ANALISIS KINERJA MODUL SURYA *BIFACIAL* TERHADAP VARIASI KETINGGIAN DAN PERMUKAAN *ROOFTOP*

SKRIPSI

Skripsi Ini Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana

Disusun Oleh:

KALVIN SAPUTRA

092022090152

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER

UNIVERSITAS GLOBAL JAKARTA

2026

ANALISIS KINERJA MODUL SURYA *BIFACIAL* TERHADAP VARIASI KETINGGIAN DAN PERMUKAAN *ROOFTOP*

Disusun Oleh:

KALVIN SAPUTRA

092022090152

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER

UNIVERSITAS GLOBAL JAKARTA

2026

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi ini dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2023, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Depok, 27 Juli 2026

Mahasiswa,



Kalvin Saputra

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama	: Kalvin Saputra
NIM	: 092022090152
Program Studi	: Teknik Elektro
Judul Skripsi	: Analisis Kinerja Modul Surya *Bifacial* Terhadap Variasi Ketinggian dan Permukaan *Rooftop*

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Pembimbing dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Global Jakarta.

DEWAN PEMBIMBING

Pembimbing 1 : Brainvendra Widi Dionova, S.S.T., M.SC. Eng. ( )

Pembimbing 2 : Ma'arif Hasan, S.T., M.T. ( )

Ditetapkan di: Depok
Tanggal: 19 Juni 2026

MENGETAHUI

Ketua Program Studi Teknik Elektro

Brainvendra Widi Dionova, S.S.T., M.SC. Eng.

NIK. S092020080004

HALAMAN PENGESAHAN DEWAN PENGUJI

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama	: Kalvin Saputra
NIM	: 092022090152
Program Studi	: Teknik Elektro
Judul Skripsi	: Analisis Kinerja Modul Surya *Bifacial* Terhadap Variasi Ketinggian dan Permukaan *Rooftop*

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Global Jakarta.

DEWAN PENGUJI

Penguji 1	: Ir. Mauludi Manfaluthy, S.T., M.T., I.P.U.	( )
Penguji 2	: Arisa Olivia Putri, S.ST., M.IT.	
Penguji 3	: Sinka Wilyanti, S.T., M.T.	

Ditetapkan di: Depok
Tanggal: 27 Juli 2026

MENGETAHUI

Ketua Program Studi Teknik Elektro

Brainvendra Widi Dionova, S.ST., M.SC. Eng.

NIK. S092020080004

Form I2 – Lembar Monitoring Revisi Sidang Skripsi	Revisi ke: 1 Tanggal revisi: 13 Agustus 2020

LEMBAR MONITORING REVISI SIDANG SKRIPSI

Nama : KALVIN SAPUTRA
NIM : 092022090152
Prodi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : **Analisis Kinerja Modul Surya *Bifacial* Terhadap Variasi Ketinggian dan Permukaan *Rooftop***
Dosen Penguji I : Ir. Mauludi Manfaluthy, S.T., M.T., I.P.U.

No.	Isi Komentar/ Saran	Revisi/ Jawaban Penulis	Paraf Penguji/ Tanggal Persetujuan
1	Perhitungan CAPEX: untuk PV & inverter harus di state Apakah termasuk import duty atau tidak? dan nilainya, sptnya tidak masuk.	Telah ditambahkan pernyataan mengenai dasar perhitungan CAPEX pada Subbab 4.3.1 halaman 58.	
2	Perbandingan antara hasil penelitian anda dengan spec. Tabel 4.2 di dalam analisa	Telah ditambahkan pembahasan mengenai perbandingan hasil pengujian dengan spesifikasi pabrikan pada halaman 32.	
3	Dibuatkan detail wiring diagram dari sensor s/d datalogger.	Telah ditambahkan *wiring diagram* detail pada Subbab 3.4 halaman 20.	
4	Fungsi weather station pada penelitian, ini apa cukup signifikan digunakan	Telah ditambahkan pembahasan mengenai fungsi *weather station* pada Subbab 4.1 halaman 32.	
5	Sensor suhu yg digunakan harap di update, pakai PT atau thermogun.	Telah diperbarui penjelasan mengenai sensor suhu yang digunakan pada Subbab 3.6.1 halaman 25.	

Form I2 – Lembar Monitoring Revisi Sidang Skripsi	Revisi ke: 1
	Tanggal revisi: 13 Agustus 2020

Depok, 27 Juli 2026
Mengetahui,
Ketua Prodi Tenik Elektro

Brainvendra Widi Dionova, S.ST., M.SC. Eng.
NIK. S092020080004

Form I2 – Lembar Monitoring Revisi Sidang Skripsi	Revisi ke: 1 Tanggal revisi: 13 Agustus 2020

LEMBAR MONITORING REVISI SIDANG SKRIPSI

Nama : KALVIN SAPUTRA
NIM : 092022090152
Prodi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : **Analisis Kinerja Modul Surya *Bifacial* Terhadap Variasi Ketinggian dan Permukaan *Rooftop***
Dosen Penguji II : Arisa Olivia Putri, S.ST., M.IT.

No.	Isi Komentar/ Saran	Revisi/ Jawaban Penulis	Paraf Penguji/ Tanggal Persetujuan
1	Batasan masalah terkait weather station bisa ditambahkan.	Batasan masalah pada penelitian ini telah mencakup ruang lingkup penggunaan *weather station*. Pada batasan masalah poin 3 telah dijelaskan bahwa parameter cuaca seperti kecepatan angin, kelembapan udara, arah angin, dan curah hujan tidak menjadi variabel analisis, sehingga penggunaan *weather station* dalam penelitian ini telah dibatasi pada parameter suhu lingkungan dan iradiasi matahari.	
2	Tambahkan pembahasan di bab 4 terkait: • konfigurasi terbaik, solusi yg ditawarkan untuk menanggulangi kekurangannya. • dari konfigurasi yang di pilih dibahas perbandingan dengan	Telah ditambahkan pembahasan mengenai konfigurasi terbaik, solusi yang ditawarkan, serta perbandingan dengan penelitian terdahulu pada Subbab 4.1.3 halaman 46–47.	

Form I2 – Lembar Monitoring Revisi Sidang Skripsi	Revisi ke: 1 Tanggal revisi: 13 Agustus 2020

	tinjauan yg berkaitan, perbedaannya dari mana.		
3	Tidak ada tabel suhu permukaan *(Apakah yg mempengaruhi kinerja suhu permukaan atau suhu panel?)*	Telah ditambahkan tabel suhu permukaan pada Subbab 4.1.1.1 dan 4.1.1.2, serta tabel perbandingan pada Tabel 4.10 di Subbab 4.4.4 beserta pembahasan mengenai faktor yang memengaruhi suhu permukaan atau suhu panel pada halaman 55–56.	
4	degradasi alat bisa dimasukkan di saran.	Telah ditambahkan saran mengenai degradasi panel surya pada Subbab 5.2 halaman 63.	

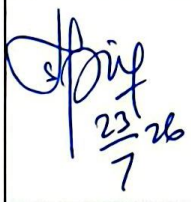
Depok, 27 Juli 2026
Mengetahui,
Ketua Prodi Tenik Elektro

Brainvendra Widi Dionova, S.ST., M.SC. Eng.
NIK. S092020080004

Form I2 – Lembar Monitoring Revisi Sidang Skripsi	Revisi ke: 1 Tanggal revisi: 13 Agustus 2020

LEMBAR MONITORING REVISI SIDANG SKRIPSI

Nama : KALVIN SAPUTRA
NIM : 092022090152
Prodi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : **Analisis Kinerja Modul Surya *Bifacial* Terhadap Variasi Ketinggian dan Permukaan *Rooftop***
Dosen Penguji II : Sinka Wilyanti, S.T., M.T.

No.	Isi Komentar/ Saran	Revisi/ Jawaban Penulis	Paraf Penguji/ Tanggal Persetujuan
1	Cek penulisan hal 16, 2, 11, 23	Telah dilakukan perbaikan penulisan pada Subbab 2.11.2.3 halaman 16 serta halaman terkait.	
2	Penulisan istilah asing belum dibuat miring.	Telah dilakukan perbaikan penulisan istilah asing sesuai kaidah penulisan ilmiah.	
3	Cek penulisan iradiasi / iradiasi / irradiasi / iradiasi.	Telah dilakukan perbaikan penulisan istilah "iradiasi" secara konsisten di seluruh naskah.	
4	Tabel 4.2 typo Hal 31 maksudnya Tabel 4.2 atau 4.3	Telah dilakukan perbaikan pada Tabel 4.2 serta koreksi penomoran tabel pada halaman 31–32.	
5	Hal 35 maksudnya 4.10 or 4.9 Hal 49 maksudnya 4.9 or 4.8 Hal 46 maksudnya 4.9 or 4.3 Hal 47 maksudnya 7.9 or 4.3 Hal 46 maksudnya 4.? Hal 50 maksudnya 4.8 Hal 55 maksudnya 4.10	Telah dilakukan perbaikan penomoran tabel dan rujukan tabel pada halaman terkait.	

Form I2 – Lembar Monitoring Revisi Sidang Skripsi	Revisi ke: 1
	Tanggal revisi: 13 Agustus 2020

Depok, 27 Juli2026
Mengetahui,
Ketua Prodi Tenik Elektro

Brainvendra Widi Dionova, S.ST., M.SC. Eng.
NIK. S092020080004

Form B2 – Lembar Konsultasi Skripsi	Revisi ke: 3 Tanggal revisi: 01 Oktober 2024

LEMBAR KONSULTASI SKRIPSI

Nama : KALVIN SAPUTRA
NIM : 092022090152
Semester/Prodi : Delapan/ Teknik Elektro
Judul Skripsi : Analisis Kinerja Modul Surya *Bifacial* Terhadap Variasi Ketinggian dan Permukaan *Rooftop*
Dosem Pembimbing I : Brainvendra Widi Dionova, S.S.T., M.SC. Eng.

No.	Tanggal	Uraian Kegiatan yang Dilakukan	Paraf Dosen
1	19 Januari 2026	Konsultasi mengenai perancangan teknis penelitian, penentuan variabel penelitian, metode pengujian, serta penyusunan tahapan pelaksanaan penelitian.	
2	09 Febuari 2026	Pembagunan hasil perancangan sistem penelitian, pembahasan kesiapan peralatan dan instrumen pengukuran, serta penentuan jadwal pengujian.	
3	16 Maret 2026	Pembahasan hasil pengujian yang telah diperoleh, pengolahan data awal, serta evaluasi kinerja sistem berdasarkan parameter penelitian.	
4	13 April 2026	Konsultasi mengenai penyusunan manuskrip skripsi, pembahasan hasil penelitian, serta arahan terkait penyusunan artikel ilmiah.	
5	08 Juni 2026	Pembahasan hasil akhir penelitian, penyempurnaan naskah skripsi, dan persiapan materi presentasi untuk sidang skripsi.	

* Minimal 4 kali pertemuan

Depok, 19 Juni 2026
Mengetahui,
Ketua Prodi Tenik Elektro

Brainvendra Widi Dionova, S.S.T., M.SC. Eng.
(NIK. S092020080004)

Form B2 – Lembar Konsultasi Skripsi	Revisi ke: 3
	Tanggal revisi: 01 Oktober 2024

LEMBAR KONSULTASI SKRIPSI

Nama	:	KALVIN SAPUTRA
NIM	:	092022090152
Semester/Prodi	:	Delapan/ Teknik Elektro
Judul Skripsi	:	Analisis Kinerja Modul Surya *Bifacial* Terhadap Variasi Ketinggian dan Permukaan *Rooftop*
Dosem Pembimbing II	:	Ma'arif Hasan, S.T., M.T.

No.	Tanggal	Uraian Kegiatan yang Dilakukan	Paraf Dosen
1	21 Januari 2026	Konsultasi terkait desain penelitian, kebutuhan peralatan pengujian, metode pengambilan data, serta persiapan pelaksanaan penelitian.	
2	05 Febuari 2026	Pembahasan proses pembangunan sistem, instalasi peralatan penelitian, konfigurasi instrumen pengukuran, dan verifikasi kesiapan sistem.	
3	13 Maret 2026	Konsultasi mengenai pengolahan data hasil pengukuran, analisis kinerja sistem, serta interpretasi hasil yang diperoleh selama pengujian.	
4	16 April 2026	Pemaparan perkembangan penulisan skripsi, pembahasan hasil dan pembahasan penelitian, serta perbaikan substansi naskah.	
5	08 Juni 2026	Pemaparan hasil akhir penelitian, evaluasi keseluruhan isi skripsi, serta pembahasan persiapan pelaksanaan sidang skripsi.	

* Minimal 4 kali pertemuan

Depok, 19 Juni 2026
Mengetahui,
Ketua Prodi Tenik Elektro

Brainvendra Widi Dionova, S.S.T., M.SC. Eng.
(NIK. S092020080004)

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulisan skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Global Jakarta. Penulis menyadari bahwa terselesaikannya skripsi ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis dengan tulus menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Mizar dan Ibu Lasmaini, selaku orang tua penulis, yang senantiasa memberikan doa, semangat, kasih sayang, serta dukungan moral dan material tanpa henti, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Ucapan terima kasih juga disampaikan saudara Ratih Pela Marianti S.
2. Farm dan Mirlan Septiawan atas motivasi dan dukungan yang diberikan.
3. Bapak Brainvendra Widi Dionova, S.ST., M.Sc.Eng., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Global Jakarta dan dosen pembimbing pertama, atas bimbingan, arahan, serta waktu berharga yang telah diberikan selama proses penelitian dan penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Ma'arif Hasan, S.T., M.T., selaku pembimbing kedua dari Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), atas bimbingan, arahan, dan dukungan yang membantu dalam pelaksanaan penelitian hingga penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Dr. Ing. Drs. Oo Abdul Rosyid, M.Sc., selaku Koordinator Kelompok Riset Energi Surya Fotovoltaik di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), atas dukungan, arahan, serta kesempatan yang telah diberikan kepada penulis untuk melaksanakan penelitian ini.
6. Seluruh dosen Program Studi Teknik Elektro Universitas Global Jakarta serta rekan-rekan mahasiswa, atas bantuan, dukungan, dan semangat yang diberikan kepada penulis selama proses penelitian dan penyusunan skripsi ini.

Demikian skripsi ini disusun. Akhir kata, penulis berharap semoga Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu, serta semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di masa mendatang.

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Global Jakarta, saya yang bertanda tangan

Nama : Kalvin Saputra

NIM : 092022090152

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Analisis Kinerja Modul Surya *Bifacial* Terhadap Variasi Ketinggian dan Permukaan *Rooftop*

di bawah ini:

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Global Jakarta **Hak Bebas Royalti Non-eksklusif** (Non-exclusive Royalty Free Right) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Analisis Kinerja Modul Surya *Bifacial* Terhadap Variasi Ketinggian dan Permukaan *Rooftop*

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Non-eksklusif ini Universitas Global Jakarta berhak menyimpan, mengalih-media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal : 27 Juli 2026

Yang menyatakan



Kalvin Saputra

ABSTRAK

Peningkatan pemanfaatan sistem photovoltaic (PV) pada sektor bangunan mendorong perlunya kajian mengenai pengaruh karakteristik permukaan *rooftop* dan variasi ketinggian pemasangan terhadap kinerja modul PV bifacial. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh kedua faktor tersebut terhadap kinerja teknis, karakteristik termal, dan aspek ekonomi. Pengujian dilakukan secara eksperimental menggunakan modul PV bifacial 640 Wp yang dipasang pada *rooftop* beton dan galvalum dengan variasi ketinggian 70 cm, 50 cm, dan 30 cm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kinerja optimum pada *rooftop* beton diperoleh pada ketinggian 30 cm dengan daya rata-rata 164,55 W, PR 0,70, efisiensi 17,04%, ηT 22,27%, dan CF 10,71%, sedangkan pada *rooftop* galvalum diperoleh pada ketinggian 50 cm dengan daya rata-rata 219,31 W, PR 0,61, efisiensi 16,48%, ηT 21,83%, dan CF 14,27%. Rata-rata suhu permukaan *rooftop* galvalum 31,2°C lebih tinggi dibandingkan *rooftop* beton 25,8°C, dengan suhu modul tertinggi masing-masing sebesar 38,35°C dan 32,84°C. Konfigurasi ekonomi terbaik diperoleh pada *rooftop* galvalum ketinggian 50 cm dengan LCOE Rp1.497/kWh, keuntungan Rp3.167, dan PBP 6,37 tahun, sedangkan pada *rooftop* beton diperoleh pada ketinggian 30 cm dengan LCOE Rp1.978/kWh, keuntungan Rp2.377, dan PBP 8,37 tahun. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik permukaan *rooftop* dan variasi ketinggian pemasangan memengaruhi kinerja teknis, karakteristik termal, dan kelayakan ekonomi sistem PV bifacial sebagai dasar optimasi desain PLTS r*ooftop*.

.

Kata kunci: PV *bifacial*, *rooftop*, ketinggian, Kinerja, Ekonomi.

ABSTRACT

The increasing utilization of photovoltaic (PV) systems in the building sector has encouraged further investigation into the effects of rooftop surface characteristics and installation height variations on the performance of bifacial PV modules. This study aims to analyze the influence of these two factors on the technical performance, thermal characteristics, and economic feasibility of bifacial PV systems. An experimental approach was conducted using a 640 Wp bifacial PV module installed on concrete and galvanized steel rooftops at installation heights of 70 cm, 50 cm, and 30 cm. The results showed that the optimum performance on the concrete rooftop was achieved at a height of 30 cm, with an average power output of 164.55 W, a performance ratio (PR) of 0.70, an efficiency of 17.04%, a temperature-corrected efficiency (ηT) of 22.27%, and a capacity factor (CF) of 10.71%. Meanwhile, the optimum performance on the galvanized steel rooftop was obtained at a height of 50 cm, with an average power output of 219.31 W, a PR of 0.61, an efficiency of 16.48%, a ηT of 21.83%, and a CF of 14.27%. The average surface temperature of the galvanized steel rooftop (31.2°C) was higher than that of the concrete rooftop (25.8°C), with the highest module temperatures reaching 38.35°C and 32.84°C, respectively. The best economic performance was achieved on the galvanized steel rooftop at a height of 50 cm, with an LCOE of IDR 1,497/kWh, a profit of IDR 3,167, and a payback period (PBP) of 6.37 years, while the concrete rooftop at a height of 30 cm yielded an LCOE of IDR 1,978/kWh, a profit of IDR 2,377, and a PBP of 8.37 years. The findings indicate that rooftop surface characteristics and installation height significantly affect the technical performance, thermal characteristics, and economic feasibility of bifacial PV systems, providing a basis for optimizing rooftop PV system design.

Keywords: *bifacial PV, rooftop, height, performance, economic.*

DAFTAR ISTILAH

No	Istilah	Keterangan
1	AC	*Alternating Current*
2	CAPEX	*Capital Expenditure*
3	CF	*Capacity Factor*
4	DC	*Direct Current*
5	FF	*Fill Factor*
6	IEC	*International Electrotechnical Commission*
7	Imp	*Maximum Power Current*
8	Isc	*Short Circuit Current*
9	I-V	*Current-Voltage*
10	kWh	*Kilowatt-hour*
11	LCOE	*Levelized Cost of Energy*
12	PBP	*Payback Period*
13	Pmp	*Maximum Power*
14	Pout	*Output Power*
15	PR	*Performance Ratio*
16	PV	*Photovoltaic*
17	RPV	*Rooftop Photovoltaic*
18	SNI	*Standar Nasional Indonesia*
19	STC	*Standard Test Conditions*
20	Voc	*Open Circuit Voltage*
21	Vmp	*Maximum Power Voltage*
22	W	Watt
23	W/m^2	Watt permeter persegi
24	SNI	Standar Nasional Indonesia

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING ii
HALAMAN PENGESAHAN DEWAN PENGUJI iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI iv
PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI v
HALAMAN MOTO vi
KATA PENGANTAR vii
ABSTRAK viii
DAFTAR ISTILAH x
DAFTAR ISI xi
DAFTAR GAMBAR xiv
DAFTAR TABEL xv
DAFTAR LAMPIRAN xvi
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Manfaat Penelitian 3
1.5 Batasan Masalah 4
BAB II KAJIAN PUSTAKA 5
2.1 Tinjauan Pustaka 5
2.2 Energi Terbarukan 7
2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya 8
2.4 Monokristalin 8
2.5 *Bifacial* 9
2.6 *Half-Cut cell* 10
2.7 *On-grid* 10
2.8 *Weather Station* 11
2.9 *Datalogger* 11
2.10 *Rooftop* 11

2.10.1 *Rooftop* Beton 12
2.10.2 *Rooftop* Galvalum 12
2.11 Analisis Penelitian 13
2.11.1 Analisis Kinerja 13
2.11.2 Analisis Ekonomi 15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 17
3.1 Metode Penelitian 17
3.2 Lokasi Penelitian 18
3.3 Blok Diagram Sistem 18
3.4 Rangkaian Sistem 20
3.5 *Flowchart* Penelitian 21
3.5.1 Studi Literatur 22
3.5.2 Penentuan Variasi Ketinggian 23
3.5.3 *Standard Test Conditions* (STC) 23
3.5.4 *Insulation Test & Wet Leakage Current* 23
3.5.5 Pembuatan Kerangka 24
3.5.6 Instalasi Pemasangan 24
3.5.7 Penempatan Modul 24
3.5.8 Data 24
3.5.9 Analisis 25
3.6 Alat dan Bahan 25
3.6.1 Alat 25
3.6.2 Bahan 25
3.7 Tahapan Perencanaan 26
3.7.1 Desain Detail kerangka 26
3.7.2 Desain 3D 27
3.8 Analisis Data 27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 29
4.1 Kinerja Modul *Bifacial* 35
4.1.1 Pengujian Variasi Ketinggian PV 35
4.1.2 Perbandingan Produksi Energi 44
4.1.3 Analisis Kinerja 46

4.2 Suhu permukaan PV 50
4.2.1 Suhu Permukaan hasil pengujian 50
4.4.2 Perbandingan Suhu PV 53
4.4.3 Rata-Rata Suhu per Jam 54
4.4.4 Suhu Permukaan *Rooftop* 55
4.3 Analisis Ekonomi 56
4.3.1 CAPEX 58
4.3.2 LCOE 59
4.3.3 Keuntungan 60
4.3.4 PBP 61
BAB V PENUTUP 62
5.1 Kesimpulan 62
5.2 Saran 63
REFERENSI 64
LAMPIRAN 71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Monokristalin 8
Gambar 2. 2 *PERC* 9
Gambar 2. 3 *Bifacial* 9
Gambar 2. 4 *Half-Cut Cell* 10
Gambar 2. 5 *Weather Station* 11
Gambar 2. 6 *Rooftop* Beton 12
Gambar 2. 7 *Rooftop* Galvalum 12
Gambar 3. 1 Metode Penelitian SDLC *Waterfall* 17
Gambar 3. 2 Blok Diagram Sistem 19
Gambar 3. 3 Rangkaian Sistem 20
Gambar 3. 4 *Flowchart* Penelitian 22
Gambar 3. 5 Desain Detail kerangka 26
Gambar 3. 6 Desain Ketinggian *Rooftop* Beton 27
Gambar 3. 7 Desain Ketinggian *Rooftop* Galvalum 27
Gambar 4. 1 Kerangka Variasi Ketinggian 29
Gambar 4. 2 Solar Pathfinder 30
Gambar 4. 3 Modul PV saat STC 32
Gambar 4. 4 Kurva I-V Modul PV 33
Gambar 4. 5 Dokumentasi *Insulation Test* 34
Gambar 4. 6 Dokomentasi *Wet Leakage Current Test* 34
Gambar 4. 7 Pengujian Variasi Ketinggian PV *Rooftop* Beton 36
Gambar 4. 8 Perbandingan Daya dengan Iradiasi Pada PV *Rooftop* Beton 39
Gambar 4. 9 Pengujian Variasi Ketinggian PV *Rooftop* Galvalum 40
Gambar 4. 10 Perbandingan Daya dengan Iradiasi Pada PV *Rooftop* Galvalum .. 43
Gambar 4. 11 Total Produksi Energi Selama 3 Hari 44
Gambar 4. 12 Perbandingan suhu sekitar dengan suhu PV *Rooftop* Beton 51
Gambar 4. 13 Perbandingan suhu sekitar dengan suhu PV *Rooftop* Galvalum 52
Gambar 4. 14 Perbandingan Rata-Rata Suhu Modul PV Selama Pengujian 54
Gambar 4. 15 Perbandingan Suhu Permukaan Rooftop 55
Gambar 4. 16 Perbandingan PBP 61

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tinjauan Pustaka 5
Tabel 3. 1 Alat Penelitian 25
Tabel 3. 2 Bahan Penelitian 25
Tabel 4. 1 Uji Bayangan Tempat Pengujian 30
Tabel 4. 2 Spesifikasi Modul PV 31
Tabel 4. 3 Hasil STC 32
Tabel 4. 4 Hasil *Wet leakage Current Test* dan *Insulation Test* 34
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Variasi Ketinggian PV *Rooftop* Beton 37
Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Variasi Ketinggian PV *Rooftop* Galvalum 41
Tabel 4. 7 Perbandingan Daya Keluaran Modul PV 45
Tabel 4. 8 Analisis Kinerja Sistem PV 46
Tabel 4. 9 Ringkasan Perbandingan Suhu Modul PV 53
Tabel 4. 10 Perbandingan Suhu Permukaan *Rooftop* 56
Tabel 4. 11 Analisis Ekonomi 57
Tabel 4. 12 Total Biaya Investasi 58

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Biodata Peneliti 71
Lampiran 2. Hasil Pengujian PV Permukaan *Rooftop* Beton 72
Lampiran 3. Hasil Pengujian PV Permukaan *Rooftop* Galvalum 78
Lampiran 4. Dokumentasi 84

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi Indonesia terus meningkat seiring pertumbuhan ekonomi dan penduduk, dengan konsumsi energi mencapai sekitar 939 juta BOE pada tahun 2021 dan kenaikan tahunan hampir 1%. Namun, meskipun memiliki potensi energi terbarukan yang besar, bauran energi nasional masih didominasi bahan bakar fosil yang menyumbang lebih dari 85% pasokan energi primer pada tahun 2023, sehingga percepatan pemanfaatan energi baru dan terbarukan menjadi sangat penting untuk keberlanjutan energi nasional (Hasan et al., 2026). Teknologi photovoltaic (PV) atau modul surya merupakan salah satu energi baru terbarukan yang mampu mengonversi energi matahari menjadi listrik yang lebih ramah lingkungan terus dikembangkan (Mdallal et al., 2025). Salah satu inovasi PV yang banyak dikembangkan adalah modul surya *bifacial*. Modul *bifacial* memiliki kemampuan menghasilkan energi listrik tidak hanya dari sisi depan, tetapi juga dari sisi belakang modul melalui pemanfaatan iradiasi albedo dari permukaan di sekitarnya (Yakubu et al., 2024). Namun demikian, kinerja aktual modul *bifacial* di lapangan tidak hanya ditentukan oleh karakteristik teknologinya, tetapi juga dipengaruhi oleh kondisi operasional di lapangan (Li et al., 2022).

Kondisi operasional di lapangan, seperti suhu kerja dan jenis permukaan *rooftop*, dan ketinggian pemasangan, dapat memengaruhi kinerja modul *bifacial*. (Li et al., 2022). Salah satu faktor yang berkontribusi terhadap variasi kinerja modul PV adalah lingkungan pemasangan, khususnya pada sistem PV *rooftop*. Sistem PV *rooftop* merupakan aplikasi modul surya yang dipasang pada atap bangunan, baik rumah tinggal maupun gedung komersial, yang menawarkan keuntungan pemanfaatan ruang tanpa memerlukan lahan tambahan (Kapsalis et al., 2024). Pada sistem PV *rooftop*, jenis permukaan atap berperan penting dalam menentukan kondisi termal di sekitar modul surya. Hasil penelitian pada modul monokristalin menunjukkan bahwa jenis permukaan tempat pemasangan panel surya terbukti secara signifikan memengaruhi kinerja panel surya yang dihasilkan (Adolf & Uzorka, 2025). Dua jenis material yang paling umum digunakan sebagai media inst

alasi PV *rooftop* adalah beton dan logam. Material beton cenderung menyerap serta menyimpan panas dalam waktu yang lama karena memiliki massa termal yang tinggi, sedangkan material logam memiliki kemampuan yang lebih baik dalam memantulkan iradiasi matahari dan melepaskan panas (Torres-Quezada et al., 2024). Salah satu material logam yang umum digunakan *pada rooftop* adalah galvalum, yaitu atap berbahan baja ringan berlapis aluminium, seng, dan silikon yang bersifat reflektif terhadap iradiasi matahari dan memengaruhi kondisi termal modul surya. Perbedaan karakteristik termal tersebut menyebabkan kondisi suhu di sekitar modul surya menjadi bervariasi, yang pada akhirnya berpengaruh terhadap kinerja modul PV (Siahaan & Purba, 2022).

Selain jenis permukaan, ketinggian pemasangan modul PV juga menjadi faktor penting yang memengaruhi kinerja sistem. Studi menemukan bahwa ketinggian pemasangan *green roof* 0,3 m menghasilkan kinerja pembangkitan energi PV tertinggi, dengan peningkatan kinerja rata-rata sebesar sekitar 3% dan 11% dibandingkan ketinggian 0,6 m dan 0,9 m. (Arenandan et al., 2022). Pada ketinggian 100 cm, jenis atap tidak berpengaruh signifikan terhadap suhu di sekitar panel PV (Osma-Pinto & Ordóñez-Plata, 2019). Pada PV *green roof*, ketinggian 0,3 0,6 dan 0,9 m memperlihatkan ketinggian 0,3 m menghasilkan peningkatan daya maksimum tertinggi panel PV dengan rata-rata sebesar 1,0% (Zhan et al., 2025). Namun, riset yang menggunakan ketinggian 100–200 mm menunjukkan tidak memberikan perubahan berarti terhadap efisiensi dengan hasil kurang dari 0,2% (Zheng et al., 2025). Selain itu, penelitian ketinggian 30, 50, dan 70 cm sistem PV *floating* menunjukkan bahwa ketinggian 70 cm memberikan kinerja termal, rasio kinerja tertinggi sebesar 87,34% pada modul *bifacial* (Hasan et al., 2026).

Hingga saat ini, belum banyak penelitian yang secara langsung membandingkan pengaruh perbedaan permukaan pemasangan *rooftop* terhadap kondisi suhu modul dan kinerja listrik modul PV, khususnya pada sistem modul surya *bifacial*. Sejumlah penelitian telah mengkaji pengaruh ketinggian pemasangan dan jenis permukaan pada sistem PV, namun analisis terpadu pada modul surya bifacial di *rooftop* beton dan galvalum yang masih jarang dilakukan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja teknis dan kondisi termal modul surya *bifacial* pada variasi ketinggian pemasangan yang

diaplikasikan pada permukaan *rooftop* beton dan galvalum, sekaligus mengevaluasi implikasi ekonominya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, maka permasalahan yang dikaji dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana kinerja modul surya *bifacial* pada variasi ketinggian pemasangan dan jenis permukaan *rooftop* yang berbeda?
2. Bagaimana perubahan suhu modul surya *bifacial* akibat variasi ketinggian pemasangan dan jenis permukaan *rooftop*?
3. Bagaimana aspek ekonomi modul surya *bifacial* ditinjau dari variasi ketinggian pemasangan dan jenis permukaan *rooftop*?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menganalisis pengaruh variasi ketinggian pemasangan dan jenis permukaan *rooftop* terhadap kinerja modul surya *bifacial*.
2. Mengkaji pengaruh variasi ketinggian pemasangan dan jenis permukaan *rooftop* terhadap suhu operasi modul surya *bifacial*.
3. Mengevaluasi aspek ekonomi modul surya *bifacial* berdasarkan variasi ketinggian pemasangan dan jenis permukaan *rooftop*.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan pemahaman ilmiah mengenai pengaruh variasi ketinggian pemasangan dan jenis permukaan *rooftop* terhadap kinerja modul surya *bifacial*.
2. Menyediakan informasi terkait karakteristik suhu operasi modul surya *bifacial* akibat perbedaan ketinggian pemasangan dan jenis permukaan *rooftop*.
3. Menjadi bahan pertimbangan dalam aspek ekonomi perancangan dan pemilihan sistem PV *rooftop bifacial* yang sesuai dengan kondisi pemasangan dan karakteristik permukaan *rooftop*.

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian ini terarah dan fokus, maka batasan masalah yang diterapkan adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini tidak membahas degradasi jangka panjang pada modul surya, termasuk pengaruh *damp heat, thermal cycling, hotspot,* dan berbagai uji keandalan lainnya yang umumnya dilakukan untuk menilai umur pakai modul surya.
2. Penelitian ini tidak mencakup analisis termodinamika secara mendalam, seperti pemodelan perpindahan panas konduksi.
3. Penelitian ini cuaca lainnya, seperti kecepatan angin, kelembapan udara, arah angin, dan curah hujan, tidak menjadi variabel analisis dalam penelitian ini.

REFERENSI

Adolf, K., & Uzorka, A. (2025). Effects of substrates on the efficiency of a monocrystalline solar panel. *Scientific Reports*, *15*(1). https://doi.org/10.1038/s41598-025-90523-0

Afridi, M., Kumar, A., ibne Mahmood, F., & Tamizhmani, G. (2023). Hotspot testing of glass/backsheet and glass/glass PV modules pre-stressed in extended thermal cycling. *Solar Energy*, *249*, 467–475. https://doi.org/10.1016/j.solener.2022.12.006

Alam, M., Gul, M. S., & Muneer, T. (2023). Performance analysis and comparison between bifacial and monofacial solar photovoltaic at various ground albedo conditions. *Renewable Energy Focus* , *44*, 295–316. https://doi.org/10.1016/j.ref.2023.01.005

Almarshoud, A. F., Abdel-halim, M. A., Almasri, R. A., & Alshwairekh, A. M. (2024). Experimental Study of Bifacial Photovoltaic Module Performance on a Sunny Day with Varying Backgrounds Using Exergy and Energy Analysis. *Energies*, *17*(21). https://doi.org/10.3390/en17215456

Ang, T. Z., Salem, M., Kamarol, M., Das, H. S., Nazari, M. A., & Prabaharan, N. (2022). A comprehensive study of renewable energy sources: Classifications, challenges and suggestions. In *Energy Strategy Reviews* (Vol. 43). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100939

Arenandan, V., Wong, J. K., Ahmed, A. N., & Chow, M. F. (2022). Efficiency enhancement in energy production of photovoltaic modules through green roof installation under tropical climates. *Ain Shams Engineering Journal*, *13*(5). https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.101741

BSN. (2019). *Modul fotovoltaik (FV) terestrial– Kualifikasi desain dan pengesahan jenis – Bagian 1-1: Persyaratan khusus untuk pengujian modul fotovoltaik (FV) silikon kristalin (IEC 61215-1-1:2016, IDT)*.

Cabrera-Tobar, A., Dolara, A., Leva, S., Mazzeo, D., & Ogliari, E. (2024). Comparative analysis of half-cell and full-cell PV commercial modules for sustainable mobility applications: Outdoor performance evaluation under partial shading conditions. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, *71*. https://doi.org/10.1016/j.seta.2024.103981

Chandra, B., Purwanto, L. M. F., & Muljadinata, A. S. (2024). *Solar Photovoltaics Efficiencies on Net Zero Energy House at Greater Jakarta*. *14*(6).

Chen, L., Zhang, S., Cheng, I., Chang, H., Chen, F., Li, M., & Wang, Z. (2025). The resilience paradox of rooftop PV: Building cooling penalties and heat risks. *Building and Environment*, *282*. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.113233

Choi, H., Shedo, D. A., & Chang, B. (2024). Serviceability analysis and feasibility study of ballasted rooftop PV system on existing concrete roof slab buildings. *Renewable Energy*, *228*. https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120622

Christoffel Napitupulu, Muhammad Arya Rangga, Muhammad Rizky, & Novri Trias Putra. (2025). Optimalisasi PLTS Atap On-Grid di Indonesia: Standarisasi Inverter, Kinerja Ekonomi,dan Monitoring Berbasis IoT. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, Elektro Dan Komputer*, *5*(2), 100–112. https://doi.org/10.51903/juritek.v5i2.4374

Ecowitt. (2022). *Professional Wireless Wi-Fi Weather Station Operation Manual Model: WS2320*. https://www.ecowitt.com

Emblemsvåg, J. (2025). Rethinking the “Levelized Cost of Energy”: A critical review and evaluation of the concept. In *Energy Research and Social Science* (Vol. 119). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.erss.2024.103897

ESDM. (2024). *Technology Data for the Indonesian Power Sector*. https://gatrik.esdm.go.id/

Falah, A. F., Hakim, L., & Qiram, I. (2025). JEEE: Journal of Educational Engineering and Environment Literature Study on the Development of Solar

Power Plant (PLTS) Technology. In *Journal of Educational Engineering and Enviro nment* (Vol. 4, Number 1).

Grebovic, S., Aksamovic, A., Filipović – Grčić, B., & Konjicija, S. (2026). Investigation of lightning effects on solar power plants connected to transmission networks. *Electric Power Systems Research*, *251*. https://doi.org/10.1016/j.epsr.2025.112217

Guerra, N., Guevara, M., Palacios, C., & Crupi, F. (2018). Operation and Physics of Photovoltaic Solar Cells: an overview. In *Revista de I+D Tecnológico* (Vol. 14, Number 2). https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Gusmedi, H., Putra, R. P., & Samosir, A. S. (2025). DESAIN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) ON-GRID 60 KWP. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, *13*(1). https://doi.org/10.23960/jitet.v13i1.5537

Hasan, M., Sutrisno, B., Hartadhi, Faradilla, A., Tarno, Kamil, B., Khairiani, D., Lande, N. M., Sibagariang, Y. P., & Sitorus, T. B. (2026). Performance Evaluation of Bifacial and Monofacial Floating Photovoltaic Systems: A Case Study under Tropical Conditions. *Results in Engineering*, 108791. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.108791

IEA-PVPS. (2021). *Bifacial Photovoltaic Modules and Systems: Experience and Results from International Research and Pilot Applications 2021 Task 13 Performance, Operation and Reliability of Photovoltaic Systems PVPS*. www.iea-pvps.org

Kapsalis, V., Maduta, C., Skandalos, N., Wang, M., Bhuvad, S. S., D'Agostino, D., Ma, T., Raj, U., Parker, D., Peng, J., & Karamanis, D. (2024). Critical assessment of large-scale rooftop photovoltaics deployment in the global urban environment. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 189). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.114005

Karim, F., Ahmed, T., & Rasif, M. H. I. (2025). Techno-economic assessment of utility-scale solar PV systems in south-eastern Bangladesh: Insights from empirical data and simulation modeling. *Energy Conversion and Management: X*, *28*. https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2025.101374

Kumar, N. M., Samykano, M., & Karthick, A. (2021). Energy loss analysis of a large scale BIPV system for university buildings in tropical weather conditions: A partial and cumulative performance ratio approach. *Case Studies in Thermal Engineering*, *25*. https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.100916

Lamers, M. W. P. E., Özkalay, E., Gali, R. S. R., Janssen, G. J. M., Weeber, A. W., Romijn, I. G., & Van Aken, B. B. (2018). Temperature effects of bifacial modules: Hotter or cooler? *Solar Energy Materials and Solar Cells*, *185*, 192–197. https://doi.org/10.1016/j.solmat.2018.05.033

Li, J., Zhou, Y., Niu, X., Sun, S., Xu, L., Jian, Y., & Cheng, Q. (2022). Performance evaluation of bifacial PV modules using high thermal conductivity fins. *Solar Energy*, *245*, 108–119. https://doi.org/10.1016/j.solener.2022.09.017

Mao, H., Liu, W., Li, C., Tian, Z., Zarrella, A., Ma, L., Chen, X., Luo, Y., & Fan, J. (2025). An accurate quantification study on the rooftop PV potential based UAV field photography in dense urban environments. *Applied Energy*, *399*. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2025.126499

Mdallal, A., Yasin, A., Mahmoud, M., Abdelkareem, M. A., Alami, A. H., & Olabi, A. G. (2025). A comprehensive review on solar photovoltaics: Navigating generational shifts, innovations, and sustainability. In *Sustainable Horizons* (Vol. 13). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.horiz.2025.100137

Murat Ates, A., & Singh, H. (2021). Rooftop solar Photovoltaic (PV) plant – One year measured performance and simulations. *Journal of King Saud University - Science*, *33*(3). https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101361

Nagara, B. S., Oetari, D., Apriliani, Z., & Sutabri, T. (2023). PENERAPAN METODE SDLC (SYSTEM DEVELOPMENT LIFE CYCLE) WATERFALL PADA PERANCANGAN APLIKASI BELANJA ONLINE BERBASIS ANDROID PADA CV WIDI AGRO APPLICATION OF THE WATERFALL SDLC (SYSTEM DEVELOPMENT LIFE CYCLE) METHOD IN DESIGNING ANDROID-BASED ONLINE SHOPPING APPLICATIONS ON CV WIDI AGRO. *Journal of Information Technology and Computer Science (INTECOMS)*, *6*(2).

Naghavi, M. S., Esmaeilzadeh, A., Singh, B., Ang, B. C., Yoon, T. M., & Ong, K. S. (2021). Experimental and numerical assessments of underlying natural air movement on PV modules temperature. *Solar Energy*, *216*, 610–622. https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.01.007

Nikolić, N. N., Lukić, N. S., Nešović, A. M., & Nikolić, D. M. (2024). OPTIMAL SIZE AND POSITION OF THE PLANAR BACK REFLECTOR MOVEABLE ONLY IN THE DIRECTION NORMAL TO THE BIFACIAL SOLAR COLLECTOR PLANE. *Thermal Science*, *28*(6), 4483–4497. https://doi.org/10.2298/TSCI240123101N

Osma-Pinto, G., & Ordóñez-Plata, G. (2019). Measuring factors influencing performance of rooftop PV panels in warm tropical climates. *Solar Energy*, *185*, 112–123. https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.04.053

Panchal, K., Zala, P., Kumar, U., Bhaisare, M., Kumar, C. M., Mukhopadhyay, I., & Ray, A. (2025). Conformity of multi-step diffusion optimization towards high efficiency industrial mono-PERC Si-solar cells. *Next Materials*, *9*. https://doi.org/10.1016/j.nxmate.2025.101249

PLN. (2025). *Tarif Adjustment*.

Prasetya, G., Riskitasari, S., Teknik Elektro, J., & Negeri Malang, P. (2024). *JOURNAL OF APPLIED SMART ELECTRICAL NETWORK AND SYSTEMS (JASENS) Monitoring Dan Datalogger Untuk Daya Keluaran Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin*. *5*(1), 1–8. https://energihibridiot.mdthosting.com/

Pu, T., Shen, H., Hong Neoh, K., Gao, K., & Ye, F. (2021). High-efficiency passivated emitter and rear cells with nano honeycomb structure. *Solar Energy*, *224*, 916–922. https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.06.066

Radwan, A., Mdallal, A., Haridy, S., Abdelkareem, M. A., Alami, A. H., & Olabi, A. G. (2024). Optimizing the annual energy yield of a residential bifacial photovoltaic system using response surface methodology. *Renewable Energy*, *222*. https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119914

Siahaan, D., & Purba, R. (2022). Analisis Perbandingan Daya Output Serta Efisiensi Modul Surya Tanpa Menggunakan Reflektor dan Menggunakan Reflektor Atap Galvalum dan Alumunium Foil. *Jurnal Ilmiah Program Studi Teknik Elektro*, *5*(1).

Sng, E., Chua, S. W., Roy, S., & Lim, I. (2020). Solar Energy Simulation of Bifacial Panels for Performance Optimisation. *Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, *2020-June*, 2590–2595. https://doi.org/10.1109/PVSC45281.2020.9300749

Sundah, J., Rooroh, B., Vita, V., Wolley, P. P., Ambar, J., Kamura, R., Tangon, F., Langitan, C., & Tumangkeng, N. (2025). SOLAR POWER GENERATION SYSTEM AT HOUSEHOLD SCALE. In *Interdisciplinary Journal of Advanced Research and Innovation* (Vol. 3, Number 2). https://ijari.publicascientificsolution.com/index.php/rv/index

Torres-Quezada, J., Isalgué, A., & Coch, H. (2024). Impact of solar reflectivity and infrared emissivity on the thermal performance of metal and concrete roofs in cloudy warm-humid climate. *Frontiers of Architectural Research*, *13*(4), 842–857. https://doi.org/10.1016/j.foar.2024.03.003

Venkatachalam, S. deve, Al Nadabi, A., Al Shukaili, A. A., Hinai, A. S. Al, Shuaili, A. S. Al, & Shukaili, I. said Al. (2025). Performance and suitability analysis of rooftop solar PV in Oman: A case study of university branches. *Heliyon*, *11*(4). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e42578

Vunnam, S., Vanithasri, M., & Alla, R. K. R. (2023). A novel monocrystalline PV array configuration for enhancing the maximum power under partial shading conditions. *Clean Energy*, *7*(4), 783–794. https://doi.org/10.1093/ce/zkad036

Wang, J. Y., Huang, C. S., Ou, S. L., Cho, Y. S., & Huang, J. J. (2022). One-step preparation of TiO2 anti-reflection coating and cover layer by liquid phase deposition for monocrystalline Si PERC solar cell. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, *234*. https://doi.org/10.1016/j.solmat.2021.111433

Yakubu, R. O., Mensah, L. D., Quansah, D. A., & Adaramola, M. S. (2024). A systematic literature review of the bifacial photovoltaic module and its

applications. *The Journal of Engineering*, *2024*(8). https://doi.org/10.1049/tje2.12421

Zhan, Q., Ma, Y., Lin, Z., Yin, S., & Xiao, Y. (2025). Comparative experimental study on the thermal and energy performance of photovoltaic and green roofs in hot-humid climates. *Building and Environment*, *271*. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.112587

Zheng, W., He, H., Qin, F., Lan, Y., & Yin, Y. (2025). Effect of the overhead height and tilt angle on comprehensive performance of photovoltaic roof based on simulation and experimental methods. *Results in Engineering*, *25*. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.104292