	0,6	7,08
			14:30	21,2	11,8	0,59	6,96
			14:45	21,5	11,8	0,6	7,08
			15:00	21,4	11,7	0,59	6,90
			15:15	21,5	11,7	0,59	6,90
			15:30	21,3	11,8	0,57	6,73
			15:45	21,2	11,7	0,58	6,79
			16:00	21	11,6	0,56	6,50
		Tanpa Shading	8:00	20,9	12	0,63	7,56
			8:15	21	12	0,63	7,56
			8:30	21,1	12	0,62	7,44
			8:45	21,4	12,1	0,62	7,50
			9:00	21,3	12,1	0,62	7,50
			9:15	21,2	12,1	0,61	7,38
			9:30	21,3	12,1	0,61	7,38
			9:45	21,2	12,1	0,6	7,26
			10:00	21,3	12,1	0,6	7,26
			10:15	21,3	12,1	0,6	7,26
			10:30	21,2	12,1	0,6	7,26
			10:45	21,2	12,1	0,6	7,26
			11:00	21,3	12,1	0,6	7,26
			11:15	21,3	12	0,59	7,08
			11:30	21,3	12	0,59	7,08
			11:45	21,2	12	0,59	7,08
			12:00	21,3	12	0,59	7,08
			12:15	21,3	12	0,59	7,08
			12:30	21,2	12	0,59	7,08
			12:45	21,1	12	0,58	6,96
			13:00	21	12	0,58	6,96
			13:15	21,1	12	0,58	6,96

			13:30	21,2	12	0,58	6,96
			13:45	21,3	12	0,58	6,96
			14:00	21,3	11,9	0,58	6,90
			14:15	21,2	11,9	0,57	6,78
			14:30	21,1	11,9	0,57	6,78
			14:45	21,1	11,9	0,57	6,78
			15:00	21	11,9	0,56	6,66
			15:15	20,9	11,9	0,56	6,66
			15:30	20,8	11,8	0,55	6,49
			15:45	20,7	11,8	0,54	6,37
			16:00	20,5	11,7	0,52	6,08

Tabel 4. 13 Hasil perhitungan Pin, Pout, dan Efisiensi dengan Variasi Sudut Kemiringan.

Variasi Sudut	Lokasi Pemasangan	Waktu	V _{panel} (V)	V _{out} (V)	I _{out} (A)	P _{out} (W)	Pin (W)	η (%)
10°	Rooftop	8:00	21	13,2	0,54	7,13	115,7	6,20
		8:15	21,1	13,3	0,55	7,32	132,2	5,50
		8:30	21,2	13,3	0,56	7,45	140,7	5,30
		8:45	21,3	13,4	0,57	7,64	143,9	5,30
		9:00	21,4	13,4	0,57	7,64	148,8	5,10
		9:15	21,5	13,3	0,79	10,51	128,0	8,20
		9:30	21,6	13,3	0,81	10,77	204,9	5,30
		9:45	21,5	13	0,78	10,14	152,4	6,70
		10:00	21,7	13,4	0,81	10,85	76,1	14,30
		10:15	21,5	13	0,77	10,01	88,7	11,30
		10:30	21,5	13	0,78	10,14	98,1	10,30
		10:45	21,4	13,1	0,78	10,22	114,5	8,90
		11:00	21,6	13,2	0,81	10,69	146,8	7,30
		11:15	21,3	13	0,72	9,36	94,4	9,90
		11:30	21,4	13,1	0,78	10,22	79,9	12,80
		11:45	21,4	13	0,76	9,88	151,0	6,50
		12:00	21,4	13	0,76	9,88	141,8	7,00
		12:15	21,2	12,9	0,7	9,03	76,4	11,80
		12:30	21,3	12,9	0,76	9,80	107,8	9,10
		12:45	21,7	13	0,76	9,88	220,4	4,50
		13:00	21,8	13	0,76	9,88	227,2	4,30
		13:15	21,6	12,9	0,76	9,80	176,5	5,60
		13:30	21,4	12,8	0,78	9,98	127,9	7,80
		13:45	21,3	12,8	0,65	8,32	138,9	6,00

20°		14:00	21,4	12,8	0,77	9,86	162,1	6,10
		14:15	21,2	12,7	0,76	9,65	92,2	10,50
		14:30	21	12,7	0,62	7,87	54,1	14,60
		14:45	21,1	12,8	0,63	8,06	89,8	9,00
		15:00	21	12,7	0,73	9,27	57,4	16,20
		15:15	21	12,8	0,63	8,06	55,0	14,70
		15:30	20,9	12,8	0,69	8,83	82,8	10,70
		15:45	20,8	12,7	0,61	7,75	67,2	11,50
		16:00	20,7	12,6	0,59	7,43	52,5	14,20
	<i>Ground-mounted</i>	8:00	21,2	13,8	0,88	12,14	35,4	34,30
		8:15	21,3	13,8	0,89	12,28	36,6	33,60
		8:30	21,4	13,9	0,9	12,51	37,6	33,30
		8:45	21,4	13,9	0,91	12,65	38,2	33,10
		9:00	21,5	14	0,92	12,88	38,8	33,20
		9:15	21,5	14	0,93	13,02	393,7	3,30
		9:30	21,7	13,2	0,88	11,62	370,3	3,10
		9:45	21,5	13,5	0,83	11,21	49,2	22,80
		10:00	21,7	13,2	0,85	11,22	51,7	21,70
		10:15	21,6	13,6	0,84	11,42	56,5	20,20
		10:30	21,6	13,4	0,86	11,52	55,2	20,90
		10:45	21,7	13,3	0,88	11,70	78,3	14,90
		11:00	21,9	13,9	0,96	13,34	188,6	7,10
		11:15	21,6	13,4	0,87	11,66	101,2	11,50
		11:30	21,4	13,1	0,85	11,14	52,5	21,20
		11:45	21,7	13,6	0,92	12,51	132,1	9,50
		12:00	21,5	13,2	0,87	11,48	60,8	18,90
		12:15	21,4	13,1	0,84	11,00	44,1	24,90
		12:30	21,5	13,2	0,86	11,35	76,9	14,80
		12:45	21,5	13,2	0,85	11,22	66,4	16,90
		13:00	21,9	13,9	0,99	13,76	168,4	8,20
		13:15	21,6	13,3	0,87	11,57	130,0	8,90
		13:30	21,6	13,4	0,9	12,06	125,4	9,60
		13:45	21,7	13,5	0,93	12,56	151,0	8,30
		14:00	21,8	13,7	0,95	13,02	159,3	8,20
		14:15	21,6	13,3	0,88	11,70	70,4	16,60
		14:30	21,3	13	0,83	10,79	49,1	22,00
		14:45	21,3	13	0,83	10,79	45,3	23,80
		15:00	21,2	12,9	0,78	10,06	38,9	25,90
		15:15	21,1	12,9	0,75	9,68	46,3	20,90
		15:30	21,1	13	0,76	9,88	55,4	17,80
		15:45	21	13,4	0,57	7,64	48,9	15,60
		16:00	20,9	13,3	0,79	10,51	40,6	25,90
	<i>Rooftop</i>	8:00	21,4	12,6	0,73	9,20	81,9	11,20

		8:15	21,5	12,6	0,74	9,32	85,5	10,90
		8:30	21,7	12,6	0,74	9,32	84,2	11,10
		8:45	21,6	12,6	0,74	9,32	100,3	9,30
		9:00	21,7	12,7	0,75	9,53	128,1	7,40
		9:15	21,6	12,7	0,75	9,53	164,4	5,80
		9:30	21,6	12,7	0,76	9,65	185,3	5,20
		9:45	21,4	12,7	0,75	9,53	193,8	4,90
		10:00	21,3	12,6	0,75	9,45	217,2	4,40
		10:15	21,5	12,7	0,76	9,65	252,2	3,80
		10:30	21,5	12,7	0,75	9,53	244,5	3,90
		10:45	21	12,7	0,76	9,65	281,2	3,40
		11:00	21,1	12,7	0,76	9,65	230,2	4,20
		11:15	20,6	12,7	0,77	9,78	84,6	11,60
		11:30	20,7	12,6	0,75	9,45	47,0	20,10
		11:45	20,9	12,6	0,75	9,45	46,6	20,30
		12:00	21,8	12,7	0,77	9,78	129,8	7,50
		12:15	20,7	12,6	0,75	9,45	48,6	19,40
		12:03	21,1	12,6	0,75	9,45	64,5	14,60
		12:45	21,3	12,7	0,76	9,65	85,8	11,30
		13:00	21,4	12,7	0,74	9,40	162,8	5,80
		13:15	21	12,7	0,76	9,65	110,0	8,80
		13:30	21,1	12,7	0,77	9,78	94,4	10,40
		13:45	21,5	12,7	0,75	9,53	134,9	7,10
		14:00	21,4	12,7	0,74	9,40	120,5	7,80
		14:15	21,5	12,6	0,73	9,20	126,5	7,30
		14:30	21,4	12,6	0,74	9,32	112,7	8,30
		14:45	21,2	12,6	0,74	9,32	83,4	11,20
		15:00	20,7	12,5	0,72	9,00	25,4	35,50
		15:15	20,6	12,5	0,71	8,88	27,7	32,10
		15:30	21,4	12,5	0,72	9,00	44,6	20,20
		15:45	20,5	12,5	0,72	9,00	14,8	60,80
		16:00	19,9	12,5	0,72	9,00	77,1	11,70
	<i>Ground-mounted</i>	8:00	21,3	12,7	0,73	9,27	75,1	12,30
		8:15	21,4	12,8	0,74	9,47	78,4	12,10
		8:30	21,4	12,5	0,68	8,50	83,2	10,20
		8:45	21,4	12,4	0,68	8,43	97,5	8,60
		9:00	21,4	12,4	0,68	8,43	129,9	6,50
		9:15	21,5	12,4	0,71	8,80	148,4	5,90
		9:30	21,3	12,4	0,69	8,56	159,3	5,40
		9:45	21,3	13	0,79	10,27	163,0	6,30
		10:00	21,4	13,1	0,82	10,74	217,2	4,90
		10:15	21,3	13,3	0,84	11,17	213,1	5,20
		10:30	21,3	13,2	0,85	11,22	216,4	5,20

		10:45	21,2	12,2	0,86	10,49	222,4	4,70
		11:00	21,3	12,8	0,85	10,88	202,5	5,40
		11:15	20,5	12,7	0,81	10,29	89,6	11,50
		11:30	20,2	12,2	0,75	9,15	34,1	26,90
		11:45	20,7	12,7	0,75	9,53	44,3	21,50
		12:00	20,9	12,9	0,77	9,93	88,4	11,20
		12:15	20,9	12,6	0,73	9,20	49,0	18,80
		12:30	20,8	12,7	0,75	9,53	52,3	18,20
		12:45	21,1	12,7	0,77	9,78	62,3	15,70
		13:00	21,4	13,3	0,85	11,31	169,1	6,70
		13:15	21	13	0,8	10,40	92,4	11,30
		13:30	21	13	0,79	10,27	88,9	11,60
		13:45	21,5	13,2	0,82	10,82	112,5	9,60
		14:00	21,4	13,2	0,82	10,82	98,2	11,00
		14:15	21,4	13,2	0,8	10,56	101,7	10,40
		14:30	21,3	13,2	0,81	10,69	86,4	12,40
		14:45	21,4	13	0,77	10,01	72,5	13,80
		15:00	20,3	12,2	0,72	8,78	22,7	38,60
		15:15	20,2	12,7	0,72	9,14	22,1	41,40
		15:30	21,1	12,8	0,73	9,34	52,5	17,80
		15:45	20	12,6	0,69	8,69	9,6	90,70
		16:00	19,8	12,6	0,69	8,69	55,9	15,60
30°	Rooftop	8:00	21,8	12,1	0,68	8,23	107,6	7,60
		8:15	21,7	12,1	0,68	8,23	113,2	7,30
		8:30	21,7	12,1	0,66	7,99	113,6	7,00
		8:45	21,5	12,1	0,67	8,11	178,6	4,50
		9:00	21,5	12,1	0,66	7,99	170,3	4,70
		9:15	21,2	12,1	0,54	6,53	140,8	4,60
		9:30	21,1	12	0,64	7,68	66,3	11,60
		9:45	21	12	0,66	7,92	56,0	14,20
		10:00	21,1	12	0,66	7,92	56,3	14,10
		10:15	21,6	12	0,66	7,92	149,2	5,30
		10:30	20,8	11,9	0,65	7,74	69,1	11,20
		10:45	21	11,9	0,65	7,74	158,4	4,90
		11:00	21,8	12	0,66	7,92	25,1	31,50
		11:15	21,3	12	0,66	7,92	89,7	8,80
		11:30	21,2	12	0,66	7,92	83,2	9,50
		11:45	21,4	12	0,66	7,92	178,8	4,40
		12:00	21,2	12	0,65	7,80	221,6	3,50
		12:15	21,7	12	0,67	8,04	209,5	3,80
		12:30	21,3	12	0,67	8,04	110,2	7,30
		12:45	21,2	11,9	0,65	7,74	86,4	9,00
		14:00	21,2	12	0,64	7,68	82,4	9,30

		13:15	21,7	12	0,67	8,04	198,3	4,10
		13:30	21,3	12	0,67	8,04	215,1	3,70
		13:45	21,4	11,9	0,64	7,62	171,1	4,50
		14:00	21,5	11,9	0,65	7,74	173,0	4,50
		14:15	21,4	11,9	0,65	7,74	153,2	5,00
		14:30	21,4	11,9	0,66	7,85	146,2	5,40
		14:45	21,3	11,8	0,64	7,55	82,8	9,10
		15:00	20,9	11,8	0,63	7,43	44,2	16,80
		15:15	20,1	11,8	0,63	7,43	158,0	4,70
		15:30	20,7	11,7	0,61	7,14	28,6	25,00
		15:45	20,5	11,8	0,61	7,20	20,9	34,40
		16:00	20,2	11,7	0,61	7,14	156,7	4,60
	<i>Ground-mounted</i>	8:00	21,5	12,4	0,69	8,56	115,0	7,40
		8:15	21,4	12,4	0,69	8,56	119,2	7,20
		8:30	21,3	12,4	0,67	8,31	122,2	6,80
		8:45	21,2	12,4	0,68	8,43	150,4	5,60
		9:00	21,3	12,4	0,69	8,56	157,9	5,40
		9:15	21,2	12,3	0,66	8,12	100,2	8,10
		9:30	20,7	12,4	0,69	8,56	64,9	13,20
		9:45	20,4	12,4	0,67	8,31	56,0	14,80
		10:00	20,7	12,3	0,66	8,12	48,1	16,90
		10:15	21,1	12,4	0,66	8,18	66,0	12,40
		10:30	20,7	12,4	0,65	8,06	64,4	12,50
		10:45	20,7	12,4	0,66	8,18	108,7	7,50
		11:00	21,8	12,4	0,64	7,94	136,4	5,80
		11:15	21,6	12,2	0,64	7,81	99,3	7,90
		11:30	20,7	12,4	0,65	8,06	67,7	11,90
		11:45	21,6	12,4	0,65	8,06	166,5	4,80
		12:00	20,6	12,4	0,66	8,18	205,5	4,00
		12:15	21,6	12,3	0,63	7,75	202,9	3,80
		12:30	20,9	12,2	0,65	7,93	125,6	6,30
		12:45	21,1	12,4	0,65	8,06	87,1	9,30
		13:00	20,7	12,3	0,61	7,50	78,9	9,50
		13:15	21,4	12,3	0,64	7,87	206,1	3,80
		13:30	21,3	12,2	0,64	7,81	202,9	3,80
		13:45	21,5	12,4	0,65	8,06	178,0	4,50
		14:00	21	12,4	0,63	7,81	141,0	5,50
		14:15	21,4	12,4	0,62	7,69	160,2	4,80
		14:30	21,3	12,4	0,63	7,81	150,3	5,20
		14:45	21,1	12,3	0,63	7,75	69,5	11,10
		15:00	20,6	12,3	0,61	7,50	43,2	17,40
		15:15	19,9	12,2	0,59	7,20	21,6	33,40
		15:30	20,4	12,1	0,58	7,02	29,2	24,10

		15:45	20,1	12,2	0,6	7,32	25,4	28,80
		16:00	19,8	12,1	0,56	6,78	18,7	36,20

Tabel 4. 14 Hasil perhitungan Pin, Pout, dan Efisiensi dengan *Partial Shading* 50% dan Variasi Sudut Kemiringan.

Lokasi	Sudut	Kondisi Shading	Waktu	Voc (V)	Vout (V)	Iout (A)	Pout (W)	Pin (W)	η (%)
Rooftop	10°	50%	8:00	20,8	12,8	0,74	9,47	115,7	8,19
			8:15	20,9	12,8	0,75	9,60	132,2	7,26
			8:30	21	12,8	0,75	9,60	140,7	6,82
			8:45	21	12,8	0,76	9,73	143,9	6,76
			9:00	21,1	12,7	0,76	9,65	148,8	6,49
			9:15	21	12,6	0,75	9,45	128,0	7,38
			9:30	21,2	12,7	0,69	8,76	204,9	4,28
			9:45	21,1	12,7	0,78	9,91	152,4	6,50
			10:00	21	12,7	0,73	9,27	76,1	12,18
			10:15	21	12,7	0,74	9,40	88,7	10,60
			10:30	20,9	12,6	0,75	9,45	98,1	9,63
			10:45	20,9	12,5	0,75	9,38	114,5	8,19
			11:00	20,8	12,5	0,74	9,25	146,8	6,30
			11:15	20,8	12,4	0,71	8,80	94,4	9,33
			11:30	20,8	12,4	0,72	8,93	79,9	11,18
			11:45	20,8	12,4	0,71	8,80	151,0	5,83
			12:00	20,8	12,4	0,7	8,68	142,6	6,09
			12:15	20,8	12,4	0,69	8,56	69,2	12,36
			12:30	20,8	12,4	0,71	8,80	107,8	8,17
			12:45	20,9	12,4	0,7	8,68	220,4	3,94
			13:00	21	12,4	0,7	8,68	227,2	3,82
			13:15	20,9	12,4	0,7	8,68	176,5	4,92
			13:30	21	12,6	0,72	9,07	1280,7	0,71
			13:45	21	12,6	0,71	8,95	138,9	6,44
			14:00	21	12,6	0,72	9,07	162,1	5,60
			14:15	20,9	12,6	0,71	8,95	93,1	9,61
			14:30	20,9	12,6	0,6	7,56	54,1	13,98
			14:45	20,8	12,6	0,66	8,32	89,8	9,26
			15:00	20,8	12,6	0,65	8,19	57,4	14,28
			15:15	20,8	12,7	0,59	7,49	55,0	13,64
			15:30	20,7	12,7	0,61	7,75	82,8	9,36
			15:45	20,6	12,6	0,59	7,43	67,2	11,06

			16:00	20,5	12,5	0,57	7,13	5,3	135,79
Ground-mounted	10°	50%	8:00	21	13	0,77	10,01	35,4	28,30
			8:15	21,1	13	0,77	10,01	36,6	27,38
			8:30	21,1	13	0,78	10,14	38,2	26,57
			8:45	21,1	13	0,78	10,14	39,4	25,75
			9:00	21,1	13	0,78	10,14	38,8	26,16
			9:15	21	13	0,78	10,14	39,4	25,75
			9:30	21,3	13,3	0,77	10,24	37,0	27,65
			9:45	21	12,9	0,74	9,55	49,2	19,42
			10:00	21,3	13,3	0,72	9,58	51,7	18,54
			10:15	21	12,9	0,76	9,80	56,5	17,36
			10:30	21	13	0,73	9,49	55,2	17,19
			10:45	21,2	13,2	0,78	10,30	78,3	13,15
			11:00	21,3	13,3	0,83	11,04	188,5	5,86
			11:15	21,1	13	0,81	10,53	101,2	10,41
			11:30	21	12,9	0,79	10,19	52,5	19,40
			11:45	21	12,9	0,8	10,32	132,1	7,81
			12:00	20,9	12,8	0,79	10,11	60,8	16,64
			12:15	20,9	12,8	0,78	9,98	44,1	22,63
			12:30	20,9	12,8	0,78	9,98	76,9	12,99
			12:45	20,9	12,8	0,77	9,86	66,4	14,85
			13:00	21	12,9	0,78	10,06	168,4	5,97
			13:15	20,9	12,8	0,76	9,73	130,0	7,48
			13:30	20,9	12,8	0,78	9,98	125,4	7,96
			13:45	20,9	12,8	0,78	9,98	151,0	6,61
			14:00	20,9	12,8	0,78	9,98	159,3	6,27
			14:15	20,9	12,8	0,77	9,86	70,4	14,00
			14:30	20,8	12,7	0,76	9,65	49,1	19,66
			14:45	20,8	12,7	0,75	9,53	45,3	21,02
			15:00	20,7	12,6	0,74	9,32	38,9	23,98
			15:15	20,7	12,6	0,75	9,45	46,3	20,43
			15:30	20,6	12,6	0,73	9,20	55,4	16,60
			15:45	20,5	12,5	0,71	8,88	48,9	18,15
			16:00	20,4	12,4	0,69	8,56	40,6	21,10
Rooftop	20°	50%	8:00	20,7	12,5	0,7	8,75	81,1	10,79
			8:15	20,8	12,6	0,71	8,95	85,5	10,46
			8:30	20,9	12,5	0,72	9,90	84,2	10,69
			8:45	21	12,6	0,74	9,32	100,3	9,30
			9:00	21,1	12,5	0,72	9,90	128,1	7,02

			9:15	21	12,5	0,71	8,88	164,4	5,40
			9:30	21,1	12,5	0,72	9,90	185,3	4,86
			9:45	21	12,5	0,72	9,90	193,8	4,64
			10:00	20,9	12,5	0,71	8,88	217,2	4,09
			10:15	21,1	12,5	0,71	8,88	252,2	3,52
			10:30	21	12,5	0,72	9,90	244,5	3,68
			10:45	20,5	12,4	0,73	9,05	281,2	3,22
			11:00	20,8	12,4	0,72	8,93	230,2	3,88
			11:15	20,4	12,4	0,72	8,93	84,6	10,55
			11:30	20,3	12,4	0,7	8,68	47,0	18,47
			11:45	20,3	12,4	0,68	8,43	46,6	18,08
			12:00	21,1	12,4	0,7	8,68	129,8	6,69
			12:15	20,3	12,4	0,7	8,68	68,5	12,68
			12:30	20,6	12,4	0,68	8,43	64,5	13,07
			12:45	20,9	12,4	0,68	8,43	85,8	9,83
			13:00	20,9	12,3	0,7	8,61	162,8	5,29
			13:15	20,1	12,3	0,7	8,61	110,0	7,83
			13:30	20,7	12,3	0,7	8,61	94,4	9,12
			13:45	21	12,3	0,69	8,49	134,9	6,29
			14:00	21	12,3	0,69	8,49	120,5	7,04
			14:15	20,9	12,3	0,67	8,24	126,5	6,52
			14:30	21	12,2	0,67	8,17	112,7	7,25
			14:45	20,7	12,2	0,67	8,17	83,4	9,81
			15:00	20,1	12,2	0,67	8,17	25,4	32,24
			15:15	19,9	12,2	0,65	7,93	27,7	28,64
			15:30	20,8	12,2	0,66	8,05	44,6	18,05
			15:45	19,6	12,2	0,66	8,05	148,2	5,43
			16:00	19,2	12,1	0,66	7,99	77,1	10,36
<i>Ground-mounted</i>	20°	50%	8:00	20,7	11,8	0,67	7,91	75,2	10,52
			8:15	20,8	11,8	0,68	8,02	78,4	10,24
			8:30	20,9	12,3	0,68	8,36	83,2	10,06
			8:45	20,9	12,2	0,65	7,93	97,5	8,13
			9:00	20,9	12,2	0,66	8,05	129,9	6,20
			9:15	21	12,3	0,67	8,24	148,4	5,55
			9:30	21	12,2	0,66	8,05	159,3	5,06
			9:45	20,9	12,2	0,67	8,17	163,0	5,02
			10:00	20,9	12,2	0,67	8,17	217,2	3,76
			10:15	20,8	12,2	0,68	8,30	213,1	3,89
			10:30	20,8	12,2	0,68	8,30	216,4	3,83

			10:45	20,7	12,2	0,67	8,17	222,4	3,68
			11:00	20,9	12,2	0,67	8,17	202,5	4,04
			11:15	20,5	12,2	0,67	8,17	89,6	9,13
			11:30	20,1	12,1	0,64	7,74	34,1	22,74
			11:45	20,4	12,1	0,66	7,99	44,3	18,01
			12:00	20,6	12,1	0,65	7,87	88,4	8,90
			12:15	20,5	12,1	0,65	7,87	49,0	16,06
			12:30	20,6	12,1	0,62	7,50	52,4	14,32
			12:45	20,8	12	0,61	7,32	62,3	11,75
			13:00	21	12	0,65	7,80	169,1	4,61
			13:15	20,6	12	0,65	7,80	92,4	8,44
			13:30	20,7	12	0,64	7,68	88,9	8,64
			13:45	21,1	12	0,62	7,44	112,5	6,61
			14:00	21	12	0,63	7,56	98,2	7,70
			14:15	21	12	0,63	7,56	101,7	7,43
			14:30	20,9	12	0,62	7,44	86,4	8,61
			14:45	21	11,9	0,62	7,38	72,5	10,18
			15:00	20,2	11,9	0,59	7,02	22,7	30,89
			15:15	20	11,9	0,6	7,14	22,1	32,33
			15:30	20,8	11,9	0,61	7,26	48,9	14,84
			15:45	19,8	11,9	0,57	6,78	9,6	70,75
			16:00	20	11,9	0,57	6,78	55,9	12,13
<i>Rooftop</i>	30°	50%	8:00	21	11,9	0,64	7,62	108,9	6,99
			8:15	21,1	11,9	0,65	7,74	113,2	6,83
			8:30	21	11,9	0,63	7,50	113,6	6,60
			8:45	20,9	11,9	0,65	7,74	178,6	4,33
			9:00	21	12	0,64	7,68	170,3	4,51
			9:15	20,7	12	0,64	7,68	140,8	5,45
			9:30	20,7	11,9	0,64	7,62	66,3	11,49
			9:45	20,3	11,9	0,63	7,50	56,0	13,40
			10:00	20,5	11,9	0,64	7,62	56,3	13,53
			10:15	20,7	11,9	0,64	7,62	149,2	5,11
			10:30	20,5	11,8	0,62	7,32	69,1	10,59
			10:45	20,7	11,7	0,61	7,14	158,4	4,50
			11:00	21,1	12	0,66	7,92	251,2	3,15
			11:15	20,9	12	0,66	7,92	89,7	8,83
			11:30	20,7	11,9	0,65	7,74	83,2	9,30
			11:45	20,9	11,8	0,64	7,55	178,8	4,22
			12:00	20,8	11,8	0,65	7,67	220,8	3,47

<i>Ground-mounted</i>	30°	50%	12:15	21,2	11,8	0,62	7,32	209,5	3,49
			12:30	20,9	11,8	0,63	7,43	110,2	6,74
			12:45	20,8	11,8	0,61	7,20	86,4	8,33
			13:00	20,7	11,8	0,61	7,20	82,4	8,73
			13:15	21,3	11,7	0,61	7,14	198,3	3,60
			13:30	21	11,7	0,62	7,25	215,1	3,37
			13:45	21	11,7	0,61	7,14	171,1	4,17
			14:00	20,9	11,7	0,61	7,14	173,0	4,13
			14:15	20,7	11,6	0,61	7,08	153,2	4,62
			14:30	21	11,6	0,6	6,96	146,2	4,76
			14:45	20,6	11,6	0,6	6,96	82,8	8,41
			15:00	20,3	11,6	0,58	6,73	44,2	15,22
			15:15	19,5	11,5	0,57	6,56	158,0	4,15
			15:30	20	11,5	0,57	6,56	28,6	22,96
			15:45	19,8	11,5	0,57	6,56	20,9	31,30
			16:00	19,6	11,5	0,57	6,56	156,7	4,18
			8:00	21	12,4	0,64	7,94	114,9	6,91
			8:15	21	12,4	0,65	8,06	119,2	6,76
			8:30	21	12,4	0,65	8,06	122,2	6,59
			8:45	20,9	12,4	0,67	8,31	150,4	5,52
			9:00	21	12,3	0,66	8,12	157,9	5,14
			9:15	20,9	12	0,64	7,68	100,2	7,67
			9:30	20,6	12,3	0,64	7,87	64,9	12,13
			9:45	20,3	12,3	0,64	7,87	56,0	14,05
			10:00	20,5	11,5	0,52	5,98	48,1	12,42
			10:15	20,7	12,3	0,51	6,27	66,0	9,51
			10:30	20,6	12,3	0,51	6,27	64,4	9,73
			10:45	20,7	12,3	0,64	7,87	108,7	7,24
			11:00	21,2	12,3	0,64	7,87	136,4	5,77
			11:15	20,9	12,1	0,6	7,26	99,3	7,31
			11:30	20,6	12,2	0,63	7,69	67,7	11,36
			11:45	21,3	12,2	0,62	7,56	166,5	4,54
			12:00	20,3	12,2	0,63	7,69	205,5	3,74
			12:15	21,2	12,2	0,63	7,69	202,9	3,79
			12:30	20,8	12,2	0,63	7,69	125,6	6,12
			12:45	20,9	12,2	0,65	7,93	87,1	9,10
			13:00	20,6	12,2	0,63	7,69	78,9	9,74
			13:15	21,3	12,1	0,62	7,50	206,1	3,64
			13:30	20,9	12,1	0,6	7,26	202,9	3,58

			13:45	21,3	12,1	0,62	7,50	178,0	4,22
			14:00	20,7	12,1	0,62	7,50	141,0	5,32
			14:15	21,1	12,1	0,6	7,26	160,2	4,53
			14:30	21,1	12	0,61	7,32	150,3	4,87
			14:45	20,9	12	0,6	7,20	69,5	10,36
			15:00	20,3	12	0,61	7,32	43,2	16,96
			15:15	19,8	12	0,6	7,20	215,7	3,34
			15:30	20,2	12	0,59	7,08	29,2	24,27
			15:45	20	12	0,58	6,96	25,4	27,43
			16:00	19,8	12	0,56	6,72	18,7	35,89

4.4 Analisis Hasil Pengolahan Data

Pada bagian ini akan membahas tentang tabel serta grafik data dan hasil perhitungan yang telah didapatkan dari pengolahan data sebelumnya.

4.4.1 Analisis Pengaruh *Partial shading* 50% terhadap Kinerja PLTS 40 Wp pada Sistem *Rooftop* dan *Ground-mounted*

Berdasarkan hasil pengukuran pada Tabel 4.11 dan Tabel 4.12, terlihat bahwa pada *partial shading* 50% menyebabkan penurunan kinerja PLTS baik pada konfigurasi *Rooftop* maupun *Ground-mounted*.

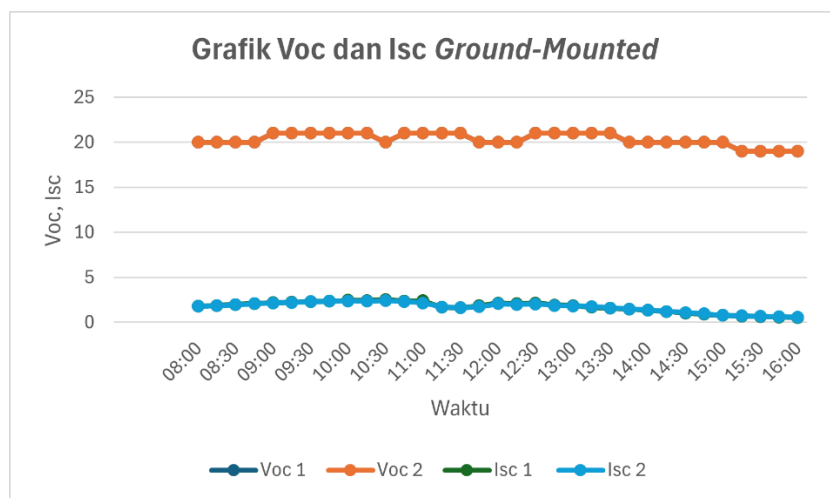
Pada sistem *Rooftop*, nilai daya keluaran tanpa *shading* berada pada kisaran 6,50–8,11 W, sedangkan pada kondisi *shading* 50% daya keluaran turun menjadi sekitar 4,10–6,61 W. Nilai arus keluaran juga mengalami penurunan dari kisaran 0,56–0,67 A menjadi 0,39–0,57 A. Penurunan ini terjadi karena sebagian permukaan modul tertutup bayangan sehingga jumlah radiasi matahari yang diterima sel surya berkurang. Akibatnya, arus yang dihasilkan panel menurun dan secara langsung menyebabkan penurunan daya keluaran. Fenomena ini konsisten dengan teori fotovoltaik bahwa sel-sel dalam rangkaian seri dibatasi oleh sel yang menghasilkan arus paling kecil, sehingga penurunan arus pada sebagian sel langsung mempengaruhi arus keseluruhan modul.

Pada sistem *Ground-mounted*, kondisi tanpa *shading* menghasilkan daya keluaran sekitar 6,08–7,56 W, sedangkan pada kondisi *shading* 50% daya keluaran berada pada kisaran 4,93–6,55 W. Nilai arus keluaran juga menurun dari sekitar 0,52–0,63 A menjadi 0,44–0,56 A. Meskipun terjadi penurunan performa,

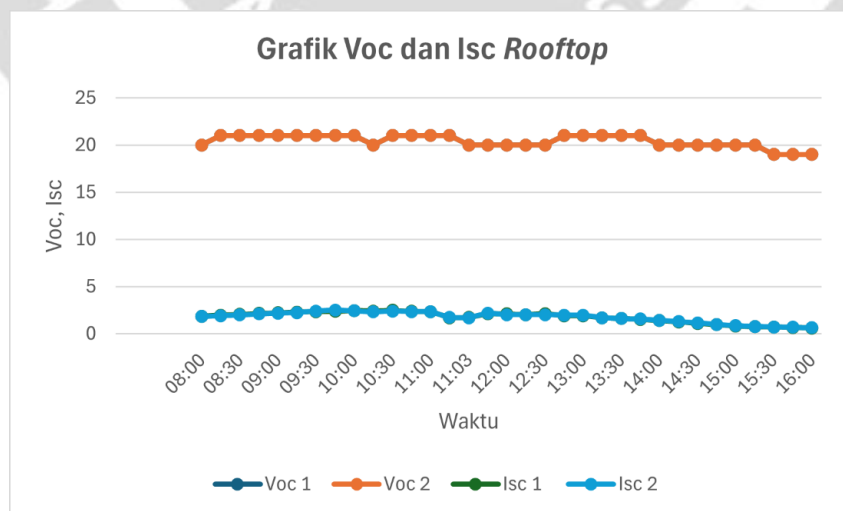
perubahan yang terjadi pada sistem *Ground-mounted* cenderung lebih kecil dibandingkan *Rooftop*.

4.4.2 Analisis Karakteristik Dasar Panel: Voc dan Isc

Pengukuran tegangan rangkaian terbuka (Voc) dan arus hubung singkat (Isc) dilakukan tanpa beban dan tanpa variasi sudut sebagai evaluasi karakteristik dasar panel sebelum pengujian variasi.



Gambar 4. 12 Grafik Perbandingan Voc dan Isc *Ground-mounted*.



Gambar 4. 13 Grafik Perbandingan Voc dan Isc *Rooftop*.

4.4.2.1 Analisis Tren Voc Terhadap Waktu

Berdasarkan grafik Voc (Gambar 4.12 dan 4.13), kedua konfigurasi

menunjukkan pola kenaikan Voc pada pagi hari seiring meningkatnya radiasi matahari, mencapai nilai stabil pada kisaran 20–21 V pada periode siang (09.00–13.00 WIB), kemudian menurun pada sore hari. Voc bersifat relatif stabil karena tegangan *open-circuit* hanya berubah secara logaritmik terhadap intensitas cahaya dan lebih dominan dipengaruhi oleh temperatur sel.

Perbedaan Voc antara *Rooftop* dan *Ground-mounted* sangat kecil (< 1 V) pada seluruh periode pengukuran. Hal ini konsisten dengan teori sel surya bahwa Voc terutama dipengaruhi oleh material semikonduktor dan temperature.

4.4.2.2 Analisis Tren Isc Terhadap Waktu

Berbeda dengan Voc, nilai Isc menunjukkan variasi yang lebih besar dan berkorelasi langsung dengan intensitas radiasi matahari. Pada sistem *Rooftop*, Isc meningkat dari 1,85 A (08.00 WIB) menuju puncak sekitar 2,45 A (10.00–11.00 WIB) pada periode PSH, kemudian menurun secara bertahap hingga 0,60 A pada pukul 16.00 WIB. Sistem *Ground-mounted* menunjukkan pola serupa dengan Isc puncak sekitar 2,47 A.

Perbedaan penting antara kedua konfigurasi terlihat pada fluktuasi Isc selama periode 10.00–14.00 WIB. Beberapa titik anomali seperti penurunan tajam pada pukul 12.00 WIB radiasi tercatat 197 W/m^2 pada *Rooftop* menunjukkan adanya tutupan awan yang memengaruhi arus keluaran.

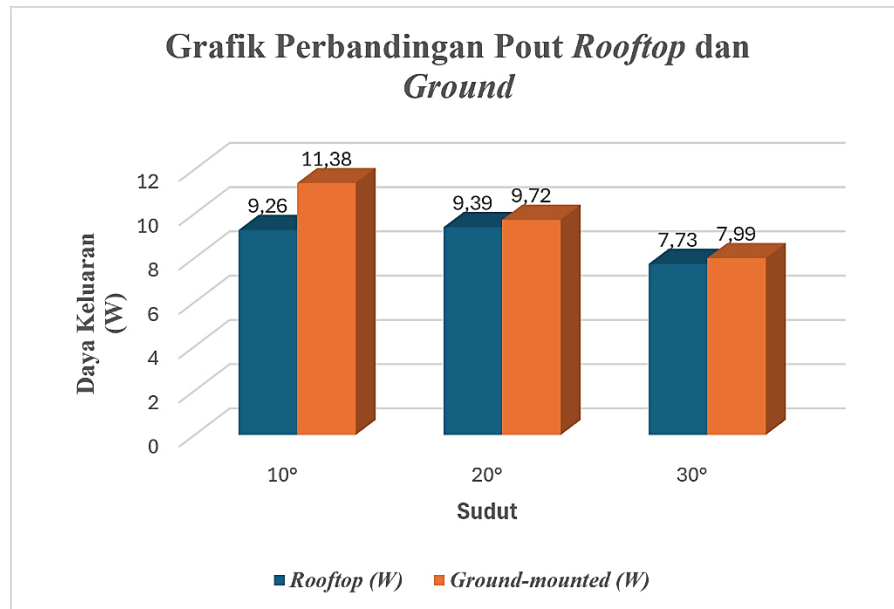
4.4.2.3 Kesimpulan Analisis Voc dan Isc

Analisis Voc dan Isc membuktikan dua hal: (1) sistem pengukuran bekerja dengan konsisten karena pola kurva sesuai dengan karakteristik teoritis panel monocrystalline; (2) parameter Isc lebih sensitif terhadap kondisi lingkungan (radiasi dan tutupan awan) dibanding Voc, sehingga Isc menjadi indikator utama penurunan kinerja akibat *partial shading*. Implikasi ini menjadi dasar analisis pada subbab 4.4.3 dan 4.4.4.

4.4.3 Analisis Kinerja Sistem Tanpa *Shading* Pengaruh Sudut Kemiringan

Bagian ini menganalisis kinerja sistem PLTS pada kondisi tanpa *shading* dengan memfokuskan pembahasan pada tiga aspek: (1) pengaruh lokasi pemasangan, (2) tren daya keluaran terhadap waktu, (3) efisiensi rata-rata setiap konfigurasi, dan (4) perilaku sistem pada waktu *Peak Sun Hour* (PSH). Grafik yang

dirujuk adalah Gambar 4.14 (Pout tanpa *shading*) dan Gambar 4.18 (efisiensi tanpa *shading*).



Gambar 4. 14 Grafik Perbandingan Pout *Rooftop* dan *Ground-mounted* terhadap Variasi Sudut Kemiringan 10°, 20°, 30°.

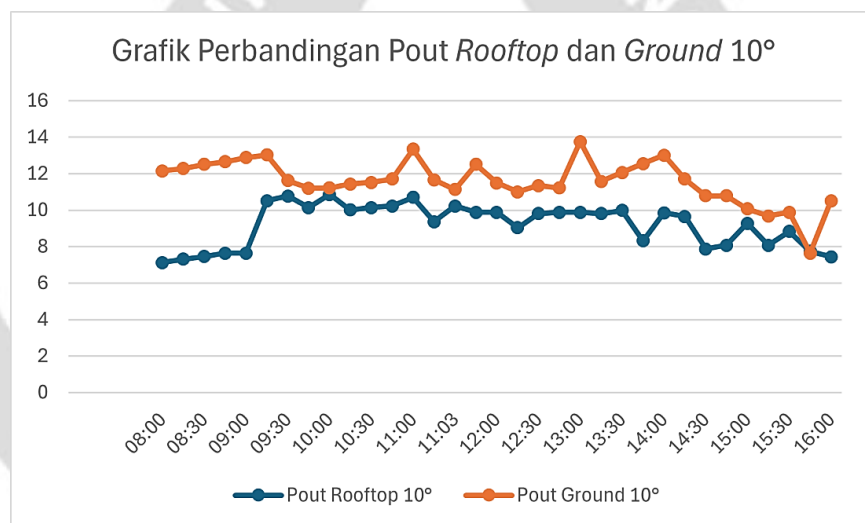
Seluruh konfigurasi menunjukkan pola harian yang seragam daya meningkat sejak pagi hari seiring naiknya intensitas radiasi matahari, mencapai nilai puncak pada rentang 10.00–13.00 WIB, kemudian menurun hingga pukul 16.00 WIB. Pola tersebut sejalan dengan teori fotovoltaik yang menyatakan bahwa energi listrik yang dihasilkan panel surya berbanding lurus dengan intensitas radiasi matahari yang diterima permukaan panel.

Perbedaan antar konfigurasi paling terlihat pada nilai absolut daya puncak dan kecuraman kurva penurunan pada sore hari. *Ground-mounted* secara konsisten menghasilkan daya lebih tinggi pada seluruh sudut dibandingkan *Rooftop*. Perbedaan ini disebabkan oleh dua faktor: (a) area terbuka pada lokasi GM menyebabkan distribusi radiasi lebih merata, dan (b) sirkulasi udara yang lebih baik di bawah panel GM menyebabkan temperatur operasi lebih rendah, sehingga penurunan tegangan akibat panas lebih kecil.

4.4.3.1 Pengaruh Lokasi Pemasangan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem *Ground-mounted* menghasilkan daya rata-rata yang lebih tinggi dibandingkan sistem *Rooftop* pada seluruh variasi sudut kemiringan. Hal ini disebabkan lokasi *Ground-mounted* memiliki area yang lebih terbuka sehingga panel menerima radiasi matahari secara lebih optimal. Sebaliknya, sistem *Rooftop* berpotensi mengalami peningkatan temperatur akibat panas yang dipantulkan permukaan atap. Menurut teori sel surya, peningkatan temperatur akan menurunkan tegangan keluaran sehingga efisiensi konversi energi listrik menjadi lebih rendah.

4.4.3.2 Analisis Sudut Kemiringan 10°



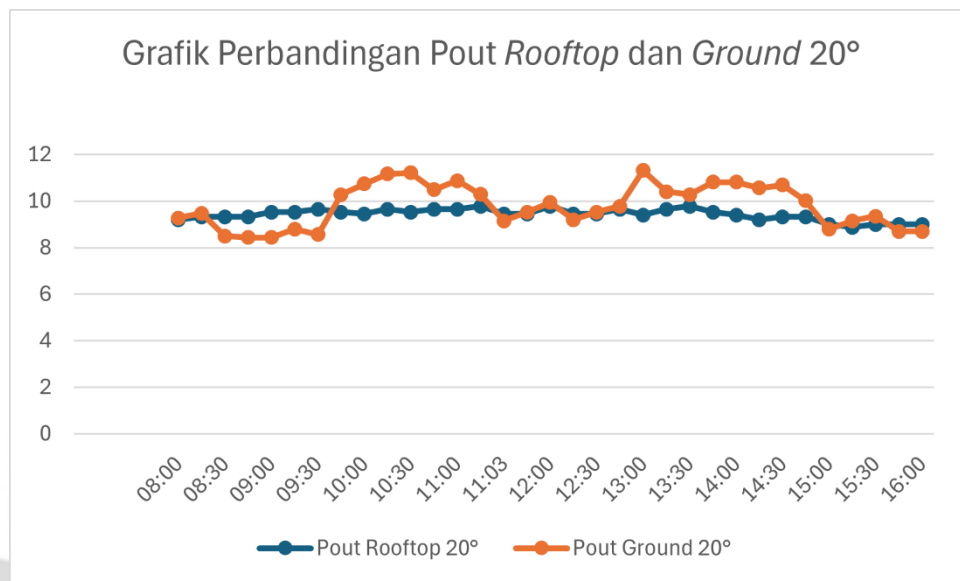
Gambar 4. 15 Grafik Perbandingan Daya Keluaran di *Rooftop* dan *Ground-mounted* 10°

Pada sudut kemiringan 10°, *Ground-mounted* menghasilkan daya rata-rata 11,38 W dan mencapai daya puncak 13,76 W pada pukul 13.00 WIB ($V_{out} = 13,9$ V, $I_{out} = 0,99$ A, $G = 706,1$ W/m²). *Rooftop* menghasilkan daya rata-rata 9,26 W dengan daya puncak 9,88 W pada pukul yang sama. Selisih daya rata-rata antara GM dan RT sebesar 2,12 W menunjukkan bahwa lokasi pemasangan memberikan pengaruh yang signifikan pada sudut optimal.

Pada sudut 10°, sudut datang sinar matahari terhadap permukaan panel (θ)

mendekati nilai terkecil sepanjang periode pengujian, sehingga nilai $\cos(\theta)$ mendekati 1 dan radiasi efektif yang diserap panel mencapai maksimum sesuai Persamaan (2.4) sinar matahari mengenai permukaan panel dengan sudut datang yang lebih tegak lurus sehingga energi radiasi yang diserap menjadi lebih besar. Ini menjelaskan mengapa sudut 10° menghasilkan arus keluaran tertinggi.

4.4.3.3 Analisis Sudut Kemiringan 20°



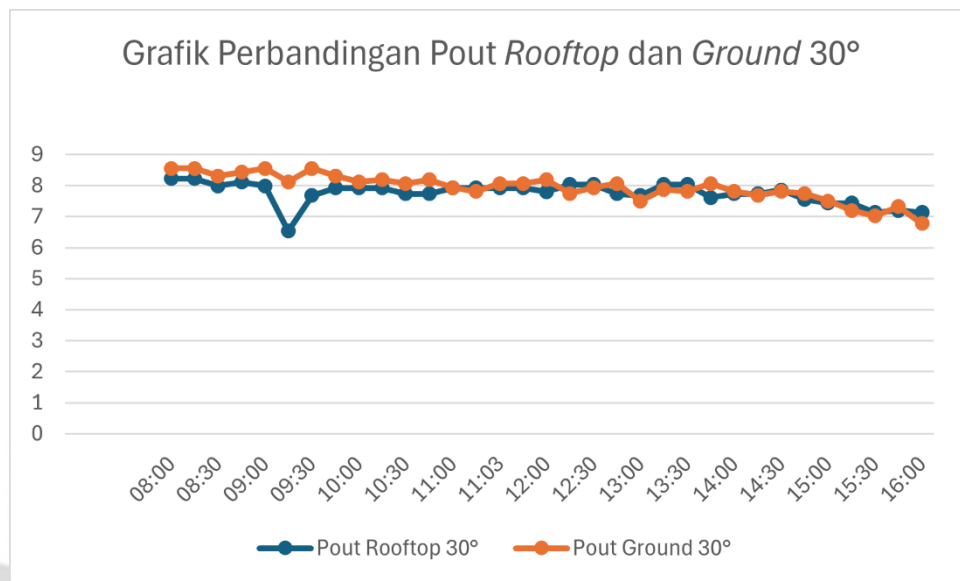
Gambar 4. 16 Grafik Perbandingan Daya Keluaran di *Rooftop* dan *Ground-mounted* pada sudut 20°

Pada sudut 20° , terjadi pola yang menarik: daya rata-rata *Rooftop* (9,39 W) sedikit lebih tinggi dibandingkan *Rooftop* 10° (9,26 W), namun daya rata-rata *Ground-mounted* (9,72 W) justru lebih rendah dari GM 10° (11,38 W). Daya puncak GM 20° hanya mencapai 10,49 W pada pukul 10.45 WIB—lebih rendah dan lebih awal dibandingkan GM 10° .

Fenomena peningkatan kecil pada *Rooftop* 20° dapat dijelaskan oleh dua mekanisme: (a) orientasi panel *Rooftop* pada sudut 20° mungkin lebih sesuai dengan posisi matahari pada waktu pengujian spesifik tersebut; (b) selisih antara RT 10° dan RT 20° hanya 0,13 W, yang masih berada dalam rentang variasi kondisi cuaca antar hari pengujian.

Meskipun radiasi matahari pada waktu PSH sudut 20° mencapai lebih dari 900 W/m^2 bahkan mendekati 1.179 W/m^2 dibandingkan konfigurasi lain peningkatan radiasi ini tidak diikuti kenaikan daya proporsional karena temperatur lingkungan meningkat mendekati $40\text{--}41^\circ\text{C}$. Kenaikan temperatur 1°C menyebabkan penurunan daya sekitar $0,4\text{--}0,5\%$.

4.4.3.4 Analisis Sudut Kemiringan 30°



Gambar 4. 17 Grafik Perbandingan Daya Keluaran di *Rooftop* dan *Ground-mounted* pada sudut 30°

Pada sudut kemiringan 30° , Pada sudut 30° , terjadi penurunan daya yang signifikan pada kedua konfigurasi. Daya rata-rata *Rooftop* turun menjadi $7,73 \text{ W}$ dan *Ground-mounted* menjadi $7,99 \text{ W}$. Daya puncak GM 30° hanya mencapai $8,56 \text{ W}$ dibandingkan $13,76 \text{ W}$ pada GM 10° , terjadi penurunan sebesar $37,8\%$.

Penurunan ini konsisten dengan Persamaan (2.4) pada sudut kemiringan 30° di lokasi tropis seperti Jakarta Timur, sudut datang radiasi matahari (θ) lebih besar pada sebagian besar periode pengujian, sehingga nilai $\cos(\theta)$ lebih kecil dan radiasi efektif yang diterima panel berkurang. Meskipun intensitas radiasi absolut masih cukup tinggi ($929,2 \text{ W/m}^2$ pada pukul 11.00 WIB), arus keluaran hanya berada pada kisaran $0,63\text{--}0,67 \text{ A}$ karena orientasi panel tidak optimal.

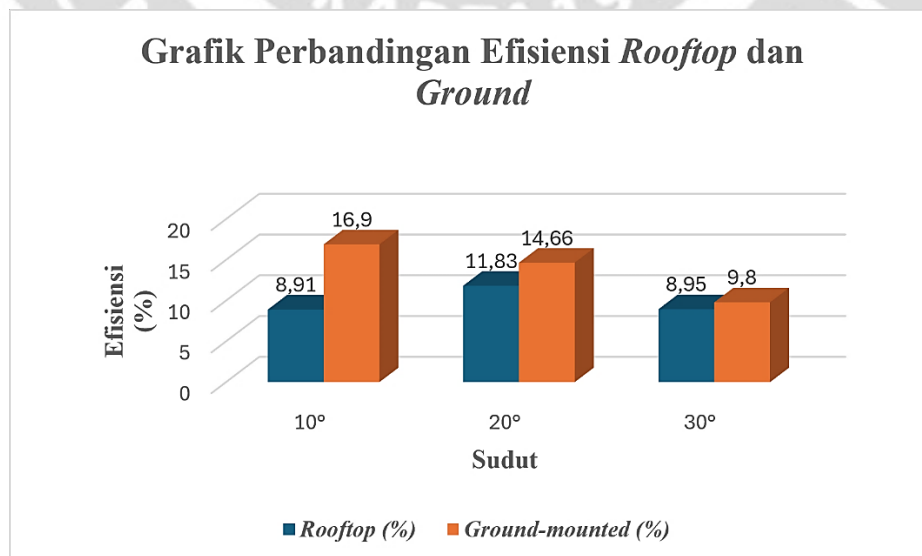
Hasil ini menunjukkan bahwa besarnya intensitas radiasi matahari tidak selalu menghasilkan daya yang lebih tinggi apabila tidak didukung oleh sudut kemiringan yang sesuai dan temperatur operasi yang rendah.

Berdasarkan perbandingan seluruh konfigurasi, daya rata-rata tertinggi diperoleh pada *Ground-mounted* 10° sebesar 11,38 W, sedangkan daya rata-rata terendah diperoleh pada *Rooftop* 30° sebesar 7,73 W. Maka peningkatan sudut kemiringan dari 10° menjadi 30° menyebabkan daya keluaran cenderung menurun.

Hasil ini sesuai dengan teori bahwa daya maksimum akan diperoleh ketika permukaan panel menerima radiasi matahari dengan sudut datang yang mendekati tegak lurus. Oleh karena itu, konfigurasi *Ground-mounted* dengan sudut kemiringan 10° dapat dinyatakan sebagai konfigurasi paling optimal pada penelitian ini karena menghasilkan daya rata-rata tertinggi, daya puncak terbesar, serta penerimaan radiasi matahari yang paling baik dibandingkan konfigurasi lainnya.

4.4.3.5 Analisis Efisiensi Sistem Kondisi Tanpa Shading

Berdasarkan hasil pengujian tanpa *shading*, efisiensi sistem PLTS dipengaruhi oleh sudut kemiringan panel, intensitas radiasi matahari, temperatur lingkungan, dan lokasi pemasangan. Efisiensi menunjukkan kemampuan panel surya, yang ditentukan oleh perbandingan antara daya keluaran (Pout) dan daya masukan (Pin).

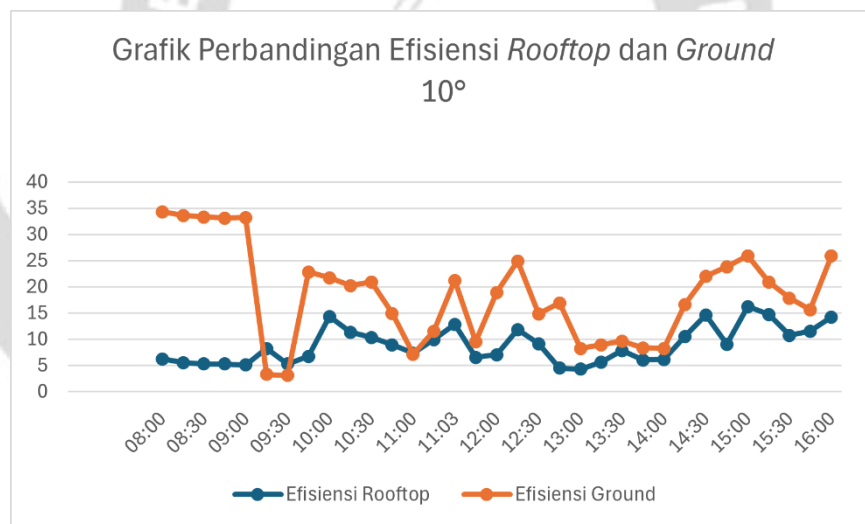


Gambar 4. 18 Grafik Perbandingan Efisiensi *Rooftop* dan *Ground-mounted* terhadap Variasi Sudut Kemiringan 10°, 20°, 30°

4.4.3.6 Analisis Efisiensi pada Sudut 10°

Pada sudut kemiringan 10°, efisiensi rata-rata *Rooftop* sebesar 8,91%, sedangkan *Ground-mounted* mencapai 16,90% merupakan yang tertinggi dan hampir dua kali efisiensi *Rooftop* 10° (8,91%). Selisih ini jauh lebih besar dibandingkan selisih efisiensi pada sudut 20° (2,83%) dan 30° (0,85%). Pola ini menunjukkan bahwa sistem *Ground-mounted* mampu memanfaatkan radiasi matahari jauh lebih baik dibandingkan *Rooftop*.

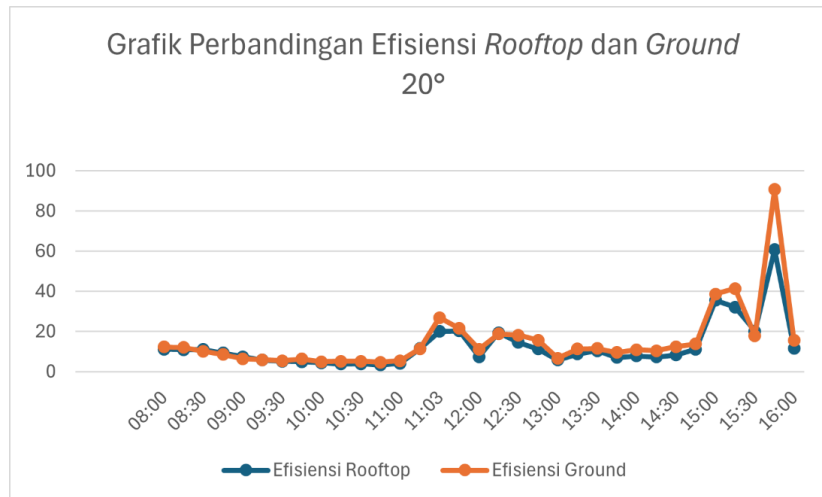
Hasil ini sejalan dengan data daya keluaran yang menunjukkan bahwa *Ground-mounted* 10° menghasilkan daya rata-rata tertinggi sebesar 11,38 W, sedangkan *Rooftop* hanya 9,26 W. Tingginya daya keluaran menunjukkan bahwa sebagian besar energi radiasi yang diterima panel berhasil dikonversi menjadi energi listrik sehingga nilai efisiensinya juga meningkat.



Gambar 4. 19 Grafik Perbandingan Efisiensi di *Rooftop* dan *Ground-mounted* pada sudut 10°

Tingginya efisiensi pada sudut 10° menunjukkan bahwa sudut tersebut paling mendekati sudut optimum penerimaan radiasi matahari pada lokasi penelitian. Posisi panel yang lebih sejajar dengan arah datang sinar matahari menyebabkan energi yang diserap permukaan panel menjadi lebih besar sehingga meningkatkan arus keluaran, daya keluaran, dan efisiensi sistem.

4.4.3.7 Analisis Efisiensi pada Sudut 20°

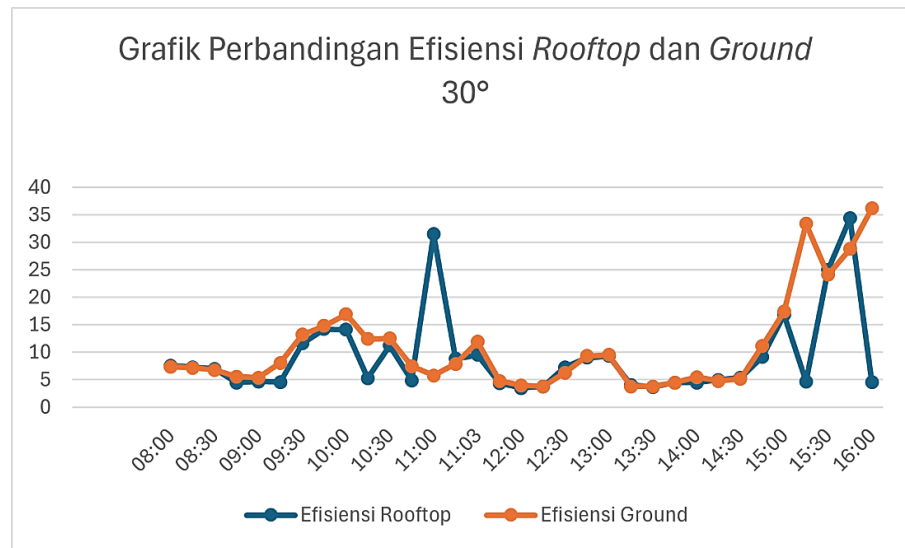


Gambar 4. 20 Grafik Perbandingan Efisiensi di *Rooftop* dan *Ground-mounted* pada sudut 20°

Pada sudut kemiringan 20°, efisiensi *Rooftop* meningkat menjadi 11,83%, sedangkan *Ground-mounted* sedikit menurun menjadi 14,66%. Anomali terlihat pada efisiensi RT 20° (11,83%) yang lebih tinggi dari RT 10° (8,91%). Hal ini bukan berarti sudut 20° lebih baik untuk *Rooftop* secara umum, melainkan mencerminkan bahwa pada hari pengujian sudut 20° kondisi radiasi relatif lebih tinggi (mencapai 1.179 W/m²), namun nilai daya masukan ($P_{in} = G \times A$) juga lebih besar. Dengan kata lain, radiasi yang tinggi belum tentu menghasilkan efisiensi tinggi apabila disertai peningkatan suhu yang berlebihan.

4.4.3.8 Analisis Efisiensi pada Sudut 30°

Pada sudut kemiringan 30°, efisiensi mengalami penurunan pada kedua lokasi pemasangan. Efisiensi *Rooftop* menjadi 8,95%, sedangkan *Ground-mounted* turun menjadi 9,80%. Penurunan efisiensi ini sejalan dengan penurunan daya rata-rata yang hanya mencapai 7,73 W pada *Rooftop* dan 7,99 W pada *Ground-mounted*. Nilai tersebut merupakan yang terendah dibandingkan sudut 10° dan 20°.



Gambar 4. 21 Grafik Perbandingan Efisiensi di *Rooftop* dan *Ground-mounted* pada sudut 30°

Meskipun selama waktu PSH intensitas radiasi masih cukup tinggi dan mencapai sekitar 929,2 W/m² pada *Rooftop* serta 864,2 W/m² pada *Ground-mounted*, arus keluaran hanya berada pada kisaran 0,63–0,67 A. Akibatnya daya yang dihasilkan tetap rendah.

Kondisi ini menunjukkan bahwa sudut kemiringan 30° menyebabkan arah datang sinar matahari tidak lagi tegak lurus terhadap permukaan panel selama waktu pengujian. Sebagian energi radiasi dipantulkan kembali ke lingkungan dan tidak dapat diserap oleh sel surya. Berkurangnya energi yang diterima panel menyebabkan arus keluaran menurun sehingga daya dan efisiensi sistem ikut menurun.

4.4.3.9 Analisis Hubungan Efisiensi dengan Daya Keluaran (Pout)

Hasil penelitian menunjukkan adanya hubungan antara efisiensi sistem dan daya keluaran panel surya. Berdasarkan persamaan (2.3) semakin besar daya keluaran yang dihasilkan panel terhadap daya masukan yang diterima, maka semakin tinggi efisiensi sistem. Hubungan tersebut terlihat pada Tabel 4.15 nilai rata – rata hasil pengujian.

Tabel 4. 15 Nilai Rata – rata Efisiensi Tanpa *Shading*

Sudut	<i>Rooftop</i>	<i>Ground-mounted</i>
10°	8,91%	16,90%
20°	11,83%	14,66%
30°	8,95%	9,80%

Konfigurasi *Ground-mounted* 10° memiliki efisiensi tertinggi (16,90%) sekaligus menghasilkan daya rata-rata tertinggi (11,38 W). Sebaliknya, konfigurasi 30° memiliki daya keluaran paling rendah dan diikuti oleh efisiensi yang juga rendah.

Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan daya keluaran akibat penerimaan radiasi yang lebih optimal akan meningkatkan efisiensi sistem. Sebaliknya, apabila sudut kemiringan tidak sesuai sehingga daya keluaran menurun, maka efisiensi sistem juga akan ikut menurun.

4.4.3.10 Analisis Waktu *Peak Sun Hour* (10.00–14.00 WIB)

Waktu PSH merupakan waktu utama pembentukan energi harian sistem karena radiasi matahari mencapai nilai maksimum dan menjadi penyumbang dominan energi harian. Pada rentang waktu ini terlihat bahwa:

Tabel 4. 16 Rekap Performa Waktu PSH Tanpa *Shading*.

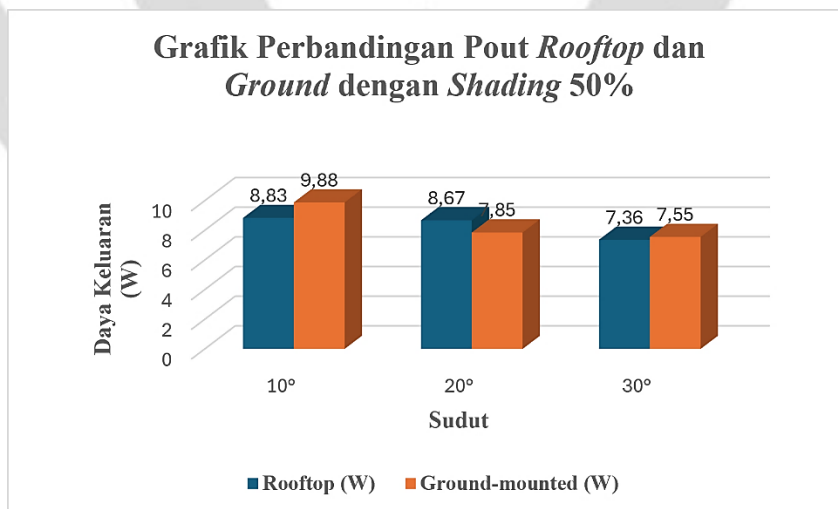
Konfigurasi	Daya Rata-rata (W)	Daya Puncak (W)	Waktu Puncak	Radiasi Maks (W/m ²)	Suhu Panel (°C)
GM – 10°	11,91	13,76	13.00	790,8	< 40
GM – 20°	10,33	11,35	10.45	932,5	40–42
GM – 30°	7,96	8,56	12.00	864,2	38–40
RT – 10°	9,87	10,85	11.00	952,5	39–41
RT – 20°	9,57	9,78	11.15	1179,2	37–40
RT – 30°	7,88	8,04	12.15	929,2	38–42

Dari tabel di atas, terlihat bahwa GM 10° memiliki daya puncak tertinggi (13,76 W) pada radiasi yang justru bukan yang terbesar (706,1 W/m²). Ini menunjukkan bahwa kunci performa bukan semata-mata besarnya radiasi, tetapi keselarasan orientasi panel dengan arah datang sinar matahari pada waktu tersebut dan temperatur operasi yang lebih rendah (< 40°C).

Sebaliknya, GM 20° menerima radiasi tertinggi (1.179,2 W/m²) tetapi daya puncaknya hanya 11,35 W karena temperatur lingkungan meningkat hingga 40–42°C yang menyebabkan penurunan tegangan. Ini membuktikan bahwa radiasi tinggi tidak otomatis menghasilkan daya tinggi.

4.4.4 Analisis Kinerja Sistem dengan Kombinasi *Partial Shading* 50%

Partial shading 50% diterapkan dengan menutup sisi kiri panel menggunakan triplek. Pada konfigurasi seri sel panel *monocrystalline*, sel yang tertutup menghasilkan arus lebih kecil sehingga membatasi arus seluruh rangkaian (*current mismatch*), sehingga daya keluaran panel menjadi lebih rendah. Oleh karena itu, meskipun intensitas radiasi matahari tinggi, keberadaan *shading* menyebabkan energi yang dapat dikonversi menjadi listrik tidak maksimal.



Gambar 4. 22 Grafik Perbandingan Pout Rooftop dan Ground-mounted terhadap *Partial Shading* dan Variasi Sudut Kemiringan 10°, 20°, 30°.

Pola harian daya keluaran pada kondisi *shading* masih mengikuti kurva radiasi matahari (meningkat pagi, puncak siang, turun sore), namun nilai absolut daya pada seluruh konfigurasi lebih rendah dibandingkan kondisi tanpa *shading*. Perbedaan terjadi pada perubahan dan konsistensi kurva pada beberapa konfigurasi (terutama GM 20° dan GM 30°), kurva menjadi lebih tidak beraturan pada waktu PSH akibat interaksi antara efek *shading* dan fluktuasi radiasi.

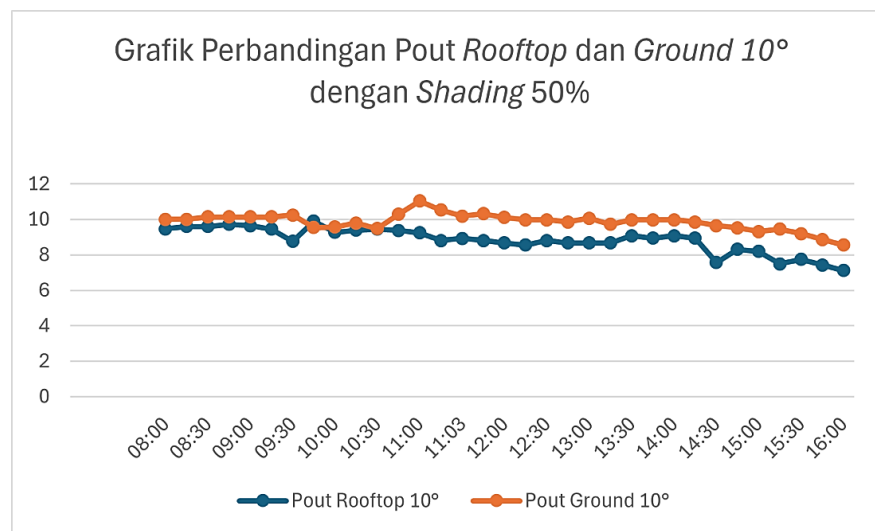
4.4.4.1 Pengaruh Lokasi Pemasangan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem *Ground-mounted* secara umum masih menghasilkan daya yang lebih tinggi dibandingkan sistem *Rooftop*, terutama pada sudut kemiringan 10° dan 30°. Pada sudut 10°, daya rata-rata *Ground-mounted* mencapai 9,88 W, lebih tinggi dibandingkan *Rooftop* sebesar 8,83 W. Pada sudut 30°, *Ground-mounted* menghasilkan daya rata-rata 7,55 W, sedangkan *Rooftop* sebesar 7,36 W.

Perbedaan ini disebabkan lokasi *Ground-mounted* memiliki area pemasangan yang lebih terbuka sehingga distribusi radiasi matahari yang diterima panel lebih merata. Sebaliknya, sistem *Rooftop* berpotensi mengalami peningkatan temperatur lingkungan akibat panas yang dipantulkan permukaan. Menurut teori fotovoltaiik, kenaikan temperatur sel surya akan menurunkan tegangan keluaran (*Voc*) sehingga daya listrik yang dihasilkan menjadi lebih rendah.

Namun pada sudut 20°, fenomena berbeda terjadi dimana *Rooftop* menghasilkan daya rata-rata 8,67 W, lebih tinggi dibandingkan *Ground-mounted* yang hanya 7,85 W. Hal ini menunjukkan bahwa efek *shading* tidak hanya dipengaruhi oleh lokasi pemasangan, tetapi juga oleh posisi bayangan terhadap susunan sel panel. Distribusi bayangan yang berbeda dapat menyebabkan tingkat penurunan arus yang berbeda pula pada masing-masing sistem.

4.4.4.2 Analisis Sudut Kemiringan 10°

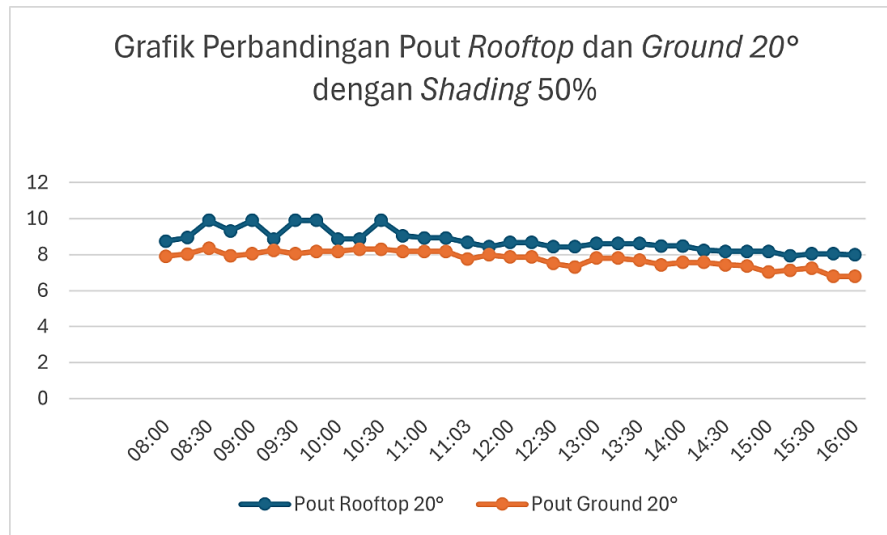


Gambar 4. 23 Grafik Perbandingan Daya Keluaran di *Rooftop* dan *Ground-mounted* pada sudut 10° dengan *Shading Partial* 50%

Pada sudut 10° dengan *shading* parsial 50%, *Ground-mounted* menghasilkan daya rata-rata 9,88 W (turun 13,2% dari 11,38 W tanpa *shading*) dan *Rooftop* menghasilkan 8,83 W (turun 4,6% dari 9,26 W). Daya puncak GM mencapai 11,04 W pada pukul 11.00 WIB ($V_{out} = 13,3$ V, $I_{out} = 0,83$ A). Setelah mencapai puncak, daya tetap stabil pada kisaran 9,86–10,53 W hingga pukul 14.00 WIB. Sedangkan RT mencapai 9,91 W pada pukul 09.45 WIB.

Meskipun terjadi penurunan, konfigurasi sudut 10° terbukti paling tahan terhadap efek *shading* pada kedua konfigurasi pemasangan. Ini karena pada sudut 10°, arus dari sel yang tidak tertutup masih relatif tinggi akibat penerimaan radiasi yang optimal dengan sudut datang yang relatif tegak lurus, sehingga efek *mismatch* tidak signifikan pada sudut yang lebih besar di mana arus dasarnya sudah lebih rendah.

4.4.4.3 Analisis Sudut Kemiringan 20°

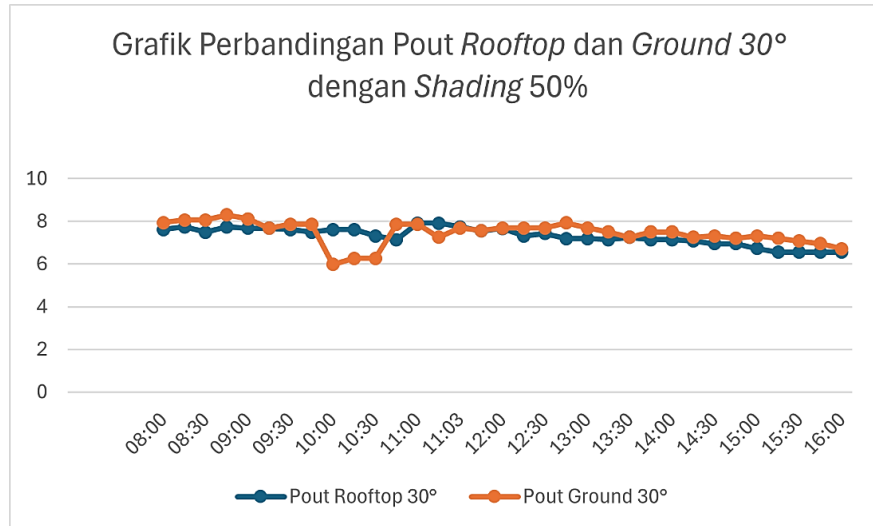


Gambar 4. 24 Grafik Perbandingan Daya Keluaran di *Rooftop* dan *Ground-mounted* pada sudut 20° dengan *Partial Shading* 50%

Pada sudut 20° dengan *shading*, terjadi fenomena berbeda *Rooftop* sebesar 8,67 W kini lebih tinggi dari *Ground-mounted* sebesar 7,85 W. Ini adalah kebalikan dari kondisi tanpa *shading* di mana GM 20° lebih unggul 9,72 W > RT 9,39 W. Daya puncak RT 20° mencapai 9,90 W pada pukul 08.30–09.45 WIB, sedangkan GM 20° hanya mencapai 8,36 W pada pukul 08.30 WIB dan kemudian relatif konstan pada 7,32–8,30 W sepanjang hari.

Pembalikan ini menunjukkan bahwa distribusi bayangan pada sudut 20° berinteraksi secara berbeda dengan susunan sel pada masing-masing sistem. Pada GM 20°, posisi triplek *shading* pada pukul 08.30 WIB menghasilkan mismatch yang lebih drastis karena sudut datang sinar matahari dari sisi yang tidak tertutup belum optimal, sehingga arus dari sel yang terkena cahaya juga tidak maksimal. Fenomena ini memperkuat pentingnya analisis distribusi bayangan pada desain sistem PLTS.

4.4.4.4 Analisis Sudut Kemiringan 30°



Gambar 4. 25 Grafik Perbandingan Daya Keluaran di *Rooftop* dan *Ground-mounted* pada sudut 30° dengan *Shading Partial* 50%

Pada sudut 30° dengan *shading*, daya rata-rata *Rooftop* sebesar 7,36 W dan *Ground-mounted* 7,55 W merupakan yang terendah dari seluruh konfigurasi. Daya puncak RT 30° hanya mencapai 7,92 W pada pukul 11.00–11.15 WIB, sedangkan GM 30° mencapai 8,31 W pada pukul 08.45 WIB kemudian turun dan selama PSH hanya pada kisaran 5,98–7,93 W.

Penurunan tajam pada GM 30° selama PSH hingga 5,98 W menunjukkan bahwa pada sudut ini kombinasi efek *shading* dan orientasi panel yang tidak optimal bekerja secara bersamaan memperbesar penurunan daya. Ketika radiasi yang diterima sel sudah tidak maksimal akibat sudut kemiringan yang terlalu besar, efek mismatch akibat *shading* menjadi semakin dominan.

4.4.4.5 Analisis Waktu *Peak Sun Hour* (PSH) Pukul 10.00–14.00 WIB

Waktu PSH merupakan waktu ketika radiasi matahari mencapai nilai tertinggi dan menjadi penyumbang utama energi harian sistem PLTS. Berdasarkan hasil pengujian pada kondisi *partial shading* 50%, terlihat bahwa:

- GM 10°: Daya tertinggi 11,04 W (11.00 WIB), stabil pada 9,86–10,53 W hingga 14.00 WIB. Merupakan satu-satunya konfigurasi yang mampu

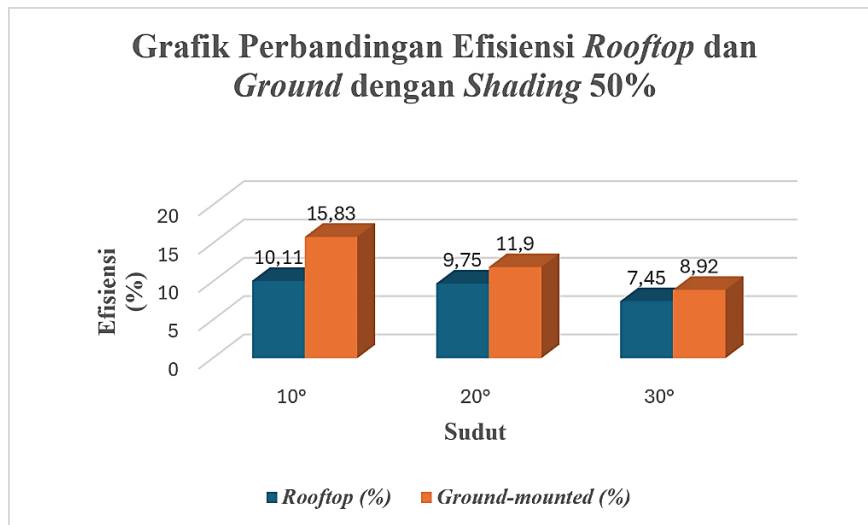
mempertahankan daya di atas 9 W secara konsisten selama PSH pada kondisi *shading*.

- RT 10°: Daya stabil pada 8,56–9,45 W selama PSH. Penurunan daya akibat *shading* lebih kecil dibandingkan sudut lainnya, menunjukkan ketahanan terbaik terhadap *shading* pada sistem *Rooftop*.
- GM 20°: Daya konstan pada 7,32–8,30 W selama PSH meskipun radiasi tinggi. Kombinasi efek *shading* dan orientasi sudut menyebabkan pemanfaatan energi matahari tidak efektif.
- RT 20°: Daya puncak justru terjadi sebelum waktu PSH (08.30–09.45 WIB), bukan pada saat radiasi maksimum. Ini menunjukkan bahwa interaksi antara orientasi sudut 20° dan distribusi *shading* pada *Rooftop* lebih menguntungkan pada pagi hari.
- GM 30° dan RT 30°: Daya selama PSH konsisten paling rendah (5,98–7,92 W). Kombinasi sudut tidak optimal dan efek *shading* menghasilkan penurunan daya yang kumulatif dan signifikan.

Hasil analisis ini menunjukkan bahwa tingginya intensitas radiasi matahari tidak cukup untuk menghasilkan daya tinggi apabila tidak didukung sudut kemiringan yang sesuai dan distribusi pencahayaan yang merata pada seluruh permukaan panel. Konfigurasi GM 10° adalah yang paling mampu mengkonversi potensi PSH menjadi energi listrik nyata, bahkan dalam kondisi *partial shading* 50%.

Berdasarkan seluruh hasil pengujian pada kondisi kombinasi *partial shading* 50%, konfigurasi *Ground-mounted* dengan sudut kemiringan 10° merupakan konfigurasi paling optimal dengan daya rata-rata sebesar 9,88 W dan daya puncak sebesar 11,04 W pada pukul 11.00 WIB.

Sebaliknya, konfigurasi dengan sudut kemiringan 30° menghasilkan daya terendah, yaitu 7,36 W pada *Rooftop* dan 7,55 W pada *Ground-mounted*. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan sudut kemiringan dari 10° menuju 30° menyebabkan penurunan kemampuan panel dalam menerima radiasi matahari secara efektif, terutama ketika sebagian permukaan modul mengalami *shading*.



Gambar 4. 26 Grafik Perbandingan Efisiensi *Rooftop* dan *Ground-mounted* terhadap *Partial Shading* dan Variasi Sudut Kemiringan 10°, 20°, 30°

Berdasarkan hasil pengujian, efisiensi sistem PLTS pada kondisi *partial shading* 50% dipengaruhi oleh kombinasi sudut kemiringan panel, distribusi radiasi matahari yang diterima permukaan panel, lokasi pemasangan, serta besarnya daya keluaran yang dihasilkan. Menunjukkan bahwa selisih efisiensi antara GM dan RT mengecil seiring peningkatan sudut (5,72% → 2,15% → 1,47%). Pola ini menunjukkan bahwa pada sudut yang lebih besar, keunggulan GM dalam menerima radiasi dan sirkulasi termal menjadi lebih kecil karena seluruh konfigurasi sudah dalam kondisi kurang optimal secara bersamaan.

4.4.4.6 Pengaruh Lokasi Pemasangan terhadap Efisiensi

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem *Ground-mounted* memiliki efisiensi lebih tinggi dibandingkan *Rooftop* pada seluruh variasi sudut kemiringan.

Tabel 4. 17 Nilai Rata – rata Efisiensi dengan *Partial Shading* 50%

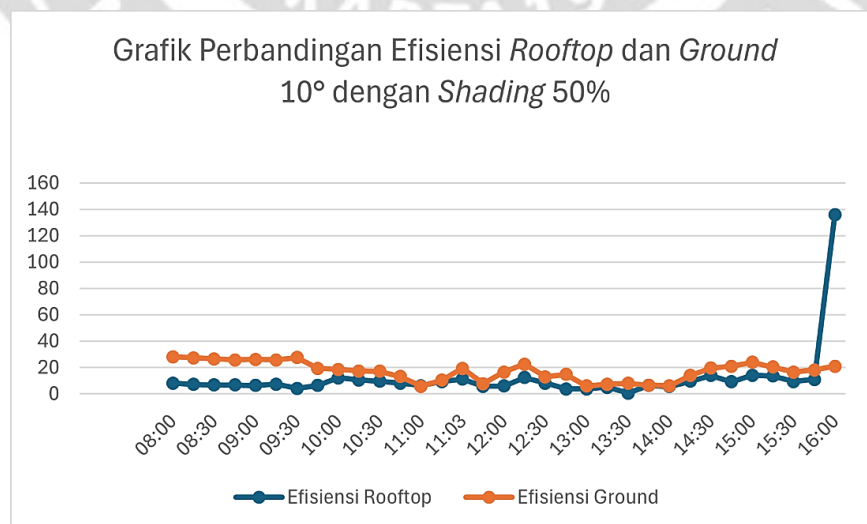
Sudut	<i>Rooftop</i>	<i>Ground-mounted</i>
10°	10,11%	15,83%
20°	9,75%	11,90%
30°	7,45%	8,92%

Pada sudut 10° , selisih efisiensi antara *Rooftop* dan *Ground-mounted* mencapai 5,72%, kemudian menurun menjadi 2,15% pada sudut 20° dan 1,47% pada sudut 30° . Hasil ini menunjukkan bahwa sistem *Ground-mounted* memiliki kemampuan yang lebih baik dalam mempertahankan performa ketika terjadi *partial shading*.

Secara teoritis, panel yang dipasang secara *Ground-mounted* memperoleh distribusi radiasi yang lebih merata karena berada pada area yang lebih terbuka dan memiliki sirkulasi udara yang lebih baik. Sebaliknya, sistem *Rooftop* berpotensi mengalami peningkatan temperatur lingkungan akibat panas yang dipantulkan oleh permukaan atap.

4.4.4.7 Analisis Sudut Kemiringan 10°

Pada sudut kemiringan 10° , diperoleh efisiensi rata-rata sebesar 10,11% untuk *Rooftop* dan 15,83% untuk *Ground-mounted*. Nilai tersebut merupakan efisiensi tertinggi dibandingkan seluruh variasi sudut yang diuji. Kondisi ini sejalan dengan hasil daya keluaran rata-rata yang juga menjadi yang tertinggi, yaitu 8,83 W pada *Rooftop* dan 9,88 W pada *Ground-mounted*. Hal ini menunjukkan bahwa sudut 10° merupakan konfigurasi yang paling efektif dalam mempertahankan kemampuan konversi energi listrik ketika terjadi *partial shading* 50%.



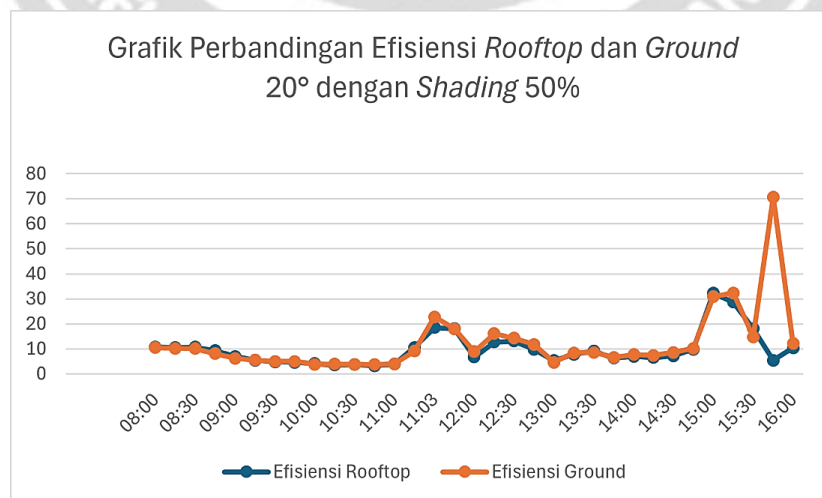
Gambar 4. 27 Grafik Perbandingan Efisiensi di *Rooftop* dan *Ground-mounted* pada sudut 10° dengan *Partial Shading* 50%

Pada waktu PSH (10.00–14.00 WIB), sistem *Ground-mounted* menghasilkan daya puncak sebesar 11,04 W pada pukul 11.00 WIB. Nilai tersebut merupakan daya tertinggi dari seluruh konfigurasi yang diuji. Sementara itu, sistem *Rooftop* menghasilkan daya maksimum sebesar 9,45 W pada pukul 10.30 WIB dan tetap stabil pada kisaran 8,68–9,45 W selama waktu PSH.

Tingginya efisiensi pada sudut 10° menunjukkan bahwa posisi panel masih mampu menerima radiasi matahari secara optimal walaupun sebagian permukaan panel tertutup bayangan. Sudut datang sinar matahari yang relatif mendekati tegak lurus menyebabkan energi radiasi yang diserap panel lebih besar sehingga arus keluaran meningkat dan daya yang dihasilkan menjadi lebih tinggi.

4.4.4.8 Analisis Sudut Kemiringan 20°

Pada sudut kemiringan 20° , efisiensi mengalami penurunan menjadi 9,75% pada *Rooftop* dan 11,90% pada *Ground-mounted*. Penurunan efisiensi ini sejalan dengan penurunan daya rata-rata yang diperoleh, yaitu 8,67 W pada *Rooftop* dan 7,85 W pada *Ground-mounted*. Dibandingkan sudut 10° , penurunan efisiensi menunjukkan bahwa peningkatan sudut kemiringan mulai mengurangi kemampuan panel dalam memanfaatkan energi matahari secara optimal ketika terjadi *partial shading* 50%.

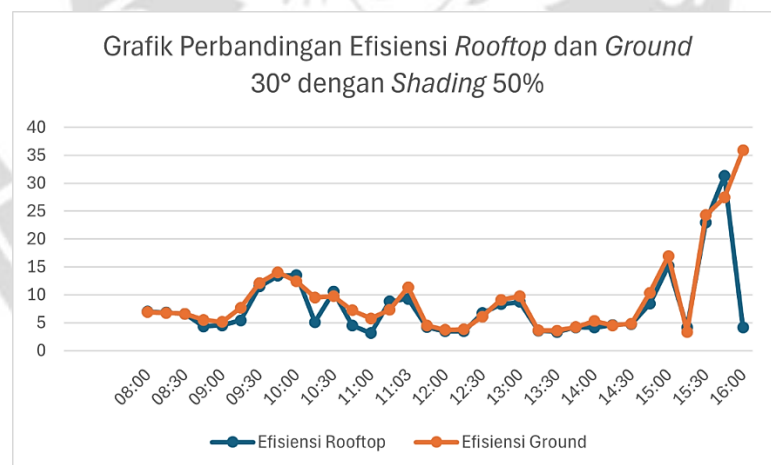


Gambar 4. 28 Grafik Perbandingan Efisiensi di *Rooftop* dan *Ground-mounted* pada sudut 20° dengan *Partial Shading* 50%

Selama waktu PSH, daya maksimum *Rooftop* mencapai 9,90 W yang terjadi pada pukul 10.30 WIB, sedangkan *Ground-mounted* mencapai 8,30 W pada pukul 10.15–10.30 WIB. Setelah itu daya cenderung menurun secara bertahap hingga sore hari. Meskipun intensitas radiasi matahari pada waktu PSH relatif tinggi, peningkatan daya tidak sebesar yang terjadi pada sudut 10°. Hal ini menunjukkan bahwa tidak seluruh energi matahari yang diterima panel dapat dikonversi menjadi energi listrik secara efektif.

4.4.4.9 Analisis Sudut Kemiringan 30°

Pada sudut kemiringan 30°, efisiensi mengalami penurunan paling signifikan dibandingkan seluruh variasi sudut yang diuji. Efisiensi rata-rata *Rooftop* hanya sebesar 7,45%, sedangkan *Ground-mounted* sebesar 8,92%. Penurunan efisiensi ini sejalan dengan daya keluaran rata-rata yang juga menjadi yang terendah, yaitu 7,36 W pada *Rooftop* dan 7,55 W pada *Ground-mounted*.



Gambar 4. 29 Grafik Perbandingan Efisiensi di *Rooftop* dan *Ground-mounted* pada sudut 30° dengan *Partial Shading* 50%

Selama waktu PSH, daya maksimum *Rooftop* hanya mencapai 7,92 W pada pukul 11.00 WIB, sedangkan *Ground-mounted* mencapai 7,93 W pada pukul 12.45 WIB. Nilai tersebut jauh lebih rendah dibandingkan konfigurasi sudut 10°. Kondisi ini menunjukkan bahwa sudut 30° kurang sesuai dengan posisi matahari selama

periode pengujian. Akibatnya sebagian radiasi matahari dipantulkan kembali ke lingkungan sehingga energi yang dapat diserap panel menjadi lebih kecil. Efek *partial shading* semakin menurunkan kondisi tersebut karena sebagian sel yang terhalangi bayangan membatasi arus keluaran seluruh modul.

4.4.4.10 Hubungan Efisiensi dengan Daya Keluaran

Hasil penelitian menunjukkan adanya hubungan yang kuat antara efisiensi sistem dan daya keluaran panel surya.

Tabel 4. 18 Perbandingan Nilai Rata – rata Pout dan Efisiensi dengan *Partial Shading* 50%.

Sudut	Pout Rooftop (W)	η Rooftop (%)	Pout Ground-mounted (W)	η Ground-mounted (%)
10°	8,83	10,11	9,88	15,83
20°	8,67	9,75	7,85	11,9
30°	7,36	7,45	7,55	8,92

Data menunjukkan bahwa konfigurasi dengan daya keluaran tertinggi juga menghasilkan efisiensi tertinggi. Sebaliknya, ketika daya keluaran menurun, efisiensi sistem juga mengalami penurunan. Fenomena ini menunjukkan bahwa semakin besar proporsi energi matahari yang berhasil dikonversi menjadi energi listrik, maka semakin tinggi pula efisiensi sistem yang diperoleh. Oleh karena itu, daya keluaran dapat digunakan sebagai indikator utama untuk menilai efektivitas pemanfaatan energi matahari oleh panel surya.

4.4.5 Analisis Kinerja Pencapaian Energi Harian terhadap PSH

Analisis kinerja energi dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem PLTS dalam mengonversi energi radiasi matahari menjadi energi listrik pada berbagai variasi sudut kemiringan dan lokasi pemasangan panel. Berdasarkan nilai PSH lokasi penelitian (4,8 jam). Potensi energi teoritis panel 40 Wp dihitung dengan Persamaan (2.6), Energi teoritis = $40 \text{ Wp} \times 4,8 \text{ jam} = 192 \text{ Wh/hari}$. Nilai ini menjadi acuan pencapaian (%) pada setiap konfigurasi.

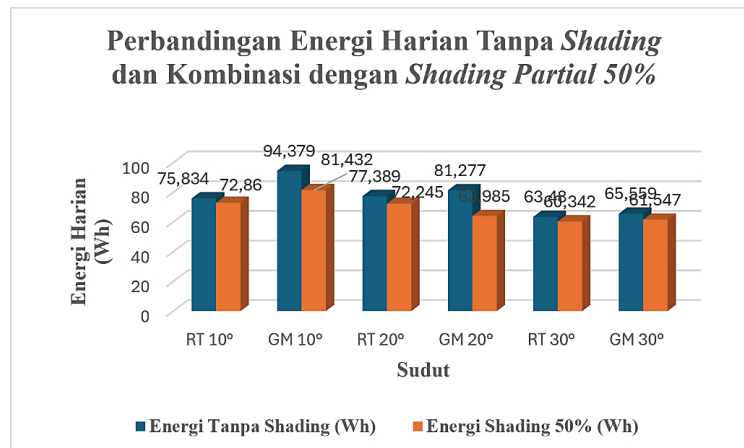
Tabel 4. 19 Kinerja Harian terhadap PSH Tanpa *Shading*

Lokasi & Sudut	Waktu	Energi Harian (E)	Nilai PSH (Jam)	Potensi Teoritis ($40 W_p \times PSH$)	Pencapaian terhadap PSH (%)
RT - 10°	08.00-16.00	75.834 Wh	4.8	192 Wh	39.50 %
GM - 10°	08.00-16.00	94.379 Wh	4.8	192 Wh	49.16 %
RT - 20°	08.00-16.00	77.389 Wh	4.8	192 Wh	40.31 %
GM - 20°	08.00-16.00	81.277 Wh	4.8	192 Wh	42.33 %
RT - 30°	08.00-16.00	63.480 Wh	4.8	192 Wh	33.06 %
GM - 30°	08.00-16.00	65.559 Wh	4.8	192 Wh	34.15 %

Tabel 4. 20 Kinerja Harian terhadap PSH dengan *Partial Shading* 50%.

Lokasi & Sudut	Waktu	Energi Harian (E)	Nilai PSH	Potensi Teoritis ($40 W_p \times PSH$)	Pencapaian terhadap PSH
RT - 10°	08.00–16.00	72,860 Wh	4,8	192 Wh	37,95%
GM - 10°	08.00–16.00	81,432 Wh	4,8	192 Wh	42,41%
RT - 20°	08.00–16.00	72,245 Wh	4,8	192 Wh	37,63%
GM - 20°	08.00–16.00	63,985 Wh	4,8	192 Wh	33,33%
RT - 30°	08.00–16.00	60,342 Wh	4,8	192 Wh	31,43%
GM - 30°	08.00–16.00	61,547 Wh	4,8	192 Wh	32,06%

Berdasarkan Tabel 4.19 dan Tabel 4.20 kinerja harian sistem PLTS menunjukkan perbedaan pada setiap variasi sudut kemiringan dan lokasi pemasangan panel dapat dilihat pada Grafik Perbandingan Energi Harian Tanpa *Shading* dan Kombinasi dengan *Partial Shading* berikut:



Gambar 4. 30 Grafik Perbandingan Energi Harian Tanpa *Shading* dan Kombinasi dengan *Partial Shading*

A. Analisis Sudut Kemiringan 10°

Pada kondisi tanpa *shading*, GM 10° menghasilkan energi harian terbesar (94,379 Wh, pencapaian PSH 49,16%), menjadikannya konfigurasi terbaik secara keseluruhan. Selisih dengan RT 10° sebesar 18,545 Wh menunjukkan bahwa faktor lokasi pemasangan memberikan kontribusi besar pada sudut optimal. Pada kondisi *shading* 50%, GM 10° tetap menjadi konfigurasi terbaik dengan energi 81,432 Wh pencapaian PSH 42,41%, mengalami penurunan 12,947 Wh.

Meskipun penurunan total GM 10° (12,947 Wh) lebih besar dari RT 10° (2,974 Wh), hal ini wajar karena basis energi GM 10° jauh lebih tinggi. Pada persentase penurunan, RT 10° justru lebih tahan *shading* (3,92%) dibandingkan GM 10° (13,72%). Artinya, sistem *Rooftop* sudut 10° lebih stabil secara relatif saat terjadi *shading*, meskipun energi totalnya tetap lebih rendah.

B. Analisis Sudut Kemiringan 20°

Pada kondisi tanpa *shading*, GM 20° dengan hasil energi sebesar 81,277 Wh. Namun pada kondisi *shading*, GM 20° justru turun menjadi 63,985 Wh mengalami penurunan terbesar yaitu 17,292 Wh. Sebaliknya RT 20° relatif stabil penurunan hanya sebesar 5,144 Wh.

Anomali ini menunjukkan bahwa distribusi bayangan pada sudut 20° memengaruhi GM jauh lebih besar daripada RT. Kemungkinan penyebabnya

adalah posisi matahari pada waktu pengujian GM 20° berinteraksi lebih buruk dengan posisi triplek *shading* (sisi atas panel), sehingga sel yang terhalang menerima lebih sedikit radiasi difus dan menghasilkan mismatch yang lebih parah. Hal ini menegaskan bahwa analisis *shading* tidak bisa hanya berdasarkan luas area dan posisi bayangan terhadap susunan sel juga menentukan besaran penurunan daya.

C. Analisis Sudut Kemiringan 30°

Pada sudut 30°, baik tanpa maupun dengan *shading*, seluruh konfigurasi mengalami kinerja terendah. GM 30° tanpa *shading* (65,559 Wh) dan dengan *shading* (61,547 Wh) menunjukkan penurunan sebesar 4,012 Wh, sedangkan RT 30° mengalami penurunan 3,138 Wh. Nilai penurunan persentase yang relatif kecil di sudut 30° bukan menandakan ketahanan *shading* yang baik, melainkan karena basis energi pada sudut 30° memang sudah rendah sehingga ruang untuk penurunan lebih kecil.

Penurunan energi dari kondisi tanpa *shading* dibandingkan dengan *shading* pada sudut 30° GM dan RT (4,012 Wh dan 3,138Wh) lebih kecil dibandingkan sudut 10° GM (12,947 Wh). Ini karena pada sudut 30°, arus dasar sel sudah lebih rendah akibat orientasi yang kurang optimal *mismatch* tambahan akibat *shading* tidak dapat memperburuk kondisi yang sudah hampir mencapai batas bawahnya secara proporsional.

D. Simpulan Komparatif Energi Harian terhadap PSH

Seluruh konfigurasi hanya mampu mencapai 31–49% dari potensi energi teoritis berdasarkan PSH 4,8 jam. Kesenjangan antara potensi teoritis (192 Wh) dan aktual disebabkan oleh tiga faktor utama: (1) variasi kondisi cuaca riil radiasi tidak selalu berada pada 1000 W/m² selama 4,8 jam penuh; (2) rugi-rugi sistem pada SCC, kabel, dan baterai; (3) efek *partial shading* dan temperatur lingkungan. Pencapaian terbaik GM 10° tanpa *shading* (49,16%) dan dengan *shading* (42,41%) menunjukkan bahwa konfigurasi ini paling efektif dalam mengkonversi potensi PSH menjadi energi nyata di antara semua variasi yang diuji.

4.4.6 Analisis Regresi Linear Berganda

Analisis regresi linear berganda dilakukan untuk mengetahui besar dan arah pengaruh kelima variabel bebas (sudut kemiringan, kondisi *shading*, konfigurasi pemasangan, intensitas radiasi matahari, dan temperatur lingkungan) secara simultan terhadap dua variabel terikat, yaitu daya keluaran (Pout) dan efisiensi sistem, sebagaimana dijelaskan pada subbab 3.4.6. Pengolahan data dilakukan menggunakan perangkat lunak IBM SPSS Statistics dengan metode Enter, sehingga seluruh variabel bebas dimasukkan secara bersamaan ke dalam model. Jumlah data yang dianalisis adalah 396 observasi hasil pengukuran ($N = 396$).

A. Model Regresi Daya Keluaran (Pout)

Hasil pengolahan data untuk variabel terikat Pout ditunjukkan pada Tabel 4.21 (ringkasan model dan ANOVA) dan Tabel 4.22 (koefisien regresi).

Tabel 4. 21 Ringkasan Model dan ANOVA Regresi Pout.

Parameter	Nilai
R	0,787
R Square (R^2)	0,620
Adjusted R Square	0,615
Std. Error of the Estimate	0,8544
F hitung (df = 5; 390)	127,276
Sig. (F)	< 0,001

Berdasarkan Tabel 4.21, diperoleh nilai $R = 0,787$ yang menunjukkan hubungan yang kuat antara kelima variabel bebas dengan Pout. Nilai R^2 sebesar 0,620 ($\text{Adjusted } R^2 = 0,615$) berarti kelima variabel bebas mampu menjelaskan 62,0% variasi daya keluaran, sedangkan sisanya sebesar 38,0% dijelaskan oleh faktor lain di luar model, seperti fluktuasi cuaca mendadak (tutupan awan) dan rugi-rugi sistem yang tidak dimodelkan secara eksplisit. Hasil uji-F menunjukkan $F_{\text{hitung}} = 127,276$ dengan signifikansi $< 0,001$ ($< 0,05$), sehingga H_0 ditolak dan dapat disimpulkan bahwa model regresi secara simultan signifikan dalam memprediksi Pout.

Tabel 4. 22 Koefisien Regresi Model Pout.

Variabel	B	Beta	t	Sig.
(Constant)	11,018	-	18,671	< 0,001
Sudut	-0,113	-0,668	-21,369	< 0,001
Shading 50%	-0,019	-0,352	-11,284	< 0,001
Konfigurasi (Ground=1, Roof=2)	-0,595	-0,216	-6,793	< 0,001
Intensitas radiasi matahari	0,000	0,064	1,982	0,048
Suhu	0,037	0,072	2,258	0,024

Berdasarkan Tabel 4.22, seluruh variabel bebas menunjukkan nilai signifikansi < 0,05 sehingga kelima variabel tersebut berpengaruh signifikan secara parsial terhadap Pout. Persamaan regresi yang terbentuk adalah:

$$\text{Pout} = 11,018 - 0,113(\text{Sudut}) - 0,019(\text{Shading}) - 0,595(\text{Konfigurasi}) + 0,000(\text{Intensitas}) + 0,037(\text{Suhu})$$

Ditinjau dari nilai koefisien Beta terstandarisasi, urutan variabel yang paling dominan memengaruhi Pout adalah sudut kemiringan (Beta = -0,668), diikuti oleh kondisi *shading* (Beta = -0,352), konfigurasi pemasangan (Beta = -0,216), suhu (Beta = 0,072), dan intensitas radiasi matahari (Beta = 0,064). Hasil ini secara kuantitatif menegaskan temuan kualitatif pada subbab 4.4.3 dan 4.4.4 bahwa sudut kemiringan merupakan faktor paling berpengaruh terhadap daya keluaran, jauh lebih dominan dibandingkan kondisi *shading* maupun lokasi pemasangan. Koefisien negatif pada variabel Konfigurasi (kode 1 = Ground-mounted, 2 = *Roof*) berarti peningkatan kode dari *Ground-mounted* menuju *Roof* menurunkan Pout, konsisten dengan hasil pengukuran yang menunjukkan *Ground-mounted* secara konsisten menghasilkan daya lebih tinggi dibandingkan *Roof*.

Koefisien intensitas radiasi matahari dan suhu bernilai positif meskipun pengaruhnya relatif kecil (Beta < 0,1). Nilai positif pada suhu perlu dimaknai secara hati-hati: koefisien ini menggambarkan pengaruh parsial suhu terhadap Pout setelah pengaruh sudut, *shading*, konfigurasi, dan radiasi dikendalikan (*ceteris paribus*), bukan pengaruh suhu secara berdiri sendiri. Secara aktual di lapangan, kenaikan suhu terjadi bersamaan dengan kenaikan radiasi matahari (kolinearitas antar variabel bebas), sehingga sebagian pengaruh negatif suhu terhadap tegangan

keluaran telah terserap oleh variabel intensitas radiasi dalam model. Pengaruh gabungan keduanya tetap konsisten dengan teori fotovoltaik bahwa daya keluaran meningkat seiring naiknya radiasi, namun dibatasi oleh efek penurunan tegangan akibat kenaikan temperatur sel.

B. Model Regresi Efisiensi Sistem

Hasil pengolahan data untuk variabel terikat efisiensi sistem ditunjukkan pada Tabel 4.23 (ringkasan model dan ANOVA) dan Tabel 4.26 (koefisien regresi).

Tabel 4. 23 Ringkasan Model dan ANOVA Regresi Efisiensi

Parameter	Nilai
R	0,489
R Square (R^2)	0,239
Adjusted R Square	0,229
Std. Error of the Estimate	11,3169
F hitung (df = 5; 390)	24,481
Sig. (F)	< 0,001

Nilai $R = 0,489$ menunjukkan hubungan yang sedang antara kelima variabel bebas dengan efisiensi sistem. Nilai R^2 sebesar 0,239 ($\text{Adjusted } R^2 = 0,229$) berarti model hanya mampu menjelaskan 23,9% variasi efisiensi, jauh lebih rendah dibandingkan model Pout (62,0%). Hal ini mengindikasikan bahwa efisiensi sistem PLTS dipengaruhi oleh faktor-faktor lain yang tidak seluruhnya tercakup dalam kelima variabel bebas, seperti karakteristik intrinsik sel surya, rugi-rugi pada Solar Charge Controller dan baterai, serta variasi kondisi lingkungan mikro yang tidak terukur secara langsung. Meskipun demikian, hasil uji-F menunjukkan F hitung = 24,481 dengan signifikansi < 0,001, sehingga model regresi tetap signifikan secara simultan dalam menjelaskan variasi efisiensi.

Tabel 4. 24 Koefisien Regresi Model Efisiensi.

Variabel	B	Beta	t	Sig.
(Constant)	56,031	-	7,169	< 0,001
Sudut	-0,320	-0,203	-4,591	< 0,001
Shading 50%	-0,029	-0,056	-1,267	0,206
Konfigurasi (Ground=1, Rooftop=2)	-1,772	-0,069	-1,529	0,127

Intensitas radiasi matahari	-0,010	-0,347	-7,546	< 0,001
Suhu	-0,823	-0,172	-3,798	< 0,001

Berbeda dengan model Pout, tidak seluruh variabel bebas berpengaruh signifikan terhadap efisiensi. Variabel kondisi *shading* (Sig. = 0,206) dan konfigurasi pemasangan (Sig. = 0,127) memiliki nilai signifikansi lebih besar dari 0,05, sehingga kedua variabel tersebut tidak berpengaruh signifikan secara parsial terhadap efisiensi ketika pengaruh variabel lain dikendalikan. Sebaliknya, variabel sudut kemiringan, intensitas radiasi matahari, dan suhu tetap signifikan (Sig. < 0,05). Persamaan regresi yang terbentuk adalah:

$$\text{Efisiensi} = 56,031 - 0,320 (\text{Sudut}) - 0,029 (\text{Shading}) - 1,772 (\text{Konfigurasi}) - 0,010 (\text{Intensitas}) - 0,823 (\text{Suhu})$$

Berdasarkan koefisien Beta, variabel yang paling dominan memengaruhi efisiensi adalah intensitas radiasi matahari (Beta = -0,347), diikuti oleh sudut kemiringan (Beta = -0,203) dan suhu (Beta = -0,172). Seluruh koefisien pada variabel signifikan bernilai negatif, yang berarti semakin tinggi intensitas radiasi, sudut kemiringan, dan suhu lingkungan, semakin rendah efisiensi sistem. Temuan ini konsisten dengan pembahasan pada subbab 4.4.3 mengenai anomali efisiensi pada radiasi tinggi (Gambar 4.20), di mana kenaikan radiasi yang tidak diimbangi pendinginan memadai justru menurunkan efisiensi akibat kenaikan temperatur panel. Tidak signifikannya variabel *shading* dan konfigurasi pemasangan terhadap efisiensi juga sejalan dengan hasil pada Tabel 4.17, yang menunjukkan bahwa selisih efisiensi antara *Rooftop* dan *Ground-mounted* mengecil seiring bertambahnya sudut kemiringan (5,72% → 2,15% → 1,47%), sehingga secara statistik pengaruh kedua variabel tersebut terhadap efisiensi menjadi tidak konsisten dan tidak signifikan ketika dianalisis bersama variabel lain.

C. Sintesis Hasil Analisis Regresi

Secara keseluruhan, hasil analisis regresi linear berganda memperkuat temuan deskriptif pada subbab 4.4.3 hingga 4.4.5 dengan pendekatan kuantitatif. Model Pout memiliki daya jelas ($R^2 = 0,620$) yang jauh lebih tinggi dibandingkan model efisiensi ($R^2 = 0,239$), yang menunjukkan bahwa daya keluaran lebih

konsisten dijelaskan oleh kombinasi kelima variabel bebas, sedangkan efisiensi lebih dipengaruhi oleh faktor lingkungan (intensitas radiasi dan suhu) dibandingkan oleh faktor konfigurasi dan *shading*. Pada kedua model, sudut kemiringan konsisten menjadi salah satu variabel dengan pengaruh signifikan, sehingga memperkuat kesimpulan bahwa sudut kemiringan merupakan parameter desain paling krusial pada sistem PLTS 40 Wp di lokasi penelitian ini. Hasil uji hipotesis (uji-F dan uji-t) pada kedua model menolak H_0 pada taraf signifikansi 5%, yang berarti variabel-variabel yang diuji pada penelitian ini terbukti secara statistik memberikan pengaruh terhadap kinerja sistem PLTS, sejalan dengan hipotesis alternatif (H_1) yang diajukan pada subbab 3.4.6.

4.4.6 Analisis Perbandingan Hasil Pengukuran Langsung dengan Simulasi

PVsyst

Validasi terhadap simulasi *PVsyst* dilakukan dengan membandingkan dua parameter keluaran yaitu *Energy Load* (kebutuhan energi beban), dan *Energy User* (energi yang benar-benar digunakan oleh beban). Data disajikan pada Tabel 4.25.

Tabel 4. 25 Perbandingan Pengukuran Langsung dengan Simulasi *PVsyst*

Sudut	Parameter	Pengukuran Langsung		<i>PVsyst</i>
		<i>Rooftop</i>	<i>Ground</i>	
10°	<i>Energy Load</i>	2.28	2.77	5.70
20°		2.33	2.42	5.70
30°		1.92	1.96	5.70
10°	<i>Energy User</i>	1.93	2.36	3.99
20°		1.98	2.06	4.02
30°		1.63	1.67	3.86

Berdasarkan Tabel 4.25, hasil pengukuran langsung menunjukkan adanya perbedaan terhadap hasil simulasi *PVsyst* pada setiap parameter dan variasi sudut panel.

a) Perbandingan *Energy Load*

Pada sudut 10°, nilai *Rooftop* sebesar 2,28 kWh dan *Ground-mounted* sebesar 2,77 kWh, keduanya lebih rendah dari simulasi. Pada sudut 20°, nilai *Rooftop* 2,33 kWh dan *Ground-mounted* 2,42 kWh. Pada sudut 30°, nilai *Rooftop* 1,92 kWh dan

Ground-mounted 1,96 kWh, *Energy Load* pada sudut 10°, 20°, 30° jauh lebih kecil dari hasil *PVsyst*, nilai 5,70 kWh bersifat konstan di semua sudut karena simulasi menggunakan beban tetap berdasarkan kapasitas sistem yang dimodelkan, bukan kondisi lapangan aktual. Dari sisi pengukuran langsung, beban yang digunakan adalah lampu LED 20 W dengan konsumsi energi riil yang jauh lebih kecil dari asumsi kapasitas sistem dalam simulasi. Dengan demikian, perbedaan ini bukan disebabkan oleh kemiringan panel, melainkan oleh perbedaan besar beban yang diasumsikan antara simulasi dan kondisi lapangan.

b) Perbandingan *Energy User*

Parameter *Energy User* menunjukkan energi yang benar-benar dapat dimanfaatkan oleh pengguna setelah memperhitungkan efisiensi sistem penyimpanan energi. Mengingat baterai yang digunakan adalah Tianneng seri TNE jenis VRLA Lead Acid, maka efisiensi round-trip baterai diambil sebesar 0.85 sesuai rentang 60% - 90% pada IEEE Std 485-2020 dan nilai default 80% - 85% pada simulasi *PVsyst*. Pada penelitian ini, nilai *Energy User* dihitung menggunakan efisiensi round-trip baterai (*Round Trip Efficiency/RTE*) sebesar 85%, sehingga diperoleh persamaan:

$$E_{user} = E_{load} \times 0,85$$

Sebagai contoh, pada konfigurasi *Rooftop* sudut 10° diperoleh nilai *Energy Load* sebesar 2,28 kWh, sehingga:

$$E_{user} = 2,28 \times 0,85 = 1,93 \text{ kWh}$$

Perhitungan yang sama diterapkan pada seluruh konfigurasi pengujian.

Pada parameter *Energy User*, hasil simulasi *PVsyst* selalu lebih tinggi dibandingkan hasil pengukuran langsung. Pada sudut 10°, *Rooftop* menghasilkan 1,93 kWh dan *Ground-mounted* 2,36 kWh, sedangkan simulasi menunjukkan 3,99 kWh. Pada sudut 20°, *Rooftop* menghasilkan 1,98 kWh dan *Ground-mounted* 2,06 kWh, sementara simulasi sebesar 4,02 kWh. Pada sudut 30°, *Rooftop* menghasilkan 1,63 kWh dan *Ground-mounted* 1,67 kWh, sedangkan simulasi sebesar 3,863 kWh.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa energi yang benar-benar dimanfaatkan pengguna pada kondisi lapangan lebih kecil dibandingkan hasil simulasi *PVsyst*. Perbedaan ini dapat dipengaruhi oleh kondisi operasi aktual sistem, variasi cuaca,

rugi-rugi sistem, serta kondisi pengujian yang tidak sepenuhnya sama dengan asumsi pada simulasi.

Berdasarkan hasil perbandingan antara pengukuran langsung dan simulasi *PVsyst* dapat disimpulkan bahwa:

- Nilai *Energy Load* hasil pengukuran lebih rendah dibandingkan hasil simulasi *PVsyst* pada seluruh variasi sudut kemiringan.
- Nilai *Energy User* hasil pengukuran juga lebih rendah dibandingkan hasil simulasi karena adanya perbedaan asumsi dan rugi-rugi sistem yang diperhitungkan.
- Sistem *Ground-mounted* menghasilkan nilai *Energy Load* dan *Energy User* yang lebih tinggi dibandingkan *Rooftop* pada seluruh sudut pengujian.
- Simulasi *PVsyst* mampu menunjukkan tren performa sistem, namun nilai yang diperoleh masih berbeda dengan kondisi aktual di lapangan akibat pengaruh faktor lingkungan dan karakteristik operasi sistem yang sebenarnya.

4.4.7 Hasil Penelitian terhadap Teori dan Penelitian Terdahulu

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konfigurasi pemasangan, sudut kemiringan panel, dan kondisi *shading* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kinerja sistem PLTS 40 Wp yang diuji. Berdasarkan hasil pengukuran, konfigurasi *Ground-mounted* pada sudut kemiringan 10° menghasilkan performa terbaik dibandingkan konfigurasi lainnya, baik ditinjau dari daya keluaran, efisiensi sistem, maupun energi harian yang dihasilkan. Sebaliknya, peningkatan sudut kemiringan hingga 30° cenderung menyebabkan penurunan daya dan energi yang dihasilkan.

Temuan tersebut menunjukkan bahwa pada lokasi penelitian di Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia, sudut kemiringan yang lebih rendah lebih mampu menangkap radiasi matahari secara optimal. Kondisi ini mengindikasikan bahwa lintasan matahari pada wilayah Jakarta yang berada di daerah tropis lebih sesuai dengan orientasi panel pada sudut kemiringan rendah dibandingkan sudut yang lebih besar. Dengan demikian, peningkatan sudut kemiringan tidak selalu menghasilkan peningkatan energi, melainkan harus disesuaikan dengan karakteristik geografis lokasi pemasangan.

Fenomena tersebut terjadi karena sudut kemiringan mempengaruhi besar kecilnya radiasi efektif yang diterima permukaan panel surya. Semakin dekat posisi panel terhadap arah datang radiasi matahari, maka semakin besar energi matahari yang dapat diserap dan dikonversi menjadi energi listrik. Selain itu, konfigurasi *Ground-mounted* memiliki sirkulasi udara yang lebih baik dibandingkan *Rooftop* sehingga temperatur operasi panel cenderung lebih rendah. Kondisi ini membantu mengurangi rugi-rugi termal yang umumnya menyebabkan penurunan tegangan dan efisiensi modul fotovoltaik.

Sesuai dengan teori yang telah dijelaskan pada Bab II mengenai pengaruh sudut kemiringan terhadap penerimaan radiasi matahari. Menurut teori fotovoltaik, radiasi efektif yang diterima panel dipengaruhi oleh sudut datang sinar matahari terhadap permukaan panel. Semakin kecil sudut datang radiasi terhadap garis normal panel, maka semakin besar energi yang diterima panel. Selain itu, teori mengenai temperatur modul juga menjelaskan bahwa peningkatan temperatur operasi dapat menyebabkan penurunan tegangan keluaran dan efisiensi sistem, sehingga sistem dengan pendinginan alami yang lebih baik cenderung memiliki performa yang lebih tinggi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sudut kemiringan 10° menghasilkan performa terbaik dibandingkan sudut 20° dan 30° . Hal ini menunjukkan bahwa sudut yang lebih rendah lebih sesuai dengan kondisi radiasi matahari di lokasi penelitian sehingga mampu menghasilkan daya dan energi yang lebih tinggi. Kondisi tersebut terjadi karena penerimaan radiasi matahari pada permukaan panel menjadi lebih optimal ketika sudut kemiringan mendekati lintasan matahari di wilayah tropis. Temuan ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa sudut kemiringan optimum di Indonesia umumnya berada pada rentang 0° – 20° . Hasil penelitian ini juga sejalan dengan penelitian Sugiono dkk. (2023) [12] yang memperoleh sudut optimum sebesar 10° dan Zheng dkk. (2025) [14] dengan sudut optimum 20° . Meskipun terdapat perbedaan nilai optimum, kedua penelitian menunjukkan bahwa sudut kemiringan rendah lebih efektif dalam meningkatkan kinerja sistem PLTS.

Penelitian ini juga menunjukkan bahwa keberadaan *partial shading* 50% menyebabkan penurunan arus, daya keluaran, efisiensi, dan energi harian pada seluruh konfigurasi pengujian. Penurunan tersebut terlihat baik pada sistem *Rooftop* maupun *Ground-mounted*, meskipun besarnya penurunan berbeda pada setiap sudut kemiringan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa bayangan parsial merupakan salah satu faktor yang sangat mempengaruhi performa sistem PLTS. Meskipun hanya sebagian permukaan panel yang tertutup bayangan, daya keluaran yang dihasilkan mengalami penurunan yang cukup besar. Hal ini membuktikan bahwa kehilangan energi akibat *shading* tidak berbanding lurus terhadap luas area yang tertutup, melainkan dipengaruhi oleh karakteristik rangkaian sel fotovoltaik.

Penurunan performa tersebut terjadi karena adanya fenomena *mismatch current* pada rangkaian sel surya. Sel yang terkena bayangan menghasilkan arus yang lebih rendah dibandingkan sel yang menerima radiasi penuh. Karena sel-sel dalam modul tersusun secara seri, maka arus total sistem akan mengikuti arus terkecil yang dihasilkan. Akibatnya, daya keluaran sistem mengalami penurunan meskipun sebagian besar permukaan panel masih menerima sinar matahari.

Temuan ini sesuai dengan teori *shading effect* yang menyatakan bahwa *partial shading* dapat menyebabkan ketidaksesuaian arus antar sel dan menurunkan daya keluaran sistem secara signifikan. Hasil penelitian ini juga mendukung penelitian Abdulridha dan Tuama (2021) [10] yang menyimpulkan bahwa *partial shading* merupakan salah satu penyebab utama penurunan performa modul fotovoltaik akibat efek mismatch antar sel. Selain itu, hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Muchlishah dkk. (2022) [11] yang menunjukkan bahwa keberadaan *shading* menyebabkan penurunan daya keluaran sistem PV secara signifikan akibat ketidakseimbangan distribusi arus pada rangkaian modul.

Berdasarkan analisis energi harian terhadap nilai *Peak Sun Hour* (PSH), konfigurasi *Ground-mounted* sudut 10° menghasilkan pencapaian energi tertinggi dibandingkan konfigurasi lainnya. Hasil ini menunjukkan bahwa konfigurasi tersebut memiliki kemampuan paling baik dalam memanfaatkan potensi energi surya yang tersedia pada lokasi penelitian. Tingginya pencapaian energi harian tersebut menunjukkan bahwa kombinasi antara sudut kemiringan yang sesuai dan

kondisi pemasangan yang mendukung mampu meningkatkan efektivitas pemanfaatan radiasi matahari. Dengan kata lain, semakin optimal penerimaan radiasi matahari sepanjang waktu PSH, maka semakin besar energi yang dapat dihasilkan sistem PLTS dalam satu hari. Hasil ini sesuai dengan konsep *Peak Sun Hour* yang menyatakan bahwa produksi energi harian sangat dipengaruhi oleh kemampuan sistem dalam memanfaatkan waktu radiasi maksimum sepanjang hari. Sistem yang memiliki orientasi dan kondisi operasi yang lebih baik akan menghasilkan energi yang lebih mendekati potensi teoritis yang tersedia.

Pada tahap validasi, hasil simulasi *PVsyst* menunjukkan tren yang sama dengan hasil pengukuran lapangan, yaitu konfigurasi *Ground-mounted* sudut 10° menghasilkan performa terbaik. Meskipun demikian, nilai energi yang dihasilkan simulasi cenderung lebih tinggi dibandingkan hasil pengukuran langsung. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa simulasi mampu menggambarkan kecenderungan performa sistem secara umum, namun belum sepenuhnya merepresentasikan kondisi lapangan yang sebenarnya.

Temuan ini sejalan dengan penelitian Hermawan dan Nurpulaela (2024) [13] yang menyatakan bahwa hasil simulasi *PVsyst* umumnya memberikan nilai produksi energi yang lebih tinggi dibandingkan kondisi aktual di lapangan karena adanya berbagai faktor lingkungan dan rugi-rugi sistem yang tidak seluruhnya dimodelkan dalam perangkat lunak simulasi.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini berhasil menjawab gap penelitian yang telah diidentifikasi pada Bab I. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang umumnya hanya membahas pengaruh *shading* atau sudut kemiringan secara terpisah, penelitian ini mengintegrasikan analisis pengaruh *partial shading* 50%, variasi sudut kemiringan, perbandingan sistem *Rooftop* dan *Ground-mounted*, evaluasi berdasarkan nilai *Peak Sun Hour* (PSH), serta validasi menggunakan simulasi *PVsyst* dalam satu penelitian yang komprehensif. Oleh karena itu, penelitian ini memberikan kontribusi teoritis dalam pengembangan kajian performa sistem fotovoltaik serta memberikan rekomendasi praktis bagi perancangan instalasi PLTS pada lingkungan perkotaan, khususnya di Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia.

4.5 Validasi

Validasi dilakukan untuk memastikan bahwa hasil analisis yang diperoleh dari pengukuran lapangan memiliki kesesuaian dengan tujuan penelitian serta mendukung gap penelitian yang telah diidentifikasi pada Bab 1. Berikut merangkum validasi penelitian terhadap seluruh tujuan yang telah ditetapkan:

Tabel 4. 26 Validasi

No.	Tujuan Penelitian	Temuan Utama	Metrik Kunci	Status
1	Menganalisis pengaruh partial <i>shading</i> 50% terhadap kinerja PLTS pada konfigurasi <i>Rooftop</i> dan Ground-mounted	Partial <i>shading</i> 50% menurunkan energi harian pada semua konfigurasi. Penurunan terbesar: GM 10° (12,947 Wh). RT 10° paling tahan <i>shading</i> (turun 3,92%)	GM 10° tanpa <i>shading</i> : 94,379 Wh; dengan <i>shading</i> : 81,432 Wh (turun 13,72%). RT 10° tanpa <i>shading</i> : 75,834 Wh; dengan <i>shading</i> : 72,860 Wh (turun 3,92%)	TERCAPAI
2	Mengevaluasi pengaruh sudut kemiringan panel (10°, 20°, 30°) terhadap daya keluaran dan energi harian	Sudut 10° menghasilkan performa terbaik pada kedua konfigurasi. Peningkatan sudut dari 10° ke 30° menyebabkan penurunan daya dan energi secara konsisten	GM 10°: Pout=11,38 W, E=94,379 Wh, eff=49,16%. GM 20°: Pout=9,72 W, E=81,277 Wh. GM 30°: Pout=7,99 W, E=65,559 Wh	TERCAPAI
3	Menganalisis pengaruh kombinasi partial <i>shading</i> dan variasi sudut kemiringan terhadap produksi energi berdasarkan PSH	Kombinasi <i>shading</i> + sudut besar memperburuk performa. Semua konfigurasi hanya mencapai 31–49% dari potensi teoritis PSH 4,8 jam (192 Wh/hari)	Pencapaian PSH tertinggi: GM 10° tanpa <i>shading</i> 49,16%. Terendah: RT 30° dengan <i>shading</i> 31,43%. Energi teoritis = 192 Wh/hari	TERCAPAI
4	Membandingkan hasil simulasi <i>PVsyst</i> dengan	Tren performa <i>PVsyst</i> konsisten dengan pengukuran lapangan.	Energy Load <i>PVsyst</i> : 5,70 kWh (konstan). Pengukuran: 1,92–2,77	TERCAPAI

No.	Tujuan Penelitian	Temuan Utama	Metrik Kunci	Status
	hasil pengukuran langsung di lapangan	Nilai simulasi lebih tinggi karena asumsi kondisi ideal	kWh. Energy User <i>PVsyst</i> : 3,86–4,02 kWh. Pengukuran: 1,63–2,36 kWh	
5	Menentukan konfigurasi PLTS paling optimal berdasarkan seluruh parameter yang diuji	<i>Ground-mounted</i> sudut 10° adalah konfigurasi paling optimal: energi tertinggi, efisiensi terbaik, paling tahan terhadap partial <i>shading</i>	Tanpa <i>shading</i> : E=94,379 Wh, PSH=49,16%. Dengan <i>shading</i> 50%: E=81,432 Wh, PSH=42,41%. Efisiensi tertinggi: 16,90% (tanpa <i>shading</i>)	TERCAPAI

