

SKRIPSI

**STUDI PENGARUH SUDUT KEMIRINGAN PANEL
PLTS TERAPUNG DENGAN SISTEM OFF-GRID DI
WADUK RIAM KANAN MENGGUNAKAN PVSYST**



POLITEKNIK NEGERI BALI

Oleh :

RIAN PERMANA

NIM. 2315374041

**PROGRAM STUDI D4 TEKNIK OTOMASI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI BALI
2025**

STUDI PENGARUH SUDUT KEMIRINGAN PANEL PLTS TERAPUNG DENGAN SISTEM OFF-GRID DI WADUK RIAM KANAN MENGGUNAKAN PVSYST

Rian Permana

Program Studi D4 Teknik Otomasi

Politeknik Negeri Bali

ABSTRAK

Studi pengaruh sudut kemiringan panel PLTS terapung dengan sistem off-grid ini akan menganalisis potensi energi listrik yang dihasilkan dari radiasi matahari di waduk Riam Kanan. Pemanfaatan energi surya melalui sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) terapung menjadi salah satu solusi strategis untuk meningkatkan bauran energi terbarukan di Indonesia. Namun, kinerja sistem ini sangat dipengaruhi oleh parameter teknis, terutama sudut kemiringan panel surya yang menentukan intensitas radiasi matahari yang dapat diserap. Ketidaktepatan dalam menentukan sudut kemiringan dapat mengakibatkan penurunan Performance Ratio (PR), efisiensi sistem, dan produksi energi tahunan.

Studi ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi sudut kemiringan panel (15° , 20° , 25° , dan 30°) terhadap keluaran energi PLTS terapung dengan sistem off-grid di Waduk Riam Kanan, Kalimantan Selatan. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak PVSyst 7.4.0 untuk memperoleh gambaran kinerja sistem pada kondisi nyata. Hasil simulasi menunjukkan bahwa konfigurasi optimal diperoleh pada sudut kemiringan 15° , dengan produksi energi tahunan sebesar 183.667 kWh dan performance ratio (PR) sebesar 61,42. Perbedaan keluaran energi antara sudut kemiringan terendah (15°) dan tertinggi (30°) mencapai 4.544 kWh/tahun atau 2,47%, sementara PR tertinggi sebesar 64,6 dicapai pada kemiringan 30° .

Hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan signifikan kinerja sistem berdasarkan variasi sudut kemiringan panel. Sudut tertentu menghasilkan PR dan efisiensi yang lebih tinggi, sekaligus meningkatkan estimasi produksi energi tahunan.

Temuan ini menegaskan pentingnya optimasi sudut kemiringan dalam perancangan PLTS terapung di kawasan tropis untuk meningkatkan efisiensi sistem, serta mendukung pemanfaatan potensi energi surya di Indonesia secara berkelanjutan.

Kata kunci: *PLTS terapung, sudut kemiringan panel, PLTS off-grid, Waduk Riam Kanan, PVSyst, Performance Ratio*

**STUDY OF THE EFFECT OF THE INCLINE ANGLE OF FLOATING PV
PANEL WITH AN OFF-GRID SYSTEM IN RIAM KANAN RESERVOIR
USING PVSYST**

Rian Permana

Diploma 4 Automation Engineering Study Program

Bali State Polytechnic

ABSTRACT

This study of the influence of the tilt angle of the floating solar power plant panel with an off-grid system will analyze the potential for electrical energy generated from solar radiation in the Riam Kanan reservoir. Utilizing solar energy through floating solar power plants (FPV) is a strategic solution to increase the renewable energy mix in Indonesia. However, the performance of these systems is significantly influenced by technical parameters, particularly the tilt angle of the solar panels, which determines the amount of solar radiation absorbed. Inaccurate tilt angle determination can result in a decrease in the Performance Ratio (PR), system efficiency, and annual energy production.

This study aims to analyze the effect of variations in the panel tilt angle (15°, 20°, 25°, and 30°) on the energy output of a floating solar power plant with an off-grid system in the Riam Kanan Reservoir, South Kalimantan. Simulations were conducted using PVSyst 7.4.0 software to obtain an overview of system performance under real-world conditions. Simulation results indicate that the optimal configuration is obtained at a tilt angle of 15°, with an annual energy production of 183,667 kWh and a performance ratio (PR) of 61.42. The difference in energy output between the lowest (15°) and highest (30°) tilt angles reached 4,544 kWh/year, or 2.47%, while the highest PR of 64.6 was achieved at a 30° tilt.

The results showed significant differences in system performance based on variations in panel tilt angle. Certain angles resulted in higher PR and efficiency, while also increasing the estimated annual energy production.

These findings emphasize the importance of tilt angle optimization in the design of floating solar power plants (FPV) in tropical regions to increase system efficiency and support the sustainable utilization of solar energy potential in Indonesia.

Keywords: *floating solar power plant, panel tilt angle, off-grid solar power plant, Riam Kanan Reservoir, PV System, Performance Ratio*

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala, Tuhan Yang Maha Esa dan Maha Kuasa, karena atas limpahan rahmat dan karuniaNya, serta kesempatan yang diberikan, penulis akhirnya dapat menyelesaikan penyusunan skripsi dengan judul “Studi Pengaruh Sudut Kemiringan Panel PLTS Terapung Dengan Sistem Off-Grid Di Waduk Riam Kanan Dengan Menggunakan PVSyst”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat kelulusan pada Program Studi D4 Teknik Otomasi, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bali.

Penulis menyadari bahwa terselesaikannya skripsi ini tidak terlepas dari dukungan, bantuan, bimbingan, serta arahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan penghargaan dan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak I Nyoman Abdi, SE., M.eCom., selaku Direktur Politeknik Negeri Bali.
2. Bapak Ir. Kadek Amerta Yasa, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Bali.
3. Ibu Putri Alit Widyastuti Santiary, S.T., M.T., selaku Koordinator Program Studi Teknik Otomasi Politeknik Negeri Bali.
4. Bapak IGNA Dwijaya Saputra, S.T., M.T., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing I yang dengan penuh kesabaran memberikan arahan, masukan, serta motivasi yang sangat berharga bagi penulis.
5. Bapak I Made Aryasa Wiryawan, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II yang senantiasa meluangkan waktu untuk membimbing, memberikan masukan, serta dukungan hingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
6. Seluruh Bapak/Ibu dosen Jurusan Teknik Elektro yang telah membekali penulis dengan ilmu pengetahuan dan pengalaman yang bernilai selama masa studi.
7. Keluarga dan kerabat penulis yang selalu memberikan doa, dukungan, semangat, serta kasih sayang yang tiada henti.
8. Rekan-rekan mahasiswa serta semua pihak yang telah membantu, baik secara langsung maupun tidak langsung, yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis juga sepenuhnya memahami bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, mengingat keterbatasan pengetahuan dan kemampuan yang dimiliki. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan di masa mendatang.

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN UJIAN SKRIPSI.....	II
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	III
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN KARYA SKRIPSI.....	IV
ABSTRAK	V
ABSTRACT.....	VI
KATA PENGANTAR.....	VII
DAFTAR ISI	VIII
DAFTAR GAMBAR.....	X
DAFTAR TABEL	XII
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 LATAR BELAKANG.....	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH	2
1.3 BATASAN MASALAH.....	2
1.4 TUJUAN PENELITIAN	3
1.5 MANFAAT PENELITIAN	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 PENELITIAN SEBELUMNYA.....	4
2.2 ENERGI BARU TERBARUKAN	5
2.3 PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS).....	6
2.3.1 Prinsip Kerja PLTS.....	7
2.3.2 Jenis-jenis PLTS	8
2.3.3 Struktur Panel Surya (Solar Cell)	10
2.3.4 Floating PV Mounting System	11
2.3.5 Inverter.....	12
2.3.6 Maximum Power Point Tracking (MPPT)	14
2.3.7 Surge Protection Device (SPD)	14
2.3.8 Miniature Circuit Breaker (MCB)	15
2.3.9 Kabel.....	16
2.3.10 Combiner Box	17

2.4	PERHITUNGAN SISTEM PLTS	18
2.4.1	Perhitungan Sudut Optimal dan Sudut Kemiringan	18
2.4.2	Perhitungan Kapasitas PLTS	19
2.4.3	Perhitungan Output Daya PLTS	20
2.4.4	Perhitungan Nilai Arus dan Tegangan String.....	20
2.5	PVSYST	21
BAB III METODE PENELITIAN		22
3.1	LOKASI PENELITIAN.....	22
3.2	METODE PENELITIAN.....	22
3.3	SUMBER DATA.....	23
3.4	JENIS DATA.....	23
3.5	TEKNIK PENGUMPULAN DATA.....	23
BAB IV HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN		27
4.1	PERENCANAAN PLTS	27
4.2	PERHITUNGAN ENERGI.....	28
4.3	PERFORMANCE RATIO.....	32
4.4	SIMULASI PLTS OFF-GRID MENGGUNAKAN PVSYST 7.4.0	32
BAB V PENUTUP		42
5.1	KESIMPULAN	42
5.2	SARAN	42
DAFTAR PUSTAKA.....		44

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Proses Photovoltaic ^[12]	7
Gambar 2. 2 Konversi DC menjadi AC pada Panel Surya ^[13]	8
Gambar 2. 3 Jenis Konstruksi PLTS ^[12]	9
Gambar 2. 4 Jenis Teknologi Sel Surya ^[16]	10
Gambar 2. 5 Struktur Solar Cell ^[13]	11
Gambar 2. 6 Floating PV Mounting System ^[17]	12
Gambar 2. 7 Konfigurasi Inverter PV Sistem <i>Off-Grid</i> ^[19]	13
Gambar 2. 8 Tipe PV Inverter ^[19]	13
Gambar 2. 9 Contoh Algoritma MPPT ^[20]	14
Gambar 2. 10 Diagram Instalasi SPD ^[21]	15
Gambar 2. 11 Mekanisme MCB ^[22]	16
Gambar 2. 12 Kabel Untuk PV System ^[18]	17
Gambar 2. 13 Combiner Box ^[23]	18
Gambar 2. 14 Tampilan Interface PVSyst	21
Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian.....	22
Gambar 3. 2 Diagram Alur Penelitian	25
Gambar 4. 1 Waduk Riam Kanan	27
Gambar 4. 2 Kondisi Iklim di Waduk Riam Kanan	28
Gambar 4. 3 Modul PV AE Solar MD-144	29
Gambar 4. 4 Detail Mekanikal dan Desain Modul	29
Gambar 4. 5 Spesifikasi Teknis Modul PV	29
Gambar 4. 6 Detail PV Array Characteristics.....	30
Gambar 4. 7 Project Summary Tilt 15°	33
Gambar 4. 8 Project Summary Tilt 20°.....	33
Gambar 4. 9 Project Summary Tilt 25°.....	34
Gambar 4. 10 Project Summary Tilt 30°.....	34
Gambar 4. 11 Simulasi PVSyst Tilt Angle 15°.....	36
Gambar 4. 12 Simulasi PVSyst Tilt Angle 20°.....	36
Gambar 4. 13 Simulasi PVSyst Tilt Angle 25°.....	37
Gambar 4. 14 Simulasi PVSyst Tilt Angle 30°.....	37
Gambar 4. 15 Loss Diagram Tilt Angle 15°	39
Gambar 4. 16 Loss Diagram Tilt Angle 20°	39

Gambar 4. 17 Loss Diagram Tilt Angle 25°	40
Gambar 4. 18 Loss Diagram Tilt Angle 30°	40

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Jadwal Kegiatan.....	26
Tabel 4. 1 Losses PV System.....	30
Tabel 4. 2 Peak Sun Hour	31
Tabel 4. 3 Energi Keluaran PV	31
Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan PR.....	32
Tabel 4. 5 Produksi Energi PLTS	35

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan salah satu kebutuhan fundamental dalam menunjang keberlangsungan hidup dan pembangunan suatu negara. Perkembangan teknologi, pertumbuhan penduduk, dan peningkatan aktivitas industri telah menyebabkan permintaan energi terus meningkat dari tahun ke tahun. Di Indonesia, sebagian besar kebutuhan energi masih dipenuhi oleh sumber energi fosil seperti minyak bumi, gas, dan batu bara [1]. Ketergantungan terhadap energi fosil ini menimbulkan dua permasalahan utama, yaitu krisis energi akibat keterbatasan sumber daya dan dampak lingkungan berupa emisi gas rumah kaca yang memicu pemanasan global [2].

Untuk mengatasi hal tersebut, pengembangan energi baru terbarukan (EBT) menjadi strategi penting dalam mencapai ketahanan energi nasional. Pemerintah Indonesia melalui Keputusan Menteri ESDM Nomor 143 Tahun 2019 tentang Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (RUKN) 2019–2038 menargetkan bauran EBT sebesar 23% pada tahun 2025 dan minimal 31% pada tahun 2050 [3].

Berdasarkan Panduan Pengelolaan Lingkungan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang diterbitkan oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral tahun 2020, energi surya menjadi salah satu sumber EBT yang memiliki potensi sangat besar di Indonesia, dengan rata-rata intensitas radiasi matahari sebesar 4,8 kWh/m² per hari yang setara dengan potensi terpasang hingga 112.000 GWp [4]. Meski demikian, pemanfaatan energi surya di Indonesia masih tergolong rendah, dengan kapasitas terpasang sekitar 10 MWp [4].

Salah satu teknologi pemanfaatan energi surya yang berkembang pesat adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terapung (Floating Photovoltaic). Teknologi tersebut memanfaatkan area permukaan air, seperti waduk, danau, atau bendungan, sebagai lokasi pemasangan modul *photovoltaic*. Keunggulan sistem ini antara lain mengurangi evaporasi air, memanfaatkan lahan yang tidak produktif, serta mendapatkan pendinginan alami dari air yang dapat meningkatkan efisiensi konversi daya hingga 10% [5].

Intensitas radiasi matahari yang diterima modul surya menjadi faktor utama yang memengaruhi efisiensi keluaran energi PLTS. Salah satu faktor penting yang menentukan intensitas radiasi yang diterima adalah sudut kemiringan panel surya (*tilt angle*). Panel

yang dipasang dengan sudut kemiringan optimal akan menerima radiasi matahari lebih maksimal sehingga dapat meningkatkan produksi energi [6]. Panel surya menunjukkan kinerja paling efisien pada sudut kemiringan 15° dan menghadap ke sisi utara, di mana tegangan dan arus yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan sudut lainnya [7].

Waduk Riam Kanan, yang berlokasi di Kalimantan Selatan pada koordinat - 3.518499, 115.009202, merupakan salah satu lokasi yang memiliki potensi besar untuk penerapan PLTS terapung. Meski demikian, penelitian yang secara khusus menelaah pengaruh perubahan sudut kemiringan terhadap kinerja PLTS terapung dengan sistem *off-grid* di lokasi ini masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini akan melanjutkan eksplorasi mengenai pengaruh sudut kemiringan panel PLTS terapung dengan sistem *off-grid* di Waduk Riam Kanan, menggunakan perangkat lunak PVSyst untuk simulasi dan analisis data. Penelitian ini difokuskan untuk menganalisis pengaruh variasi sudut kemiringan panel (15° , 20° , 25° , dan 30°) terhadap keluaran energi PLTS. Dengan menggunakan perangkat lunak ini, diharapkan dapat diperoleh model yang lebih akurat mengenai performa panel surya dalam kondisi nyata, yang pada akhirnya dapat memberikan rekomendasi yang lebih baik untuk implementasi sistem PLTS di masa depan, khususnya untuk memanfaatkan sumber daya energi yang melimpah di Indonesia.

1.2 Perumusan Masalah

Merujuk pada penjelasan latar belakang yang telah dipaparkan, dirumuskan permasalahan penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi sudut kemiringan panel PLTS terhadap *output energy* dari PLTS Terapung dengan system *off-grid* di Waduk Riam Kanan?
2. Sudut kemiringan panel surya manakah yang menghasilkan output energi paling optimal pada PLTS terapung di Waduk Riam Kanan?
3. Berapa selisih *output energy* antara sudut kemiringan terendah dan tertinggi dari system PLTS Terapung tersebut?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka ditetapkan batasan masalah pada penelitian ini agar penelitian ini lebih fokus dan terarah, meliputi:

1. Penelitian menggunakan data hasil simulasi sistem PLTS off-grid menggunakan perangkat lunak PVSyst.
2. Sudut kemiringan panel yang dibandingkan adalah 15° , 20° , 25° , dan 30° , berdasarkan standar desain floater PLTS terapung yang umum digunakan.

3. Penelitian tidak membahas merk, jenis, karakteristik material dan konstruksi *floating photovoltaic*.
4. Studi ini tidak mempertimbangkan pengaruh *force majeure*, tingkat kelembapan udara, kecepatan angin, kondisi cuaca, maupun elevasi.
5. Analisis keekonomian dari sistem PLTS tidak termasuk dalam cakupan penelitian ini.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis *output energy* dari variasi sudut kemiringan panel PLTS terapung *off-grid* di Waduk Riam Kanan.
2. Menentukan sudut kemiringan optimal yang menghasilkan *output energy* tertinggi.
3. Mengukur selisih *output energy* yang dihasilkan antara sudut kemiringan terendah dan tertinggi pada PLTS Terapung tersebut.

1.5 Manfaat Penelitian

Sejalan dengan tujuan penelitian, penulis berharap hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memperdalam wawasan teknis mengenai desain dan optimalisasi PLTS terapung.
2. Memperkenalkan serta mengasah keterampilan dalam pemanfaatan PVSyst sebagai perangkat simulasi sistem *photovoltaic*.
3. Mengembangkan kompetensi akademis dan teknis mahasiswa di bidang energi terbarukan.
4. Menyediakan rekomendasi teknis berbasis penelitian untuk penerapan PLTS terapung sistem *off-grid*.
5. Mendukung strategi diversifikasi energi nasional melalui optimalisasi pemanfaatan sumber daya lokal.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Perbedaan sudut kemiringan panel PLTS dapat mempengaruhi *output energy* dari PLTS terapung system *off-grid* di Waduk Riam Kanan, dengan nilai energi keluaran pada setiap masing-masing sudut kemiringan panel seperti dijelaskan pada Tabel 4.5.
2. *Output energy* paling optimal yang dihasilkan oleh PLTS terapung system *off-grid* di Waduk Riam Kanan yang telah disimulasikan menggunakan PVSyst 7.4.0 adalah PLTS yang menggunakan konfigurasi sudut kemiringan panel 15°, yang menghasilkan energi sebesar 183.667 kWh/tahun dengan *performance ratio* 61,42.
3. Deviasi *output energy* yang dihasilkan oleh konfigurasi sudut kemiringan panel terendah 15° dengan sudut kemiringan panel tertinggi 30° yaitu 4.544 kWh/tahun atau 2,47% dengan nilai PR tertinggi dihasilkan oleh PLTS dengan sudut kemiringan panel 30° yaitu sebesar 64,6.

5.2 Saran

Sebagai penutup, penulis menyampaikan beberapa saran yang diharapkan dapat memberikan manfaat bagi pengembangan penelitian sejenis di masa mendatang, serta menjadi masukan praktis bagi pihak-pihak terkait. Saran yang disampaikan merupakan hasil refleksi dari temuan penelitian sekaligus keterbatasan yang penulis temui selama proses penyusunan skripsi. Saran tersebut antara lain:

1. Perlu dilakukan kajian lapangan secara lebih komprehensif untuk mengevaluasi kinerja dan efisiensi PLTS Terapung, mengingat terdapat banyak faktor yang mempengaruhi performa sistem. Langkah ini penting untuk memastikan bahwa hasil analisis benar-benar merepresentasikan kondisi nyata di lapangan.
2. Disarankan untuk menggunakan data pengukuran langsung terkait intensitas radiasi matahari dan suhu lingkungan di lokasi penelitian, sehingga perencanaan sistem dapat disesuaikan secara akurat dengan kondisi aktual.

3. Dalam perencanaan PLTS Terapung dengan sistem *off-grid* di Waduk Riam Kanan, perlu dilakukan optimalisasi pemanfaatan potensi daya berdasarkan luas muka air serta pengolahan data yang tepat berdasarkan kebutuhan energi. Hal ini bertujuan agar sistem yang dirancang mampu memenuhi target daya yang telah ditentukan.
4. Jika proyek PLTS Terapung diimplementasikan, proses operasi dan pemeliharaan harus dilaksanakan sesuai dengan Standar Operasional Prosedur (SOP) yang berlaku, guna menjaga keandalan, umur pakai, dan kinerja sistem secara berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Azhar and D. A. Satriawan, "Implementasi Kebijakan Energi Baru dan Energi Terbarukan Dalam Rangka Ketahanan Energi Nasional," 2018. [Daring]. Tersedia pada: <https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/alj/article/view/3837/2153>
- [2] K. Apriliyanti and D. Rizki, "Kebijakan Energi Terbarukan: Studi Kasus Indonesia Dan Norwegia Dalam Pengelolaan Sumber Energi Berkelanjutan," *J. Ilmu Pemerintahan Widya Praja*, vol. 49, no. 2, pp. 186–209, 2023.
- [3] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, "Keputusan Menteri ESDM Nomor 143 Tentang Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional Tahun 2019–2038," 2019. [Daring]. Tersedia pada: <https://jdih.esdm.go.id/>
- [4] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, "Panduan Pengelolaan Lingkungan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)," Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi, vol. 1, p. 84, 2020.
- [5] I. G. Ngurah and A. Dwijaya, "Draft Buku Ajar Pembangkit Listrik Tenaga Surya," 2019. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.scribd.com/document/692016>
- [6] T. M. A. Pandria, M. Muzakir, E. Mawardi, S. Samsuddin, M. Munawir, and M. Mukhlizar, "Penentuan Sudut Kemiringan Optimum Berdasarkan Energi Keluaran Panel Surya," *J. Serambi Eng.*, vol. 6, no. 1, 2021.
- [7] A. K. Albahar and M. F. Haqi, "Pengaruh Sudut Kemiringan Panel Surya (PV) Terhadap Keluaran Daya," *J. Elektro*, vol. 8, no. 2, pp. 115–122, 2020.
- [8] R. Pido, R. H. Boli, M. Rifal, W. Rauf, N. S. Dera, and R. R. Day, "Analisis pengaruh variasi sudut kemiringan terhadap optimasi daya panel surya," *RADIAL: Jurnal Peradaban Sains, Rekayasa dan Teknologi*, vol. 10, no. 2, pp. 234–240, 2022.
- [9] I. Wirajati and I. Natha, "Pengaruh sudut kemiringan dan arah penempatan terhadap daya keluaran pada modul panel surya," *Journal of Applied Mechanical Engineering and Green Technology*, vol. 2, no. 1, pp. 5–9, 2021.
- [10] A. Octavianti, M. Muliadi, dan A. Apriansyah, "Estimasi intensitas radiasi matahari di wilayah Kota Makassar," *Prisma Fisika*, vol. 6, no. 3, 2018.
- [11] A. Wibowo, "Instalasi Panel Listrik Surya," Penerbit Yayasan Prima Agus Teknik, pp. 1–185, 2022.
- [12] N. S. Politeknik dan N. Lhokseumawe, *Buku Teknologi Photovoltaic*. 2019. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.researchgate.net/publication/3419091>
- [13] M. P. M. Tas and W. G. van Sark, "Experimental repair technique for glass defects of glass-glass photovoltaic modules—A techno-economic analysis," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 257, p. 112397, 2023.
- [14] E. A. Karuniawan, "Analisis Perangkat Lunak PVSYSY, PVSOL dan HelioScope dalam Simulasi Fixed Tilt Photovoltaic," *Jurnal Teknologi Elektro*, vol. 12, no. 3, p. 100, Oct. 2021, doi: 10.22441/jte.2021.v12i3.001.
- [15] M. T. C. Wicaksono dan I. A. Bangsa, "Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Photovoltaic Rooftop Pada Gedung Gardu Induk Kantor Pusat Pt Pembangkit Jawa Bali," *Aisyah Journal of Informatics and Electrical Engineering*, pp. 107–115, 2022.
- [16] M. A. Green, et al., "Solar cell efficiency tables (Version 57)," *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, vol. 29, no. 1, pp. 3–15, 2021.
- [17] B. Ramadhani, "Instalasi pembangkit listrik tenaga surya Dos & Don'ts," Jakarta: GIZ, 2018.
- [18] K. Energi and S. D. Mineral, "Panduan Perencanaan dan Pemanfaatan PLTS atap di Indonesia," Jakarta: KESDM, 2020.

- [19] K. Zeb, W. Uddin, M. A. Khan, Z. Ali, M. U. Ali, N. Christofides, dan H. J. Kim, "A comprehensive review on inverter topologies and control strategies for grid connected photovoltaic system," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 94, hlm. 1120–1141, 2018. doi:10.1016/j.rser.2018.06.053.
- [20] M. L. Kathe, A. B. Makokha, S. O. Zachary, dan M. S. Adaramola, "A Comprehensive Review of Maximum Power Point Tracking (MPPT) Techniques Used in Solar PV Systems," *Energies*, vol. 16, no. 5, p. 2206, 2023. doi:10.3390/en16052206.
- [21] Y. Zhang, H. Chen, dan Y. Du, "Lightning protection design of solar photovoltaic systems: Methodology and guidelines," *Electric Power Syst. Res.*, vol. 174, p. 105877, 2019. doi:10.1016/j.epsr.2019.105877.
- [22] D. Feriyanto, "Perlindungan Terhadap Bahaya Hubung Singkat (Short Circuit) Pada Instalasi Listrik," *Aisyah J. of Informatics and Electrical Engineering*, vol. 1, no. 1, hlm. 23–29, 2019. doi:10.30604/JTI.V1I1.7.
- [23] T. Koerniawan, Aas, W. Hasanah, T. Elektro, and S. Tinggi Teknik -Pln, "KAJIAN SISTEM KINERJA PLTS OFF-GRID 1 kWp DI STT-PLN," 2018.
- [24] N. Arifin, "Unjuk Kerja Desain Perencanaan Dan Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya on-Grid Sistem Dc Coupling Kapasitas 17 Kwp Pada Gedung Hunian Graha Cendekia Yogyakarta Menggunakan Pvsyst 6.8.4, "the Performance of on-Grid Solar Power Plant Dc Couplin," 2019.
- [25] R. A. F. Hardani, Helmina Andriani, Jumari Ustiawaty, Evi Fatmi Utami, Ria Rahmatul Istiqomah, *Buku Metode Penelitian Kualitatif & Kuantitatif*, no. March. 2022.
- [26] H. Hardani, D. Juliana Sukmana, dan R. Fardani, *Buku Metode Penelitian Kualitatif & Kuantitatif*. 2020. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.researchgate.net/publication/340021548>
- [27] K. Abdullah dkk., *Metodologi Penelitian Kuantitatif*, no. May. 2017