ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA DAN TEKNO-EKONOMI, SISTEM FOTOVOLTAIK BIFACIAL PADA KANAL AIR DAN PASIR DI KONDISI IKLIM TROPIS

SKRIPSI

Skripsi ini diajukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar sarjana

Disusun oleh :

RIFALDI WAHYU SANTOSO

092022090063

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER

UNIVERSITAS GLOBAL JAKARTA

2026

ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA DAN TEKNO-EKONOMI, SISTEM FOTOVOLTAIK BIFACIAL PADA KANAL AIR DAN PASIR DI KONDISI IKLIM TROPIS

SKRIPSI

Disusun Oleh :

Nama : Rifaldi Wahyu Santoso

NIM : 092022090063

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

UNIVERSITAS GLOBAL JAKARTA

2026

Depok, 30 Juli 2026

Menyetujui Pembimbing I

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

NIP. S09202008004

ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA DAN TEKNO-EKONOMI, SISTEM FOTOVOLTAIK BIFACIAL PADA KANAL AIR DAN PASIR DI KONDISI IKLIM TROPIS

SKRIPSI

Disusun Oleh :

Nama : Rifaldi Wahyu Santoso

NIM : 092022090063

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

UNIVERSITAS GLOBAL JAKARTA

2026

Depok, 30 Juli 2026

Menyetujui Pembimbing II

Dr. Ing. Drs. Oo Abdul Rosyid, M.Sc

NIP. 196506251991031002

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai mahasiswa Universitas Global Jakarta, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama	: Rifaldi Wahyu Santoso
NIM	: 092022090063
Program Studi	: Teknik Elektro
Fakultas	: Teknik dan Ilmu Komputer
Jenis Karya	: Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Global Jakarta Hak Bebas Royalti Non-eksklusif (None- exclusive Royalty Free Right) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

" Analisis Perbandingan Kinerja dan Tekno-Ekonomi, Sistem Fotovoltaik Bifacial Pada Kanal Air Dan Pasir Di Kondisi Iklim Tropis "

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif, Universitas Global Jakarta berhak menyimpan, mengalihmediakan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Depok, 30 Juli 2026



Rifaldi Wahyu Santoso

NIM 092022090063

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah 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 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 dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).

Depok, 30 Juli 2026
Mahasiswa



Rifaldi Wahyu Santoso
NIM.09202209006

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING

Studi ini diajukan oleh	:	Rifaldi Wahyu Santoso
NIM	:	092022090063
Program Studi	:	Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir/Tesis	:	Analisis Perbandingan Kinerja Dan Tekno-Ekonomi, Sistem Fotovoltaik Bifacial Pada Kanal Air Dan Pasir Di Kondisi Iklim Tropis

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

DEWAN PEMBIMBING

Pembimbing 1 : Brainvendra Widi Dionova S.ST., M.Sc.Eng

Pembimbing 2 : Dr. Ing. Drs. Oo Abdul Rosyid MSc

Mengetahui

Ketua Program Studi : Brainvendra Widi Dionova S.ST., M.Sc.En

Ditetapkan di : kota Depok

Tanggal : 29 Juni 2026

HALAMAN PENGESAHAN DEWAN PENGUJI

Studi ini diajukan oleh	:	Rifaldi Wahyu Santoso
NIM	:	092022090063
Program Studi	:	Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir/Tesis	:	Analisis Perbandingan Kinerja Dan Tekno-Ekonomi, Sistem Fotovoltaik Bifacial Pada Kanal Air Dan Pasir Di Kondisi Iklim Tropis

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 : Sinka Wilyanti, ST., MT ( )

Penguji 2 : Hamzah, S.T.,M.T.,Ph.D ( )

Penguji 3 : Arisa Olivia Putri, S.S.T., M.IT ( )

Ditetapkan di : Kota Depok
Tanggal : 29 Juli 2026

MENGETAHUI

Ketua Program Studi Teknik Elektro

Bramvendra Widi Dionova, S.ST., M.Sc. Eng

FM/JGU/L.064

Form I.2 – Lembar Monitoring Revisi Sidang Skripsi	Revisi ke: 1 Tanggal revisi: 13 Agustus 2020

LEMBAR MONITORING REVISI SIDANG SKRIPSI

Nama mahasiswa : RIFALDI WAHYU SANTOSO

NIM : 092022090063

Prodi : S1-Teknik Elektro

Judul Skripsi : **Analisis Perbandingan Kinerja dan Tekno-Ekonomi Sistem Fotovoltaik Bifacial pada Kanal Air dan Pasir di Kondisi Iklim Tropis**

Dosen Penguji I : Sinka Wilyanti, S.T.,M.T.

No	Isi Komentar/ Saran	Revisi/jawaban penulis	Paraf Penguji /Tanggal Persetujuan
1.	Apakah Pengaruh luas penampang dan volume media pasir dan air terhadap iradiasi	Karena tidak berfokus pada luas dan volume media, sehingga terkait hal ini ditambahkan di saran, agar dapat dikaji lebih dalam.	
2.	Pengukuran curah hujan pada jam 07.00, 08.00, 09.00, 12.00 kenapa sama 0,0?	Karena pada saat jam tersebut tidak ada curah hujan sehingga sensor menunjukan nilai 0,0	
3.	Tabel 4.8 PV Bifacial pasir untuk BCR <1, pasti pasir tidak layak	BCR pada pasir hanya bernilai 0,96 dan artinya <1, maka dapat disimpulkan bahwa sistem pada pasir kurang kompetitif dari segi ekonominya	
4.	Fill Factor (FF) or F?	Yang betul, adalah FF, dan hal tersebut sudah direvisi pada bagian analisis kinerja secara keseluruhan	
5.	η ? η_{sys} ? sama atau tidak	Sama, dan yang betul itu η_{sys}, sehingga sudah direvisi	
6.	Grafik/kurva diperbesar agar jelas	Grafik/kurva sudah diperbesar	

Depok, 24 Juli 2026
Mengetahui,
Ketua Program Studi

(Brainvendra Widi Dionova S.ST.,M.Sc.Eng)
NIP.S09202008004

FM/JGU/L.064

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

LEMBAR MONITORING REVISI SKRIPSI

Nama mahasiswa : : RIFALDI WAHYU SANTOSO

NIM : 092022090063

Prodi : S1-Teknik Elektro

Judul Skripsi : **Analisis Perbandingan Kinerja dan Tekno-Ekonomi Sistem Fotovoltaik Bifacial pada Kanal Air dan Pasir di Kondisi Iklim Tropis**

Dosen Penguji II : Hamzah, S.T.,M.T.,Ph.D.

No	Isi Komentar/ Saran	Revisi/jawaban penulis	Paraf Penguji /Tanggal Persetujuan
1.	Mengingat skripsi ditulis dalam bahasa indonesia, maka penggunaan tanda titik dan koma mengacu pada penggunaan standar	Penggunaan tanda titik dan koma pada penulisan sudah direvisi	
2.	Tabel 4.8 perlu ditambahkan untuk yang non BPV, bisa digunakan dari berbagai referensi, cantumkan referensinya	Berdasarkan konsultasi dengan pembimbing, hal tersebut tidak menjadi fokus penelitian, dan tidak apple to apple apabila dibandingkan dengan BPV dari segi tekno-ekonomi	
3.	Pada tabel 3.1, mohon dilengkapi spesifikasi dari alat yang digunakan, harap nameplate dari alat tersebut bisa dilampirkan pada lampiran	Pada tabel 3.1 spesifikasi alat penelitian sudah dilengkapi	
4.	Lengkapi perhitungan untuk menghasilan tabel 4.8	Pada analisi tekno-ekonomi sudah dilengkapi perhitungan per parameter yang digunakan	

Depok, 24 Juli 2026
Mengetahui,
Ketua Program Studi

(Brainyendra Widi Dionova S.ST.,M.Sc.Eng)
NIK. S09202008004

FM/JGU/L.064

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

LEMBAR MONITORING REVISI SKRIPSI

Nama mahasiswa : : RIFALDI WAHYU SANTOSO

NIM : 092022090063

Prodi : S1-Teknik Elektro

Judul Skripsi : **Analisis Perbandingan Kinerja dan Tekno-Ekonomi Sistem Fotovoltaik Bifacial pada Kanal Air dan Pasir di Kondisi Iklim Tropis**

Dosen Penguji III : Arisa Olivia Putri, S.ST.,M.IT.

No	Isi Komentar/ Saran	Revisi/jawaban penulis	Paraf Penguji /Tanggal Persetujuan
1.	Penyajian grafik sebaiknya maksimal 2 variable untuk mempermudah penarikan kesimpulan	Penyajian grafik sudah direvisi, terlihat pada grafik analisis pengaruh kondisi iklim, pada hal.55	
2.	Perlu dianalisis lebih lanjut terkait perbedaan hasil pengujian dengan albedonya	Perbedaan albedo secara teoritis berdampak pada suhu BPV, dijelaskan pada hal. 54	
3.	Perlu diriset/dimasukan ke saran terkait dengan luas penampang,volume medium (pasir, air) apakah berpengaruh (ada rumus lebih bagus) dinaskah	Sejauh ini belum ada referensi mengenai hal tersebut, namun hal tersebut dimasukan pada saran untuk dikaji lebih lanjut dan mendalam, pada hal. 68	

Depok, 24 Juli 2026
Mengetahui,
Ketua Program Studi

(Brainvendra Widi Dionova S.ST.,M.Sc.Eng)
NIK. S09202008004

FM/UGJ/L.053

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

LEMBAR KONSULTASI SKRIPSI

Nama mahasiswa : Rifaldi Wahyu Santoso
NIM : 092022090063
Judul : Analisis perbandingan kinerja dan tekno-ekonomi, sistem fotovoltaik bifacial pada kanal air dan pasir di kondisi iklim tropis
Dosen Pembimbing I : Brainvendra Widi Dionova S.ST., M.Sc.Eng

No.	Tanggal	Uraian Kegiatan yang Dilakukan	Paraf Dosen
1	20/01/2026	Bimbingan setelah sempro	
i	11/02/2026	Pembahasan mengenai revisi sempro	
3	07/04/2026 – 30/04/2026	Pembahasan untuk bab 4 seperti analisis kinerja , cuaca, dan tekno ekonomi penelitian, sekaligus revisi penulisan	
4	01/05/2026	Pembahasan penulisan bab 5 dan lampiran, sekaligus revisi	
5	08/05/2026	Bimbingan terkait jurnal penelitian	
6	11/05/2026	Submit jurnal penelitian	
7	20/05/2026	Bimbingan terkait penyusunan jurnal review	
8	3/06/2026	Submit jurnal review	

Depok, 25 Juni 2026
Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Elektro

Brainvendra Widi Dionova S.ST., M.Sc.Eng
NIP S092020080004

FM/UGJ/L.053

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

LEMBAR KONSULTASI SKRIPSI

Nama mahasiswa : Rifaldi Wahyu Santoso
NIM : 092022090063
Judul : Analisis perbandingan kinerja dan tekno-ekonomi, sistem fotovoltaik bifacial pada kanal air dan pasir di kondisi iklim tropis
Dosen Pembimbing II : Dr. Ing. Drs. Oo Abdul Rosyid Msc

No.	Tanggal	Uraian Kegiatan yang Dilakukan	Paraf Dosen
1	20/01/2026	Melakukan Tes STC untuk PV kanal air dan pasir yang diuji dilaboratorium photovoltaik	
2	29/01/2026	Melakukan revisi sempro	
3	02/02/2026	Revisi sempro, serta pembahasan bab 4	
4	10/02/2026	Melakukan perbaikan data logger pada sensor suhu	
5	18/02/2026	Membeli pasir, serta meletakan pada tempat penelitian	
6	27/02/2026	Penyusunan bab 4 mengenai performance, mulai dari parameter yang digunakan, dari segi tekno-ekonomi	
7	03/03/2026-30/04/2026	Penyusunan bab 4 mengenai performance, mulai dari parameter yang digunakan, dari segi tekno-ekonomi	
8	05/05/2026-23/06/2026	Penyusunan bab 4, revisi, hingga ke bab 5 serta penyusunan untuk jurnal penelitian serta review	

Depok, 25 Juni 2026
Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Elektro

Brainvendra Widi Dionova S.ST., M.Sc.Eng
NIP 196506251991031002

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, Karya hebat ini kupersembahkan kepada mereka yang terukir dalam setiap langkah perjuanganku.

Kepada dua manusia, yaitu Bapak (Agung) & Ibu (Suharni), yang merupakan orang tua saya, yang cintanya tak pernah bertanya alasan, yang doanya menembus langit tanpa pernah kuminta, yang keringat dan air matanya menjadi pupuk bagi setiap mimpi yang kutanam, skripsi ini adalah persembahan kecil dari perjalanan panjang yang kalian mulai jauh sebelum saya mengerti arti perjuangan.

Kemudian, Pakde dan Bude yang sudah saya anggap sebagai orang tua saya sendiri, yang betul-betul mengusahakan fasilitas pendukung selama kuliah, sampai memberikan saya pelajaran bagaimana artinya kehidupan, agar anak kampung ini bisa menjadi sarjana bukan hanya dengan gelar S.T. ini saja, melainkan secara kepribadian dan kebiasaan yang jauh lebih baik.

Tidak lupa juga kepada Pak Brain yang selalu membantu dan mendukung saya dalam proses belajar yang luar biasa ini mulai dari semester 3 sampai saya menyelesaikan studi S-1 ini.

Terimakasih kalian yang telah menjadi bagian pelajaran dan cerita yang selalu saya rindukan, serta alasan saya terus bertahan hingga saat ini.

HALAMAN MOTTO

“ Dan jika kamu menghitung-hitung nikmat Allah, niscaya kamu tidak akan dapat menentukan jumlahnya. Sesungguhnya Allah benar-benar Maha Pengampun lagi Maha Penyayang “

(Q.S An Nahl : 18)

“ Maka Sesungguhnya Bersama Kesulitan itu ada kemudahan. Sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan “

(Q.S Al-Insyirah : 5-6)

“ *Fortis Fortuna Adiuvat* “
(Terence)

“ Sesuatu yang tidak dipertaruhkan maka akan dimenangkan “

(Sutan Syahrir)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Penulis menyadari bahwa selesainya skripsi ini tidak lepas dari bimbingan, dukungan, dan doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Brainvendra Widi Dionova, S.ST., M.Sc.Eng., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Global Jakarta dan Dosen Pembimbing I, atas segala arahan, ilmu, waktu, dan bimbingan yang telah diberikan selama proses penyusunan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Ing. Drs. Oo Abdul Rosyid MSc., selaku Pembimbing II, yang telah memberikan banyak masukan, saran, dan motivasi yang sangat berharga dalam penyempurnaan skripsi ini.
3. Orang tua tercinta Bapak Agung dan Ibu Harni, yang senantiasa memberikan doa, kasih sayang, dukungan moril maupun materil, serta kesabaran yang tidak terhingga hingga penulis dapat menyelesaikan studi ini.
4. Pakde, budhe khususnya dan saudara serta kerabat yang senantiasa membantu, memberi fasilitas materil serta dukungan moril selama menjalani kuliah ini hingga sampai pada tahap akhir ini.
5. Saudara kembar saya Rifaldo Wahyu Santoso dan kakak termanis saya Wihelmina Fitria Hariani, yang selalu membersamai saya, dan memberikan keceriaan ketika proses penyusunan skrispi ini
6. Teman-teman khususnya (Kalvin, Ilma, Dila dan Atik) serta teman-teman *Padang Rice*, yang selalu ada memberikan bantuan, semangat, perhatian, serta motivasi tiada henti yang menguatkan penulis dalam menyelesaikan tugas skripsi ini.

ABSTRAK

Peningkatan emisi gas rumah kaca akibat industrialisasi mendorong transisi energi menuju sumber terbarukan, salah satunya energi surya melalui teknologi fotovoltaik (PV) bifacial yang mampu menyerap radiasi dari kedua sisi modul. Penelitian ini menganalisis dan membandingkan kinerja teknis serta kelayakan tekno-ekonomi sistem PV bifacial yang dipasang di atas kanal air dan pasir pada kondisi iklim tropis. Pengujian dilakukan selama satu bulan (April 2026) menggunakan dua modul PV bifacial tipe half-cut cell berkapasitas 670 Wp di Gedung Pusat Riset Konversi dan Konservasi Energi, KST BJ. Habibie, Serpong. Parameter yang diukur meliputi daya, energi, efisiensi, Performance Ratio (PR), Capacity Factor (CF), pengaruh kecepatan angin dan curah hujan, serta analisis tekno-ekonomi menggunakan indikator LCOE, NPV, BCR, dan Payback Period dengan discount rate 4,75% dan masa operasional 25 tahun. Hasil menunjukkan sistem kanal air menghasilkan energi 59,25 kWh dengan PR 61,96%, CF 12%, dan efisiensi 13,4%, mengungguli sistem pasir yang hanya mencapai 50,14 kWh, PR 52,4%, CF 10%, dan efisiensi 11,1%. Keunggulan ini didorong efek pendinginan alami air yang menekan suhu operasional modul, sementara pasir menyebabkan *heat trapping* hingga 48,17°C. Curah hujan terbukti menurunkan daya keluaran pada kedua sistem, sementara kecepatan angin memberikan kontribusi pendinginan pasif yang lebih efektif pada sistem kanal air. Dari sisi ekonomi, sistem kanal air menghasilkan LCOE Rp 1.294/kWh (di bawah tarif PLN), NPV positif sebesar Rp 1.129.101, BCR 1,10, dan PBP 14 tahun ,8 bulan, sedangkan sistem pasir menghasilkan LCOE Rp 1.509/kWh, NPV negatif, BCR 0,96, dan PBP 17 tahun, 7 bulan. Sistem PV bifacial di atas kanal air terbukti lebih unggul secara teknis maupun ekonomi sebagai rekomendasi strategis pengembangan energi surya di wilayah beriklim tropis.

.

Kata Kunci : PV bifacial, kanal air, pasir, performance ratio, tekno-ekonomi, iklim tropis

ABSTRACT

The increase in greenhouse gas emissions due to industrialization is driving the energy transition toward renewable sources, one of which is solar energy through bifacial photovoltaic (PV) technology, which is capable of absorbing radiation from both sides of the module. This study analyzes and compares the technical performance and techno-economic feasibility of bifacial PV systems installed over water and sand channels under tropical climatic conditions. Testing was conducted over one month (April 2026) using two half-cut cell bifacial PV modules with a capacity of 670 Wp at the Energy Conversion and Conservation Research Center Building, KST BJ. Habibie, Serpong. The measured parameters included power, energy, efficiency, Performance Ratio (PR), Capacity Factor (CF), the effects of wind speed and rainfall, as well as a techno-economic analysis using the LCOE, NPV, BCR, and Payback Period indicators, with a discount rate of 4.75% and an operational lifespan of 25 years. The results show that the water canal system generated 59.25 kWh of energy with a PR of 61.96%, a CF of 12%, and an efficiency of 13.4%, outperforming the sand system, which only achieved 50.14 kWh, a PR of 52.4%, a CF of 10%, and an efficiency of 11.1%. This advantage is driven by the natural cooling effect of water, which lowers the modules' operating temperature, whereas sand causes heat trapping up to 48.17°C. Rainfall was found to reduce power output in both systems, while wind speed provided more effective passive cooling in the water canal system. From an economic perspective, the water canal system yielded an LCOE of Rp 1.294/kWh (below the PLN tariff), a positive NPV of Rp 1.129.101, a BCR of 1,10, and a PBP of 14 years,8 months, whereas the sand system produced an LCOE of Rp 1.509/kWh, a negative NPV, a BCR of 0,96, and a PBP of 17 years, 7 months. The bifacial PV system above the water canal proved to be technically and economically superior as a strategic recommendation for solar energy development in tropical climates.

Keywords : bifacial PV, water canal, sand, performance ratio, techno-economic, tropical climate

DAFTAR ISTILAH

No	Istilah		Keterangan	Definisi
1.	PV	=	Photovoltaic	Konsep mengubah energi matahari menjadi energi listrik
2.	MPV	=	Monofacial Photovoltaic	Teknologi menangkap irradiasi matahari dari 1 sisi atas.
3.	BPV	=	Bifacial Photovoltaic	Teknologi menangkap irradiasi matahari dari 2 sisi (atas dan bawah).
2.	PR	=	Performance Ratio (&)	Rasio kinerja PV secara keseluruhan.
3.	CF	=	Capacity Factor (%)	Rasio antara energi listrik yang benar-benar dengan energi maksimum yang bisa dihasilkan jika PV beroperasi terus-menerus.
4.	FF	=	Fill Factor (%)	Rasio antara daya maksimum aktual yang bisa dihasilkan sel surya dengan daya maksimum teoritis.
5.	η	=	Efisiensi (%)	Persentase energi cahaya matahari yang berhasil diubah menjadi energi listrik oleh sel/panel surya tersebut.
6.	P_{max}	=	Daya Maksimum (Watt)	Kapasitas daya PV maksimal.
7.	V_{Max}	=	Tegangan Maksimum (Volt)	Kapasitas tegangan PV maksimal.
8.	I_{Max}	=	Arus Maksimum (A)	Kapasitas arus PV maksimal
9.	V_{oc}	=	Tegangan Terbuka (V)	Tegangan maksimum yang dihasilkan sel surya ketika rangkaian dalam keadaan tidak ada beban/arus yang mengalir,
10.	I_{sc}	=	Arus Hubung Singkat (A)	Arus maksimum yang dihasilkan sel surya ketika kedua terminalnya dihubungkan langsung satu sama lain (short circuit) tanpa ada beban atau

				resistansi eksternal, sehingga tegangannya sama dengan nol.
11.	E_{PV}	=	Energi PV (kWh)	Jumlah total energi listrik yang dihasilkan oleh sistem PV dalam suatu periode waktu.
12.	P_{rated}	=	Daya Pada PV (Wp)	Kapasitas daya pada spesifikasi PV.
13.	A_m	=	Luas Modul PV	Panjang, lebar dan tinggi PV.
14.	G_h	=	Irradiasi (W/m^2)	Intensitas atau jumlah energi radiasi matahari yang jatuh pada suatu permukaan per satuan luas.
15.	N_m	=	Jumlah Modul	Banyaknya PV.
16.	LCOE	=	Levelized Cost of Electricity (Rp/kWh)	Biaya tarif listrik per kWh.
17.	NPV	=	Net Prensent Value (Rp)	Selisih antara nilai sekarang dari seluruh pemasukan dan pengeluaran suatu proyek, dengan memperhitungkan nilai waktu uang.
18.	BCR	=	Benefit Cost Ratio	Indikator untuk menetukan kelayakan ekonomi suatu teknologi.
19.	PBP	=	PayBack Periode	Waktu balik modal suatu teknologi.
20.	CRF	=	Capital Recovery Factor	faktor yang digunakan untuk mengubah nilai investasi awal menjadi serangkaian pembayaran tahunan yang sama besar selama periode tertentu.
21.	C_t	=	Biaya tahunan (Rp)	Biaya yang dikeluar pada periode tertentu.
22.	E_t	=	Energi Tahunan (kWh)	Energi yang dihasilkan pada periode tertentu.
23.	B_t	=	Manfaat Tahunan (Rp)	Manfaat yang dihasilkan pada periode tertentu.

24.	t	=	Tahun operasional sistem	Waktu operasional sistem bekerja.
25	r	=	Suku Bunga (%)	Persentase biaya atau imbal hasil dari penggunaan uang dalam periode waktu tertentu.

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS i

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI ii

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING iii

HALAMAN PENGESAHAN DEWAN PENGUJI iv

LEMBAR MONITORING REVISI SIDANG SKRIPSI v

LEMBAR KONSULTASI SKRIPSI viii

HALAMAN PERSEMBAHAN x

HALAMAN MOTTO xi

KATA PENGANTAR xii

ABSTRAK xiii

ABSTRACT xiv

DAFTAR ISTILAH xv

DAFTAR ISI xviii

DAFTAR TABEL xxi

DAFTAR GAMBAR xxii

DAFTAR LAMPIRAN xxiv

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 4

1.3 Tujuan Penelitian 4

1.4 Manfaat Penelitian 4

1.5 Batasan Masalah 5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 6

2.1. Penelitian Terdahulu 6
2.2. Energi Terbarukan 9
2.3. Energi Surya 10
2.4. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) 10
2.4.1 Panel Surya 11
2.4.2 Jenis-jenis Panel Surya 12
2.4.3 Inverter 15
2.4.4 Rangka-Atap 16
2.4.5 Data Logger 16
2.4.6 Weather Station 17
2.4.7 Sensor Suhu RTD1000 18
2.5. Implementasi Sistem PV Media Kanal Air 18
2.6. Implementasi Sistem PV Media Pasir 19
2.7. Analisis Penelitian 20
2.7.1 Kinerja 20
2.7.2 Tekno-Economi 22
BAB III METODOLOGI 25
3.1 Lokasi Penelitian 25
3.2 Metode Penelitian 25
3.3 Blok Diagram 27
3.4 Flowchart 28
3.5 Alat dan Bahan 29
3.5.1 Alat 29
3.5.2 Bahan 31
3.6 Tahap Perancangan 31
3.6.1 Desain Penelitian 31

3.6.2 Perakitan Sistem 32
3.6.3 Tahap Pengujian 32
3.6.4 Tahap Analisis 33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 34
4.1 Analisis Kinerja PV Bifacial Kanal Air dan Pasir 40
4.1.1 Analisis Daya 40
4.1.2 Analisis Energi 46
4.1.3 Analisis Performance Ratio 48
4.1.4 Analisis Kinerja PV Bifacial keseluruhan 49
4.2 Pengaruh Iklim terhadap daya PV Bifacial 54
4.3 Analisis Tekno-Ekonomi PV Bifacial Media Kanal Air dan Pasir 61
BAB V PENUTUP 67
5.1 Kesimpulan 67
5.2 Saran 68
DAFTAR PUSTAKA 70
LAMPIRAN 79
Lampiran 1. Anggaran Biaya Penelitian 79
Lampiran 2. Data Pengujian 80
Lampiran 3. Dokumentasi 80
Lampiran 4. Surat Penetepan Tarif PLN 84
Lampiran 5. Surat Dosen Pembimbing I 85
Lampiran 6. Surat Dosen Pembimbing II 87
Lampiran 7. Lembar Pengajuan Judul Skripsi 89
Lampiran 8. Pernyataan Jadwal Konsultasi 91
Lampiran 9. Lembar Monitoring Skripsi 93
Lampiran 10. Rekomendasi Ujian Skripsi 95

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu 6
Tabel 3. 1 Alat Penelitian.....29
Tabel 3. 2 Bahan Penelitian 31
Tabel 4. 1 Spesifikasi PV.....36
Tabel 4. 2 Pengujian STC PV 37
Tabel 4. 3 Pengujian PV Bifacial Media Kanal Air.....44
Tabel 4. 4 Pengujian PV Bifacial Media Pasir 45
Tabel 4. 5 Kinerja PV Bifacial dalam 1 bulan.....54
Tabel 4. 6 Pengaruh Kondisi Iklim Terhadap Daya pada PV Bifacial Media Kanal Air.....59
Tabel 4. 7 Pengaruh Kondisi Iklim Terhadap Daya pada PV Bifacial Media Pasir 60
Tabel 4. 8 Tekno-Ekonomi PV Bifacial Kanal Air 65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Energi matahari 10
Gambar 2. 2 Proses perubahan energi matahari menjadi energi listrik 11
Gambar 2. 3 Perbedaan proses penerimaan radiasi matahari antara monofacial dengan bifacial 12
Gambar 2. 4 Perbedaan teknologi (Bifacial & Monofacial) PV 13
Gambar 2. 5 Hubungan Sel PV dengan dioda bypass (a) Full Cell dan (b) Half-cut Cell 14
Gambar 2. 6 Inverter 16
Gambar 2. 7 Rangka penopang PV 16
Gambar 2. 8 Data logger 17
Gambar 2. 9 Weather Station 17
Gambar 2. 10 Sensor Suhu 18
Gambar 2. 11 Penerapan kanal air PV pada sistem irigasi pertanian 19
Gambar 2. 12 Penerapan Pasir PV, diwilayah lereng gunung 19
Gambar 3. 1 Metode Penelitian SDLC Waterfall 25
Gambar 3. 2 Blok Diagram Sistem keseluruhan 27
Gambar 3. 3 Flowchart sistem 28
Gambar 3. 4 Desain Penelitian 32
Gambar 4. 1 Perancangan Penelitian 34
Gambar 4. 2 Perancangan PV Bifacial Media Kanal Air 35
Gambar 4. 3 Perancangan PV Bifacial Media Kanal Air 35
Gambar 4. 4 Kurva Karakteristik PV (P-V) dan (I-V) modul PV 1 38
Gambar 4. 5 Kurva Karaketeristik PV (P-V) dan (I-V) modul PV 2 38
Gambar 4. 6 Kondisi Cuaca Pada Bulan April 39
Gambar 4. 7 Daya Per jam 41
Gambar 4. 8 Daya Per hari 42
Gambar 4. 9 Daya Per Minggu 43
Gambar 4. 10 Energi Per Hari 46
Gambar 4. 11 Energi Per Minggu 47
Gambar 4. 12 Performance Ratio (a) Per Hari, (b) Per Minggu 48

Gambar 4. 13 (a) Pengaruh suhu (b) Pengaruh irradiasi
,terhadap daya PV Bifacial 56
Gambar 4. 14 Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Daya BPV.....56
Gambar 4. 15 Pengaruh Curah Hujan Terhadap Daya BPV.....58

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Anggaran Biaya Penelitian 79
Lampiran 2. Data Pengujian.....80
Lampiran 3. Dokumentasi.....80
Lampiran 4. Surat Penetepan Tarif PLN 84
Lampiran 5. Surat Dosen Pembimbing I.....85
Lampiran 6. Surat Dosen Pembimbing II 87
Lampiran 7. Lembar Pengajuan Judul Skripsi 89
Lampiran 8. Pernyataan Jadwal Konsultasi 91
Lampiran 9. Lembar Monitoring Skripsi 93
Lampiran 10. Rekomendasi Ujian Skripsi 95

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Revolusi Industri memicu industrialisasi besar-besaran yang meningkatkan emisi gas rumah kaca dan mempercepat perubahan iklim. Sekitar 97% ilmuwan iklim sepakat bahwa aktivitas manusia menjadi faktor utama yang memperburuk perubahan lingkungan alami dalam dua abad terakhir. Gas seperti CO_2, metana, dan N_2O menahan panas di atmosfer melalui efek rumah kaca, sehingga memicu kenaikan suhu global dan perubahan lingkungan jangka panjang (Ko et al., 2024). Diprediksikan emisi karbon yang dihasilkan pada tahun 2029 yaitu sebesar 31,813 Gt CO_2 (Lu et al., 2022). Oleh karena itu, dilakukan transisi energi menuju sumber terbarukan seperti surya, angin, geothermal, dan pasang surut yang berpotensi menggantikan pembangkit listrik konvensional (Ghosh, 2023). Energi surya merupakan sumber energi paling melimpah, stabil, bersih, dan berkelanjutan, serta berpotensi menjadi dasar pembangunan berkelanjutan sesuai kondisi lingkungan global saat ini (Kaab et al., 2025). Dalam beberapa tahun terakhir, efisiensi sel surya terus meningkat. Peningkatan ini, bersama berbagai skema insentif yang mendukung pemanfaatan energi terbarukan, telah membuat sistem Photovoltaik (PV) semakin layak secara ekonomi (Shahverdian et al., 2023). Berdasarkan tinjauan literatur, panel PV tipe monofasial menunjukkan efisiensi penyerapan yang sangat terbatas, yakni sebesar 0,47%. Sebagai solusi atas rendahnya efisiensi tersebut, muncul inovasi PV bifasial yang menawarkan kemampuan ekstraksi energi matahari yang lebih optimal dibandingkan model konvensional yakni sebesar 3,46% (Hwang et al., 2023), hal tersebut karena PV bifacial dapat secara bersamaan mengumpulkan foton dari cahaya masuk dan cahaya albedo dari kedua sisi depan dan belakang, sedangkan PV monofacial (MPV) hanya dapat mengumpulkan foton dari sisi depan (Raina et al., 2020).

Kemampuan untuk menyerap radiasi baik dari sisi depan maupun sisi belakang pada bifacial, hal ini memungkinkan PV bifacial menghasilkan energi yang lebih tinggi dibandingkan dengan jenis monofacial dan, akibatnya, penurunan

biaya energi rata-rata dapat dicapai (Guerrero-Lemus et al., 2016). Suhu yang ekstrem dapat menyebabkan dampak jangka panjang dan langsung yang buruk. Dampak pertama timbul akibat pengoperasian PV pada suhu 25 derajat Celsius, yang mengakibatkan penurunan kinerja sebesar 0,4% hingga 0,65% untuk setiap kenaikan 1 derajat Celsius (Amalu et al., 2022). Berdasarkan pedoman umum yang dikeluarkan oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), pemasangan modul fotovoltaik di wilayah tropis menggunakan sudut kemiringan relatif pada kisaran minimum 10° hingga 15° dengan ketinggian 50 cm - 100 cm. Rentang sudut ini ditetapkan sebagai langkah mitigasi terhadap akumulasi debu pada permukaan modul, sekaligus untuk menjaga kinerja sistem agar tetap optimal selama masa operasional. (*Technology Data for the Indonesian Power Sector*, n.d.), sehingga pemasangan modul PV di bagian atas kanal merupakan alternatif yang sangat sesuai untuk penerapan WPV (Water Photovoltaik). Berbeda dengan sistem FPV (Floating Photovoltaik) yang dipasang di permukaan danau, struktur ini dipasang di atas kanal dengan variasi desain, sehingga biasanya terdapat jarak antara panel dan permukaan air. Konsep utama pengembangan sistem ini adalah menghindari persaingan penggunaan lahan dengan area pertanian, menjaga panel tetap lebih dingin untuk meningkatkan produksi listrik, sekaligus menekan laju evaporasi agar ketersediaan air untuk irigasi tetap terjaga (Ghosh, 2023). Pada penelitian sebelumnya menyatakan pemasangan modul PV pada bagian kanal 10 MWP menghasilkan rasio kinerja bulanan rata-rata, efisiensi sistem, dan efisiensi eksergi sistem, serta pengurangan evaporasi air masing-masing ditemukan 0,78, 11,90%, 12,03%, dan 95,54 juta liter per tahun (Kumar et al., 2020), sehingga memberikan keuntungan dibandingkan dengan PV berbasis darat kovensional (Warsido et al., 2014). Operasi fotovoltaik juga bergantung pada matahari, gurun, dan daerah kering sebagai lokasi yang sangat ideal untuk pengembangan teknologi ini, terutama karena ketersediaan sumber daya surya yang melimpah (Ammari et al., 2022), maka dari itu pemasangan modul PV di bagian atas pasir merupakan alternatif lain yang ideal dalam peningkatan performa PV, Dari penelitian sebelumnya pemasangan PV di bagian atas pasir menghasilkan rasio kinerja sebesar 74,3 % - 76,8% (Lamas et al., 2025) . Indonesia memiliki potensi energi surya yang sangat besar, setara dengan 207,8 Gigawatt (GW) kapasitas pembangkitan listrik,

berkat lokasinya yang berada di daerah khatulistiwa (Hidayatno et al., 2020). Berdasarkan laporan Institute for Essential Services Reform (IESR), Indonesia memiliki potensi PLTS yang sangat besar, potensi realistis yang dapat dicapai dalam jangka menengah adalah sekitar 35 -116 GWp, terutama di wilayah urban padat seperti Jabodetabek dan Jawa (Damayanti et al., 2019).

Pengembangan sistem pembangkit listrik tenaga surya (PV) selain mempertimbangkan aspek teknis seperti kinerja dan kemampuan sistem dalam menghasilkan energi listrik, kajian terhadap aspek ekonomi juga menjadi faktor penting dalam menentukan kelayakan penerapan teknologi tersebut. Analisis tekno-ekonomi diperlukan untuk mengevaluasi besarnya biaya yang harus dikeluarkan selama masa operasional sistem serta potensi keuntungan atau penghematan yang dapat diperoleh dari energi yang dihasilkan. Melalui pendekatan ini, dapat diketahui tingkat efisiensi biaya, kelayakan investasi, serta estimasi waktu yang diperlukan agar sistem dapat memberikan manfaat ekonomi bagi pengguna. Oleh karena itu, analisis tekno-ekonomi menjadi bagian penting dalam perencanaan dan pengembangan sistem PV agar implementasinya tidak hanya optimal secara teknis, tetapi juga layak secara finansial dalam jangka panjang.

Kondisi iklim dan karakteristik lingkungan tersebut menjadi dasar kuat relevansi penelitian ini untuk konteks wilayah tropis seperti Indonesia. Keterbatasan studi eksperimen lapangan yang secara langsung membandingkan kinerja modul fotovoltaik bifacial pada media kanal air dan pasir, baik dari sisi teknis maupun kelayakan ekonominya, menunjukkan masih adanya kesenjangan pengetahuan yang perlu dijembatani. Oleh karena itu, penelitian ini memiliki nilai kebaruan dengan menyajikan analisis komprehensif terhadap pengaruh perbedaan karakteristik permukaan terhadap peningkatan produksi energi sekaligus implikasinya terhadap indikator tekno-ekonomi seperti biaya energi, kelayakan investasi, dan waktu pengembalian modal. Hasil penelitian diharapkan tidak hanya memperkaya literatur terkait implementasi PV bifacial di lingkungan tropis, tetapi juga menjadi rujukan bagi pemerintah dan pemangku kepentingan dalam merumuskan kebijakan serta strategi pengembangan energi surya yang lebih efektif, efisien, dan berbasis kondisi nyata di lapangan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah yang didapatkan adalah sebagai berikut :

1. Seberapa besar perbedaan kinerja antara sistem PV bifacial yang terpasang di atas kanal air dengan sistem yang terpasang di atas pasir di bawah kondisi iradiasi iklim tropis yang fluktuatif?
2. Bagaimana pengaruh kecepatan angin, dan curah hujan serta suhu pada PV terhadap daya yang dihasilkan PV bifacial pada kanal air dan lahan pasir?
3. Bagaimana kelayakan ekonomi sistem PV bifacial pada kanal air dibandingkan di atas pasir?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Menganalisis dan membandingkan performa sistem fotovoltaik (PV) bifacial yang dipasang pada dua media berbeda, yaitu kanal air dan pasir, berdasarkan parameter daya keluaran, efisiensi konversi energi, dan energi total yang dihasilkan.
2. Mampu Mengevaluasi kontribusi kecepatan angin, dan curah hujan serta suhu pada PV terhadap daya yang dihasilkan PV bifacial.
3. Menganalisis kelayakan ekonomi sistem PV bifacial yang dipasang pada kanal air dan media pasir berdasarkan parameter LCOE, NPV, BCR dan PBP

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Menyediakan informasi perbandingan performa dan efisiensi energi antara PV kanal air dan PV pasir, yang dapat dijadikan dasar dalam pemilihan lokasi dan desain sistem PV.

2. Mendukung optimalisasi penggunaan modul bifacial dengan memperhatikan faktor albedo, suhu operasi, dan efek pantulan dari media di bawah panel.
3. Memberikan rekomendasi teknis untuk pengembangan instalasi PV yang efisien di wilayah berair (kanal, waduk, bendungan) maupun lahan berpasir (pesisir, gurun, atau lahan kering) dan skenario penempatan yang paling menguntungkan dan layak secara ekonomi.

1.5 Batasan Masalah

Adapun terdapat beberapa batasan masalah dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Penelitian ini tidak mempertimbangkan terkait ketinggian, sudut kemiringan, luas dimensi media dibawah PV, dan beban.
2. Tidak membahas jenis, dan kualitas media (air & pasir) dibawah PV.
3. Analisis tekno-ekonomi tidak mempertimbangkan fluktuasi harga listrik, inflasi, dan eskalasi biaya operasional di masa depan.
4. Penelitian tidak mengkaji integrasi sistem dengan jaringan listrik (grid interconnection).

DAFTAR PUSTAKA

Abdul, O., Probo, Y., Sudrajat, A., Malik, N., Priyadi, A., Faradilla, A., Sunarna, S., & Ambarita, H. (2025). *Results in Engineering Effects of cleaning interval of PV module and pyranometer on PV system performances in tropical climate of Indonesia*. *25*(January).

Abo-elfadl, S., Yousef, M. S., & Hassan, H. (2020). *Assessment of double-pass pin finned solar air heater at different air mass ratios via energy , exergy , economic , and environmental (4E) approaches*.

Abo-elfadl, S., Yousef, M. S., & Hassan, H. (2021). *Energy , exergy , and enviroeconomic assessment of double and single pass solar air heaters having a new design absorber*. *149*, 451–464.

Agrivoltaics, P. T., & Fern, E. F. (2022). *Overview of the Fundamentals and Applications of Bifacial Photovoltaic Technology: Agrivoltaics and Aquavoltaics*.

Al-shnynat, N., Sharizal, M., Aziz, A., Khor, C. Y., & Mustafa, H. (2025). *Thermal – optical trade-offs in on-water bifacial photovoltaic systems : Tilt-angle evaluation in a below-sea-level semi-arid region*. *521*(March).

Al-smairan, M., Ali, H., & Shboul, B. (2024). Heliyon Techno-enviro-economic analysis of grid-connected solar powered floating PV water pumping system for farmland applications : A numerical design model. *Heliyon*, *10*(18), e37888. doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e37888

Alamsyah, T., Hiendro, A., & Abidin, Z. (2021). Analisis Potensi Energi Matahari Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya Menggunakan Panel Mono-Crystalline dan Poly-Crystalline Di Kota Pontianak dan Sekitarnya. *Jurnal Teknik Elektronika*, 10. Retrieved from https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jteuntan/article/viewFile/48425/75676590121

Alibaba. (2024). *Stasiun Cuaca Nirkabel WS2320 Anemometer MISOL*. Retrieved

from https://www.alibaba.com/product-detail/WS2320-Wireless-Weather-Station-Anemometer-MISOL_10000015091952.html

Allen, C. (2023). *This is how bifacial solar modules increase the efficiency of PV systems*. Retrieved from https://us.hep.global/this-is-how-bifacial-solar-modules-increase-the-efficiency-of-pv-systems/

Amalu, E. H., & Fabunmi, O. A. (2022). Thermal control of crystalline silicon photovoltaic (c-Si PV) module using Docosane phase change material (PCM) for improved performance. *Solar Energy*, *234*(February), 203–221. doi: 10.1016/j.solener.2022.02.001

Ammari, N., Mehdi, M., Alami Merrouni, A., El Gallassi, H., Chaabelasri, E., & Ghennioui, A. (2022). Experimental study on the impact of soiling on the modules temperature and performance of two different PV technologies under hot arid climate. *Heliyon*, *8*(11). doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e11395

Anang, N., Syd Nur Azman, S. N. A., Muda, W. M. W., Dagang, A. N., & Daud, M. Z. (2021). Performance analysis of a grid-connected rooftop solar PV system in Kuala Terengganu, Malaysia. *Energy and Buildings*, *248*. doi: 10.1016/j.enbuild.2021.111182

Ansari, S., Ayob, A., Lipu, M. S. H., & Saad, M. H. (2021). *A Review of Monitoring Technologies for Solar PV Systems Using Data Processing Modules and Transmission Protocols : Progress , Challenges and Prospects*.

Bansal, N., Jaiswal, S. P., & Singh, G. (2022). Long term performance assessment and loss analysis of 9 MW grid tied PV plant in India. *Materials Today: Proceedings*, *60*, 1056–1067. doi: 10.1016/j.matpr.2022.01.263

Bernardes, G. F. L. R. (n.d.). *Prototyping Low-Cost Automatic Weather Stations for Natural Disaster Monitoring*.

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*. *71*(August).

Cafo, N. (2016). *ScienceDirect Economic feasibility analysis of small scale PV systems in different countries*. *131*, 81–95.

Chander, S., Purohit, A., Sharma, A., Nehra, S. P., & Dhaka, M. S. (2015). Impact of temperature on performance of series and parallel connected mono-crystalline silicon solar cells. *Energy Reports*, *1*, 175–180. doi: 10.1016/j.egyr.2015.09.001

Damayanti, H., Tumiwa, F., & Citraningrum, M. (2019). IESR-Technical-Note-Residential-Rooftop-Solar-Potential-in-34-Provinces-ID.pdf - IESR. *Iesr*, *20*, 1–16. Retrieved from https://iesr.or.id/download/iesr-technical-note-residential-rooftop-solar-potential-in-34-provinces-id-pdf

DAMIRI, D. J., & LAMANIA, R. R. L. (2023). Design and Simulation of On-Grid Rooftop Solar Power Plant (Rooftop PV) System on Office Buildings with a PLN Grid System. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, *11*(1), 231. doi: 10.26760/elkomika.v11i1.231

Del Pero, C., Aste, N., & Leonforte, F. (2021). The effect of rain on photovoltaic systems. *Renewable Energy*, *179*, 1803–1814. doi: 10.1016/j.renene.2021.07.130

Dias, D. L., Rampinelli, G. A., Garrido, G. N., Tejero, J. A., Cardona Ortín, M. S. de, & Bremermann, L. E. (2025). Performance assessment of bifacial and monofacial PV systems on different types of soils in a low-latitude site. *Renewable Energy*, *246*(February). doi: 10.1016/j.renene.2025.122868

Du, J., Zhou, H., Jacinthe, P., & Song, K. (2023). Retrieval of lake water surface albedo from Sentinel-2 remote sensing imagery. *Journal of Hydrology*, *617*(PA), 128904. doi: 10.1016/j.jhydrol.2022.128904

Ebhota, W. S., & Tabakov, P. Y. (2023). Influence of photovoltaic cell technologies and elevated temperature on photovoltaic system performance. *Ain Shams Engineering Journal*, *14*(7), 101984. doi: 10.1016/j.asej.2022.101984

Faisal Afif, & Awaludin Martin. (2022). Tinjauan Potensi dan Kebijakan Energi

Surya di Indonesia. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, Dan Material*, *6*(1), 43–52.

Ganesan, K., Winston, D. P., Sugumar, S., & Jegan, S. (2023). *Performance analysis of n-type PERT bifacial solar PV module under diverse albedo conditions*. *252*(June 2022), 81–90.

Ghosh, A. (2023). A comprehensive review of water based PV: Flotavoltaics, under water, offshore & canal top. *Ocean Engineering*, *281*(June), 115044. doi: 10.1016/j.oceaneng.2023.115044

Guerrero-Lemus, R., Vega, R., Kim, T., Kimm, A., & Shephard, L. E. (2016). Bifacial solar photovoltaics - A technology review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *60*, 1533–1549. doi: 10.1016/j.rser.2016.03.041

Guerriero, P., Tricoli, P., & Daliento, S. (2019). *A bypass circuit for avoiding the hot spot in PV modules*. *181*(November 2018), 430–438.

Hani, H., Pander, M., Jaeckel, B., Schneider, J., Bakhtiari, A., & Maier, W. (2019). *A novel electrical approach to protect PV modules under various partial shading situations*. *193*(October), 814–819.

Harahap, P. (2020). Pengaruh Temperatur Permukaan Panel Surya Terhadap Daya Yang Dihasilkan Dari Berbagai Jenis Sel Surya. *RELE (Rekayasa Elektrikal Dan Energi) : Jurnal Teknik Elektro*, *2*(2), 73–80. doi: 10.30596/rele.v2i2.4420

He, P., Bi, R., Xu, L., Yang, F., Wang, J., & Cao, C. (2022). *Study on Spatial and Temporal Characteristics of Surface Albedo at the Northern Edge of the Badain Jaran Desert Based on C + STNLFFM Model*.

Hidayatno, A., Setiawan, A. D., Wikananda Supartha, I. M., Moeis, A. O., Rahman, I., & Widiono, E. (2020). Investigating policies on improving household rooftop photovoltaics adoption in Indonesia. *Renewable Energy*, *156*(2020), 731–742. doi: 10.1016/j.renene.2020.04.106

Hwang, S., & Lee, H. (2023). *Characterization of Cost-Saving Monofacial PERC Module under Field Conditions in South Korea*. *2023*. doi:

10.1155/2023/6681252

Indonesia, D. (2025). *Waterfall Model: Pahami 5 Tahap Dasarnya untuk Sukseskan Proyek IT*. Retrieved from https://www.dicoding.com/blog/waterfall-model-pahami-5-tahap-dasarnya-untuk-sukseskan-proyek-it/

Kaab, A., Ghasemi-Mobtaker, H., Sharifi, M., & Jørgensen, U. (2025). Evaluating the viability of installing photovoltaic panels on irrigation canals for energy generation and water storage. *Energy Nexus*, *18*(April). doi: 10.1016/j.nexus.2025.100455

Katsaounis, T., Kotsovos, K., Gereige, I., Basaheeh, A., Abdullah, M., Khayat, A., Al-Habshi, E., Al-Saggaf, A., & Tzavaras, A. E. (2019). Performance assessment of bifacial c-Si PV modules through device simulations and outdoor measurements. *Renewable Energy*, *143*, 1285–1298. doi: 10.1016/j.renene.2019.05.057

Khamharnphol, R., Kamdar, I., Waewsak, J., Chiwamongkhonkarn, S., Khunpetch, S., Kongruang, C., & Gagnon, Y. (2023). Techno-Economic Assessment of a 100 kWp Solar Rooftop PV System for Five Hospitals in Central Southern Thailand. *International Journal of Renewable Energy Development*, *12*(1), 77–86. doi: 10.14710/ijred.2023.46864

Kivambe, M., Abdallah, A., Figgis, B., Scabbia, G., Abdelrahim, M., & Lopez-garcia, J. (2024). *Assessing vertical east-west bifacial photovoltaic systems in desert environments : Energy yield and soiling mitigation*. *279*(August).

Ko, J., Kai, C., Chen, X., & Palmer, D. A. (2024). *From emissions to emotions : Exploring the impact of climate change on happiness across 140 countries*. *6*.

Kolondam, Y. K. (2022). *Mengenal Metode SDLC dalam Pengembangan Software*. Retrieved from https://www.gamelab.id/news/1345-mengenal-metode-sdlc-dalam-pengembangan-software

Kumar, M., Chandel, S. S., & Kumar, A. (2020). Performance analysis of a 10 MWp utility scale grid-connected canal-top photovoltaic power plant under Indian climatic conditions. *Energy*, *204*. doi: 10.1016/j.energy.2020.117903

Lamas, D., Arns, G., Nofuentes, G., Aguilera, J., Sidrach, M., Ortín, D. C., & Elizeire, L. (2025). *Performance assessment of bifacial and monofacial PV systems on different types of soils in a low-latitude site*. *246*(March).

Li, B., Hong, W., Li, H., Lan, J., & Zi, J. (2022). Optimized energy distribution management in the nanofluid-assisted photovoltaic/thermal system via exergy efficiency analysis. *Energy*, *242*. doi: 10.1016/j.energy.2021.123018

Lu, J., Chen, H., & Cai, X. (2022). From global to national scenarios : Exploring carbon emissions to 2050. *Energy Strategy Reviews*, *41*(April), 100860. doi: 10.1016/j.esr.2022.100860

Mehdi, M., Ammari, N., Alami Merrouni, A., Benazzouz, A., & Dahmani, M. (2023). Experimental investigation on the effect of wind as a natural cooling agent for photovoltaic power plants in desert locations. *Case Studies in Thermal Engineering*, *47*(January), 103038. doi: 10.1016/j.csite.2023.103038

Oloya, I. T., Jl, T., & Adaramola, M. S. (2021). Case Studies in Thermal Engineering Techno-economic assessment of 10 MW centralised grid-tied solar photovoltaic system in Uganda. *Case Studies in Thermal Engineering*, *25*(March), 100928. doi: 10.1016/j.csite.2021.100928

Patra, C. A. F. (2022). Pengembangan Energi Terbarukan Dalam Upaya Mewujudkan Pembangunan Berkelanjutan Di Pt. Pertamina. *Jurnal Green Growth Dan Manajemen Lingkungan*, *11*(2), 113–122.

Persero, P. P. (2026). *Keputusan Tarif PLN 2026.pdf*.

Post, B. (2025). *Karangasem Pertama Mandiri dengan PLTS Kubu*. Retrieved from https://www.balipost.com/news/2025/05/14/457603/Karangasem-Pertama-Mandiri-dengan-PLTS...html

Pouran, H. M., Padilha, M., Lopes, C., Nogueira, T., Alves, D., & Branco, C. (2022). *iScience ll Environmental and technical impacts of floating photovoltaic plants as an emerging clean energy technology*. 1–16.

Pramadya, F. A., & Kim, K. N. (2024). *Promoting residential rooftop solar photovoltaics in Indonesia : Net-metering or installation incentives ?*

222(December 2023).

Pratomo, L. B., & Sinaga, N. (2021). Tinjauan Singkat Optimalisasi Pemanfaatan Energi Surya Pada Sektor Rumah Tangga. *Journal Publicuho*, *4*(2). doi: 10.35817/jpu.v4i2.18436

Putri, F. S., Mursid, P., & Daud, A. (2022). Rancang Bangun PLTS Kapasitas 50 Wp Menggunakan Reflektor untuk Meningkatkan Efisiensi Panel Surya. *Prosiding The 13th Industrial Research Workshop and National Seminar*, 304–309.

Raina, G., & Sinha, S. (2020). A simulation study to evaluate and compare monofacial Vs bifacial PERC PV cells and the effect of albedo on bifacial performance. *Materials Today: Proceedings*, *46*, 5242–5247. doi: 10.1016/j.matpr.2020.08.632

Samsurizal;, Mauriraya;, K. T., Fikri;, M., Pasra;, N., & Christiono; (2021). Buku PLTS.pdf. In Buku PLTS (pp. 1–53).

Sepúlveda-oviedo, E. H. (2025). *Impact of environmental factors on photovoltaic system performance degradation*. *59*(January).

Shahverdian, M. H., Sayyaadi, H., & Sohani, A. (2023). An optical-based comparative study to detect best configurations for installation of monofacial and bifacial PV technologies. *Solar Energy*, *266*(November). doi: 10.1016/j.solener.2023.112184

Shalenov, E. O., Seitkozhanov, Y. S., Valagiannopoulos, C., Ng, A., Dzhumagulova, K. N., & Jumabekov, A. N. (2022). *Solar Energy Materials and Solar Cells Performance evaluation of different designs of back-contact perovskite solar cells*. *234*(May 2021).

Shenghai. (2023). *Very Popular Aluminum Solar Panel Frames*. Retrieved from https://www.shenghai-alu.com/article/very-popular-aluminum-solar-panel-frames.106

Soulemane, K., Petsiuk, A., Mayville, P., Brown, L., & Pearce, J. M. (2022). *Monofacial vs bifacial solar photovoltaic systems in snowy environments*. *193*.

Studi, P., Elektro, T., Teknik, F., & Bhayangkara, U. (2022). *Implementasi Inverter Berbasis Square Wave dan Sinusoidal PWM Menggunakan Arduino Uno*. *15*(2), 182–191.

SUNRUNE. (2024). *Smart 1200W Micro Inverter with Wifi Monitor On Grid for Solar Panels*. Retrieved from https://www.sunrunesolar.com/smart-1200w-micro-inverter-with-wifi-monitor-on-grid-for-solar-panels-product/

Technology Data for the Indonesian Power Sector. (n.d.).

Tetap, B. (2026). *Bank Indonesia-Rate Tetap 4,75%*. *April*, 2026.

Tonadi, E., & Pratoto, A. (2019). *METAL: JURNAL SISTEM MEKANIK METAL: Jurnal Sistem Mekanik dan Termal Analisis Kinerja Pengering Surya Photovoltaic Thermal (PV/T) Pada Kondisi Tanpa Beban*. *02*(September), 59–67.

Vig, S., & Kumar, S. (2023). *Materials Today : Proceedings Analysis of temperature effect on PV panel*. *xxxx*.

Warsido, W. P., Bitsuamlak, G. T., Barata, J., & Gan Chowdhury, A. (2014). Influence of spacing parameters on the wind loading of solar array. *Journal of Fluids and Structures*, *48*, 295–315. doi: 10.1016/j.jfluidstructs.2014.03.005

Weather. (2026). *The Beaufort Wind Scale*. Retrieved from https://www.rmets.org/metmatters/beaufort-wind-scalehttps://www.rmets.org/metmatters/beaufort-wind-scale

Witteck, R., Siebert, M., Blankemeyer, S., Schulte-huxel, H., & Köntges, M. (2020). *Three Bypass Diodes Architecture at the Limit*. *10*(6), 1828–1838.

Wurster, T. S., & Schubert, M. B. (2014). *ScienceDirect Mismatch loss in photovoltaic systems*. *105*, 505–511.

Yakubu, R. O., Quansah, D. A., Mensah, L. D., Ahiataku-Togobo, W., Acheampong, P., & Adaramola, M. S. (2023). Comparison of ground-based and floating solar photovoltaic systems performance based on monofacial and bifacial modules in Ghana. *Energy Nexus*, *12*(June). doi:

10.1016/j.nexus.2023.100245

Yokogawa. (2022). *Touch Screen GP10/GP20*. Retrieved from https://www.yokogawa.com/id/solutions/information/oprex/oprex-measurement/oprex-data-acquisition/portable-data-acquisition/touch-screen-gp10-gp20/#Overview

Zhao, X., Yao, G., & Tyner, W. E. (2016). *Quantifying breakeven price distributions in stochastic techno-economic analysis*. *183*, 318–326.