



Studi Kontruksi dan Kegunaan Kabel Photovoltaik (PV) pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Berbasis *On-Grid* di Gedung BNI Tower PIK 2

Sudarmanto^{1*}, Sulistyo Widodo²

¹⁻² Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Dian Nusantara, Indonesia

*Penulis Korespondensi: 531212013@mahasiswa.undira.ac.id

Abstract. Solar Photovoltaic (PV) Power Plants have become one of the most promising renewable energy technologies to support sustainable energy development. In PV systems, photovoltaic (PV) cables function as the primary conductors for transmitting direct current (DC) electrical energy from solar modules to the inverter; therefore, their selection and installation must comply with applicable technical standards. This study aims to analyze the construction, characteristics, and applications of PV cables in the On-Grid Solar Power Plant installed at BNI Tower PIK 2. The research employed a field case study using descriptive and quantitative approaches through direct observation, voltage, current, and cable temperature measurements, as well as DC voltage drop analysis. The results indicate that the HI Z2Z2-K PV cable used in the system complies with IEC 62930:2017 standards and is constructed with tinned copper conductors and XLPO insulation, providing excellent resistance to high temperatures, ultraviolet radiation, humidity, and outdoor environmental conditions. The voltage drop calculations show that all measured strings exhibit voltage losses below the recommended maximum limit of 3%, resulting in no significant impact on system performance. Furthermore, thermal measurements reveal that the cable operating temperature remains within safe limits without indications of overheating. The study concludes that the use of standard-compliant PV cables and proper installation methods significantly contributes to the efficiency, safety, and long-term reliability of On-Grid photovoltaic power generation systems.

Keywords: IEC 62930; On-Grid Solar Power Plant; Photovoltaic Cable; System Efficiency; Voltage Drop.

Abstrak. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan salah satu teknologi energi terbarukan yang terus berkembang untuk mendukung kebutuhan energi yang berkelanjutan. Dalam sistem PLTS, kabel *Photovoltaic* (PV) berperan sebagai media penghantar energi listrik arus searah (DC) dari modul surya menuju inverter sehingga pemilihan dan penerapannya harus memenuhi standar teknis yang berlaku. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis konstruksi, karakteristik, dan kegunaan kabel PV pada sistem PLTS *On-Grid* yang terpasang di Gedung BNI Tower PIK 2. Metode penelitian yang digunakan adalah studi kasus lapangan dengan pendekatan deskriptif dan kuantitatif melalui observasi langsung, pengukuran tegangan, arus, dan suhu kabel, serta analisis rugi-rugi tegangan pada sisi DC. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kabel PV tipe HI Z2Z2-K yang digunakan telah memenuhi standar IEC 62930:2017 dengan konstruksi konduktor tembaga berlapis timah dan isolasi XLPO yang memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi, radiasi ultraviolet, kelembapan, serta kondisi lingkungan luar ruangan. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa persentase rugi-rugi tegangan pada seluruh string masih berada di bawah batas maksimum yang direkomendasikan, yaitu kurang dari 3%, sehingga tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap kinerja sistem. Selain itu, hasil pengukuran termal menunjukkan bahwa suhu operasi kabel masih berada dalam batas aman dan tidak menimbulkan indikasi *overheating*. Penelitian ini menyimpulkan bahwa pemilihan kabel PV yang sesuai standar dan metode instalasi yang tepat berpengaruh penting terhadap efisiensi, keamanan, dan keandalan sistem PLTS *On-Grid* dalam jangka panjang.

Kata kunci: Efisiensi Sistem; IEC 62930; Kabel *Photovoltaic*; PLTS *On-Grid*; Rugi-rugi Tegangan.

1. LATAR BELAKANG

Peningkatan kebutuhan energi listrik global yang diiringi dengan isu perubahan iklim dan keterbatasan sumber energi fosil mendorong berbagai negara untuk mempercepat pemanfaatan energi terbarukan. Salah satu teknologi yang berkembang paling pesat adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berbasis fotovoltaik (*Photovoltaic*/PV). Teknologi ini dinilai mampu menghasilkan energi listrik yang bersih, ramah lingkungan, serta memiliki potensi penerapan yang luas pada sektor perumahan, komersial, maupun industri. Indonesia

sebagai negara tropis yang berada di garis khatulistiwa memiliki potensi energi surya yang sangat besar dengan tingkat penyinaran matahari yang relatif stabil sepanjang tahun. Kondisi tersebut menjadikan PLTS sebagai salah satu solusi strategis dalam mendukung program transisi energi nasional menuju target *Net Zero Emission* (NZE).

Dalam implementasinya, sistem PLTS *On-Grid* menjadi model yang paling banyak diterapkan pada bangunan komersial karena mampu terintegrasi langsung dengan jaringan listrik PLN. Sistem ini memungkinkan energi yang dihasilkan modul surya digunakan untuk memenuhi kebutuhan beban lokal, sedangkan kelebihan energi dapat disalurkan ke jaringan listrik. Sebaliknya, ketika produksi energi surya menurun, kebutuhan daya dapat dipenuhi oleh jaringan utilitas sehingga kontinuitas pasokan listrik tetap terjaga. Karakteristik tersebut menjadikan sistem *On-Grid* lebih efisien dibandingkan sistem *off-grid* yang memerlukan penyimpanan energi berbasis baterai. Penelitian yang dilakukan oleh Babu et al. menunjukkan bahwa sistem PLTS *On-Grid* memiliki tingkat efisiensi operasional yang tinggi apabila seluruh komponen sistem dirancang sesuai standar teknis internasional (Babu et al., 2023).

Meskipun modul surya dan inverter sering menjadi fokus utama dalam perancangan PLTS, komponen pendukung seperti kabel *photovoltaic* (PV) memiliki peran yang tidak kalah penting. Kabel PV berfungsi sebagai media penghantar energi listrik dari modul surya menuju inverter dan sistem distribusi tenaga listrik. Kinerja sistem PLTS tidak hanya ditentukan oleh efisiensi modul surya, tetapi juga dipengaruhi oleh kualitas penghantar yang digunakan. Pemilihan kabel yang tidak sesuai spesifikasi dapat menyebabkan peningkatan resistansi penghantar, rugi-rugi tegangan (*voltage drop*), kenaikan temperatur kabel, penurunan efisiensi sistem, bahkan berpotensi menimbulkan risiko keselamatan instalasi.

Berdasarkan data teknis penelitian ini, sistem PLTS *On-Grid* di Gedung BNI Tower PIK 2 menggunakan kabel PV tipe H1Z2Z2-K yang dirancang khusus untuk aplikasi fotovoltaik. Kabel tersebut memiliki konstruksi konduktor tembaga berlapis timah (*tinned copper*) dengan isolasi dan selubung luar berbahan *Cross-Linked Polyolefin* (XLPO) yang tahan terhadap radiasi ultraviolet (UV), kelembapan, ozon, serta suhu operasi tinggi. Selain itu, kabel yang digunakan telah memenuhi standar IEC 62930 dan EN 50618 yang menjadi standar internasional utama dalam instalasi sistem fotovoltaik. Spesifikasi tersebut menunjukkan bahwa pemilihan kabel pada sistem PLTS tidak hanya mempertimbangkan kemampuan penghantaran arus, tetapi juga faktor keandalan dan ketahanan lingkungan sebagaimana dijelaskan dalam dokumen teknis penelitian.

Kajian mengenai performa sistem PLTS dalam beberapa tahun terakhir menunjukkan bahwa rugi-rugi energi pada sistem distribusi internal masih menjadi salah satu faktor yang memengaruhi efisiensi keseluruhan sistem. Penelitian Owolabi et al. menemukan bahwa performa sistem PLTS yang terhubung ke jaringan sangat dipengaruhi oleh kualitas komponen penghantar dan konfigurasi instalasi yang digunakan (Owolabi, Yakub, Luqman, Same, & Suh, 2023). Temuan serupa juga disampaikan oleh Ibrahim et al. yang menunjukkan bahwa efisiensi sistem PLTS tidak hanya bergantung pada karakteristik modul surya dan inverter, tetapi juga dipengaruhi oleh rugi-rugi daya pada sistem pengkabelan (Ibrahim *et al.*, 2023). Dengan demikian, analisis terhadap kabel PV menjadi penting untuk memastikan energi yang dihasilkan dapat ditransmisikan secara optimal menuju inverter dan jaringan distribusi.

Penelitian terdahulu umumnya berfokus pada optimasi performa modul surya, algoritma *Maximum Power Point Tracking* (MPPT), efisiensi inverter, dan integrasi PLTS dengan jaringan listrik. Boubii et al., misalnya, meneliti strategi pengendalian dan optimasi sistem PLTS *On-Grid* melalui pendekatan model *predictive control* untuk meningkatkan kualitas daya dan stabilitas sistem (Boubii *et al.*, 2023). Sementara itu, Gada et al. lebih menekankan kajian terhadap performa inverter multilevel dalam meningkatkan kualitas daya pada sistem PLTS yang terhubung dengan jaringan listrik (Gada *et al.*, 2023a). Kajian-kajian tersebut memberikan kontribusi penting dalam pengembangan sistem PLTS, namun belum secara spesifik membahas konstruksi kabel PV dan pengaruhnya terhadap performa sistem pada instalasi komersial skala besar.

Berdasarkan telaah literatur tersebut, terdapat kesenjangan penelitian (*research gap*) yang cukup jelas. Sebagian besar penelitian terkini masih memusatkan perhatian pada peningkatan efisiensi konversi energi melalui pengembangan modul surya, sistem kontrol, dan inverter, sedangkan kajian mengenai konstruksi kabel PV sebagai komponen penghantar energi relatif masih terbatas. Padahal, dalam sistem PLTS yang memiliki kapasitas besar dan jarak instalasi kabel yang cukup panjang, pemilihan jenis kabel dan karakteristik konstruksinya dapat memengaruhi besarnya rugi-rugi tegangan, keamanan instalasi, serta keandalan operasi sistem dalam jangka panjang. Selain itu, penelitian yang mengkaji secara langsung penggunaan kabel PV standar IEC 62930 dan EN 50618 pada bangunan komersial di Indonesia masih sangat sedikit ditemukan.

Kebaruan (*novelty*) penelitian ini terletak pada analisis konstruksi dan kegunaan kabel *photovoltaic* tipe H1Z2Z2-K yang digunakan pada sistem PLTS *On-Grid* Gedung BNI Tower PIK 2 dengan mengacu pada standar IEC 62930 dan EN 50618. Penelitian tidak hanya mengkaji karakteristik material penyusun kabel, tetapi juga mengevaluasi pengaruh konstruksi

kabel terhadap kemampuan hantar arus, ketahanan lingkungan, serta potensi rugi-rugi tegangan pada sistem inverter berkapasitas 100 kW dan 50 kW. Dengan demikian, penelitian ini memberikan perspektif yang lebih komprehensif mengenai pentingnya pemilihan kabel PV dalam mendukung efisiensi dan keandalan sistem PLTS.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis konstruksi kabel photovoltaic yang digunakan pada sistem PLTS *On-Grid* di Gedung BNI Tower PIK 2 serta mengkaji kegunaannya terhadap performa sistem. Secara khusus penelitian ini bertujuan mengidentifikasi karakteristik teknis kabel PV berdasarkan standar IEC 62930 dan EN 50618, membandingkan konstruksi kabel PV dengan kabel konvensional, serta mengevaluasi pengaruh penggunaan kabel PV terhadap kemampuan penghantaran arus dan rugi-rugi tegangan pada sistem PLTS.

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan pendekatan studi kasus pada instalasi PLTS *On-Grid* Gedung BNI Tower PIK 2. Data penelitian diperoleh melalui observasi lapangan, dokumentasi teknis sistem, spesifikasi peralatan, data *sheet* kabel PV tipe H1Z2Z2-K, serta standar internasional yang relevan. Analisis dilakukan terhadap konstruksi kabel, kemampuan hantar arus, standar teknis yang digunakan, dan perhitungan rugi-rugi tegangan pada sisi DC maupun AC sistem PLTS. Pendekatan tersebut dipilih untuk memberikan gambaran yang komprehensif mengenai hubungan antara karakteristik kabel PV dengan performa operasional sistem PLTS yang diteliti.

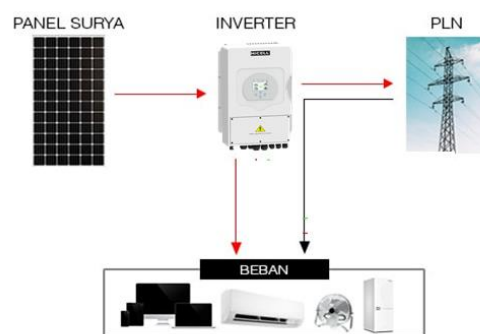
2. KAJIAN TEORITIS

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *On-Grid*

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan sistem pembangkit yang mengubah energi radiasi matahari menjadi energi listrik melalui modul fotovoltaik (*photovoltaic module*). Pada sistem PLTS *On-Grid*, energi listrik yang dihasilkan modul surya disalurkan menuju inverter untuk dikonversi dari arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC), kemudian digunakan untuk memenuhi kebutuhan beban dan terhubung secara langsung dengan jaringan utilitas. Sistem ini banyak diterapkan pada bangunan komersial karena memiliki efisiensi yang tinggi dan tidak memerlukan sistem penyimpanan energi dalam bentuk baterai. Menurut Chandra Babu et al., sistem PLTS *On-Grid* memiliki keunggulan berupa kontinuitas suplai energi yang lebih baik serta biaya investasi yang lebih rendah dibandingkan sistem *off-grid* karena memanfaatkan jaringan listrik sebagai sumber cadangan (Babu et al., 2023).

Secara umum, sistem PLTS terdiri atas modul surya, inverter, kabel DC, kabel AC, sistem proteksi, *grounding*, dan jaringan distribusi. Kinerja keseluruhan sistem tidak hanya ditentukan oleh efisiensi modul surya dan inverter, tetapi juga dipengaruhi oleh kualitas penghantar yang digunakan dalam mendistribusikan energi listrik. Oleh karena itu, aspek pengkabelan menjadi bagian penting dalam menjaga keandalan dan keselamatan operasi sistem. Penelitian oleh Owolabi et al. menunjukkan bahwa konfigurasi komponen dan kualitas instalasi berpengaruh signifikan terhadap performa sistem PLTS yang terhubung ke jaringan listrik (Owolabi *et al.*, 2023).

Skema umum sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya On Grid



Gambar 1. Skema Umum Sistem PLTS On Grid.

Kabel *Photovoltaic* (PV)

Kabel *photovoltaic* (PV) merupakan penghantar listrik khusus yang dirancang untuk aplikasi sistem tenaga surya. Berbeda dengan kabel listrik konvensional, kabel PV memiliki karakteristik yang mampu bertahan terhadap radiasi ultraviolet (UV), ozon, kelembapan, perubahan temperatur ekstrem, serta tekanan mekanis akibat pemasangan di lingkungan luar ruangan. Berdasarkan data penelitian, kabel yang digunakan pada sistem PLTS *On-Grid* Gedung BNI Tower PIK 2 adalah kabel tipe H1Z2Z2-K dengan konduktor tembaga berlapis timah (*tinned copper*) dan isolasi *Cross-Linked Polyolefin* (XLPO) yang memenuhi standar IEC 62930 dan EN 50618. Karakteristik tersebut memberikan ketahanan yang lebih baik terhadap korosi serta memungkinkan kabel beroperasi pada temperatur tinggi dengan umur pakai yang lebih panjang dibandingkan kabel konvensional.

Menurut Mokhtari et al., kualitas material penghantar dan isolasi pada sistem fotovoltaik memiliki pengaruh langsung terhadap keandalan dan umur operasi sistem. Penggunaan konduktor berbahan tembaga berlapis timah mampu mengurangi risiko korosi dan menjaga stabilitas resistansi penghantar selama masa operasi jangka panjang (Wangsupphaphol & Chaitusaney, 2022). Oleh karena itu, pemilihan kabel PV yang sesuai

standar internasional menjadi salah satu faktor penting dalam menjamin keamanan dan efisiensi sistem PLTS.

Standar Kabel *Photovoltaic*

Penggunaan kabel pada sistem fotovoltaik harus memenuhi standar internasional untuk menjamin keamanan dan keandalan sistem. Standar IEC 62930 mengatur spesifikasi kabel listrik untuk sistem fotovoltaik yang meliputi konstruksi konduktor, bahan isolasi, kemampuan hantar arus, ketahanan terhadap temperatur tinggi, serta ketahanan terhadap pengaruh lingkungan. Selain itu, standar EN 50618 mengatur persyaratan kabel fotovoltaik dengan tegangan nominal 1,5 kV DC dan kemampuan operasi pada lingkungan luar ruangan.

Dalam penelitian ini, kabel yang digunakan telah memenuhi kedua standar tersebut sehingga mampu bekerja pada suhu tinggi dan tahan terhadap paparan sinar ultraviolet. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang menunjukkan bahwa konstruksi kabel PV berbeda dengan kabel konvensional karena menggunakan material XLPO yang memiliki karakteristik lebih tahan terhadap panas dan degradasi lingkungan dibandingkan material PVC pada kabel biasa.

Penelitian yang dilakukan oleh Miranda Sanchez et al. menunjukkan bahwa pemenuhan standar internasional pada sistem pengkabelan mampu meningkatkan keamanan instalasi dan memperpanjang umur operasional sistem fotovoltaik (Miranda Sanchez, Seuret Jiménez, Contreras Valenzuela, & Nieto Jalil, 2024). Dengan demikian, standar IEC 62930 dan EN 50618 menjadi acuan utama dalam pemilihan kabel untuk aplikasi PLTS.

Rugi-Rugi Tegangan (*Voltage Drop*) pada Sistem PLTS

Rugi-rugi tegangan (*voltage drop*) merupakan penurunan tegangan yang terjadi sepanjang penghantar akibat adanya resistansi kabel. Dalam sistem PLTS, rugi-rugi tegangan dapat terjadi pada sisi arus searah (DC) maupun sisi arus bolak-balik (AC). Besarnya rugi-rugi tegangan dipengaruhi oleh panjang kabel, luas penampang penghantar, jenis material konduktor, temperatur lingkungan, serta besar arus yang mengalir. Berdasarkan kajian pada penelitian ini, semakin panjang penghantar dan semakin kecil luas penampang kabel, maka resistansi akan meningkat sehingga menyebabkan rugi-rugi tegangan yang lebih besar.

(Ebhotu & Tabakov, 2025) menjelaskan bahwa rugi-rugi daya akibat penghantar menjadi salah satu penyebab berkurangnya efisiensi sistem fotovoltaik, sehingga perencanaan sistem pengkabelan yang tepat sangat diperlukan untuk meminimalkan kehilangan energi selama proses transmisi daya. Temuan tersebut memperkuat pentingnya penggunaan kabel PV yang memenuhi standar serta memiliki kemampuan hantar arus yang sesuai dengan kebutuhan sistem.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan pendekatan studi kasus (*case study*) pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *On-Grid* yang terpasang di Gedung BNI Tower PIK 2. Pendekatan studi kasus dipilih karena penelitian difokuskan pada pengkajian secara mendalam terhadap konstruksi dan kegunaan kabel *photovoltaic* (PV) pada suatu sistem PLTS tertentu berdasarkan kondisi aktual di lapangan. Menurut (Purnia, Adiwisastro, Muhajir, & Supriadi, 2020) metode studi kasus pada bidang teknik sangat efektif digunakan untuk menganalisis karakteristik komponen dan performa sistem secara komprehensif melalui pengamatan langsung dan evaluasi data teknis. Pendekatan ini memungkinkan peneliti memperoleh gambaran yang lebih rinci mengenai kesesuaian penggunaan kabel PV terhadap standar instalasi fotovoltaiik serta pengaruhnya terhadap kinerja sistem.

Objek penelitian meliputi sistem pengkabelan pada instalasi PLTS *On-Grid* Gedung BNI Tower PIK 2 yang terdiri atas kabel sisi arus searah (DC), kabel sisi arus bolak-balik (AC), dan sistem grounding. Fokus utama penelitian diarahkan pada kabel *photovoltaic* tipe H1Z2Z2-K yang digunakan sebagai penghantar energi listrik dari modul surya menuju inverter serta penghantar pada sistem distribusi tenaga listrik. Data teknis yang dianalisis meliputi konstruksi kabel, luas penampang penghantar, kemampuan hantar arus (KHA), standar kabel, material isolasi, serta parameter yang memengaruhi rugi-rugi tegangan. Seluruh spesifikasi tersebut diperoleh berdasarkan data lapangan dan dokumentasi teknis sistem yang digunakan pada instalasi PLTS.

Sumber data dalam penelitian terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui observasi langsung pada instalasi PLTS *On-Grid* Gedung BNI Tower PIK 2 serta dokumentasi terhadap konfigurasi sistem pengkabelan yang digunakan. Sementara itu, data sekunder diperoleh dari data sheet kabel PV tipe H1Z2Z2-K, spesifikasi inverter, standar IEC 62930, EN 50618, Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) SNI 0225:2011, serta berbagai referensi ilmiah yang berkaitan dengan sistem fotovoltaiik. Penggunaan data primer dan sekunder secara bersamaan dilakukan untuk meningkatkan akurasi dan validitas hasil penelitian. Sebagaimana dijelaskan oleh (Zenebe, Midtgård, & Völler, 2026) kombinasi antara data lapangan dan data teknis standar internasional dapat menghasilkan evaluasi yang lebih komprehensif terhadap performa komponen sistem fotovoltaiik.

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui observasi, dokumentasi, dan studi pustaka. Observasi dilakukan dengan mengamati langsung sistem instalasi PLTS dan jenis kabel yang digunakan pada sisi DC maupun AC. Dokumentasi dilakukan dengan

mengumpulkan data teknis berupa gambar instalasi, spesifikasi kabel, kapasitas inverter, serta standar yang digunakan pada sistem. Studi pustaka dilakukan dengan menelaah berbagai referensi berupa standar internasional, buku, dan artikel ilmiah yang relevan dengan topik penelitian. Teknik tersebut digunakan untuk memperoleh informasi yang mendukung analisis mengenai karakteristik konstruksi kabel dan pengaruhnya terhadap performa sistem PLTS.

Metode analisis data analisis rugi-rugi tegangan dilakukan berdasarkan hasil pengukuran tegangan dan arus serta spesifikasi kabel PV yang digunakan. Nilai rugi-rugi tegangan dihitung dengan mempertimbangkan resistansi penghantar yang dipengaruhi oleh panjang kabel, luas penampang konduktor, dan besar arus yang mengalir Analisis kinerja kabel Photovoltaic (PV) dilakukan dengan menghitung rugi-rugi tegangan pada sisi DC berdasarkan hasil pengukuran tegangan dan arus. Perhitungan rugi tegangan dilakukan menggunakan persamaan dasar penghantar listrik sebagai berikut:

Secara teoritis, rugi-rugi tegangan pada sistem DC PLTS dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$V_{drop} = I \times R \quad (i)$$

Dimana :

- V_{drop} = Rugi-rugi tegangan (V)
- I = Arus listrik (A)
- R = Resistansi kabel (Ω)

Resistansi kabel dapat dihitung dengan:

$$R = \rho \times \frac{L_{total}}{A} \quad (ii)$$

Dimana : R : Resistensi konduktor (Ω)

ρ : Resistivitas material ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)

L : Panjang konduktor (m)

A : Luas penampang konduktor (mm^2)

Karena sistem DC menggunakan dua penghantar (positif dan negatif), maka panjang efektif kabel menjadi dua kali panjang lintasan satu arah.

Untuk mengevaluasi efesiensi sistem, rugi tegangan sering dinyatakan dalam bentuk persentase dibandingkan dengan tegangan keluaran sumber atau tegangan yang dibutuhkan oleh beban. Rumusnya adalah :

$$\text{Persentase Rugi-rugi tegangan} = \frac{V_{drop}}{V_{sumber}} \times 100 \% \quad (iii)$$

Hasil perhitungan rugi-rugi tegangan kemudian dibandingkan dengan batas toleransi rugi tegangan yang direkomendasikan pada sistem PLTS sisi DC, yaitu berkisar antara 1–3% dari tegangan nominal sistem. Selain itu, spesifikasi konstruksi dan material kabel PV dianalisis kesesuaiannya terhadap persyaratan standar IEC 62930 dan IEC 60364-7-712

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Konstruksi Kabel Photovoltaic pada Sistem PLTS *On-Grid* Gedung BNI Tower PIK 2

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem PLTS *On-Grid* yang terpasang di Gedung BNI Tower PIK 2 menggunakan kabel photovoltaic (PV) tipe H1Z2Z2-K sebagai penghantar utama pada sisi arus searah (DC). Pemilihan kabel tersebut didasarkan pada kesesuaian spesifikasi teknis terhadap standar internasional IEC 62930 dan EN 50618 yang secara khusus dirancang untuk aplikasi sistem fotovoltaik. Berdasarkan data teknis yang diperoleh, kabel PV memiliki konstruksi konduktor tembaga berlapis timah (*tinned copper*) yang berfungsi meningkatkan ketahanan terhadap korosi dan menjaga stabilitas penghantaran arus listrik dalam jangka panjang. Selain itu, material isolasi dan selubung luar menggunakan *Cross-Linked Polyolefin* (XLPO) yang memiliki ketahanan tinggi terhadap radiasi ultraviolet (UV), ozon, kelembapan, serta temperatur operasi yang tinggi. Kondisi ini sangat penting mengingat instalasi PLTS ditempatkan pada area terbuka yang terpapar langsung oleh pengaruh lingkungan luar.

Temuan tersebut menunjukkan bahwa konstruksi kabel PV berbeda secara signifikan dibandingkan kabel konvensional seperti NYA, NYM, atau NYY yang umumnya menggunakan material isolasi berbahan PVC dan dirancang untuk instalasi umum. Pada kabel konvensional, ketahanan terhadap suhu tinggi dan paparan sinar ultraviolet relatif lebih rendah sehingga kurang sesuai digunakan pada instalasi fotovoltaik jangka panjang. Sebaliknya, kabel PV dirancang untuk mempertahankan performa penghantaran arus pada kondisi lingkungan yang ekstrem tanpa mengalami degradasi material yang signifikan. Perbedaan konstruksi tersebut juga berpengaruh terhadap aspek keselamatan instalasi, umur pakai sistem, dan efisiensi penghantaran daya listrik.

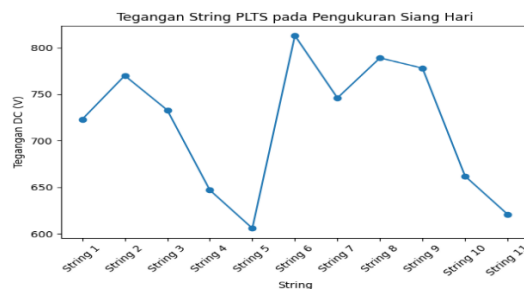
Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian (Dr. N. Vasantha Gowri, Dr. T. Murali Krishna, Dr. G. Suresh Babu, & Dr. K. Krishnaveni, 2024) yang menyatakan bahwa kualitas material konduktor dan isolasi merupakan faktor utama yang menentukan keandalan komponen pada sistem fotovoltaik. Material konduktor tembaga berlapis timah mampu mengurangi potensi oksidasi yang dapat meningkatkan resistansi penghantar, sedangkan

penggunaan material XLPO terbukti memberikan perlindungan lebih baik terhadap pengaruh lingkungan dibandingkan isolasi PVC konvensional. Dengan demikian, penggunaan kabel PV pada sistem PLTS Gedung BNI Tower PIK 2 menunjukkan kesesuaian dengan prinsip desain sistem fotovoltaik modern yang mengutamakan keamanan dan keandalan operasional.

Analisis Tegangan dan Arus String

Pengukuran tegangan dan arus pada sistem PLTS dilakukan pada beberapa periode waktu, yaitu pagi, siang, dan sore hari. Namun, pada artikel ini hasil pengukuran yang disajikan dalam bentuk grafik difokuskan pada periode siang hari, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2 dan Gambar 3 Pemilihan periode siang hari didasarkan pada kondisi operasi sistem yang merepresentasikan beban maksimum, di mana intensitas iradiasi matahari berada pada nilai tertinggi sehingga arus yang mengalir pada masing-masing string mencapai nilai maksimum.

Pada kondisi tersebut, rugi-rugi tegangan pada sisi arus searah (DC) cenderung berada pada nilai terbesar dibandingkan periode pagi dan sore hari. Oleh karena itu, analisis pada periode siang hari dapat merepresentasikan kondisi terburuk (*worst-case condition*) dalam evaluasi kinerja dan desain kabel Photo Voltaik (PV). Dengan menggunakan pendekatan ini, kelayakan penampang dan konstruksi kabel PV dapat dinilai secara lebih konservatif dan sesuai dengan praktik perancangan sistem PLTS yang mengacu pada standar internasional.



Gambar 2. Grafik Pengukuran Tegangan (Vin).



Gambar 3. Grafik Pengukuran Arus (A)

Hasil pengukuran pada periode pagi dan sore hari menunjukkan tren yang konsisten terhadap variasi iradiasi dan temperatur modul, namun tidak disajikan dalam bentuk grafik untuk menjaga kejelasan dan efektivitas penyajian data pada artikel jurnal ini.

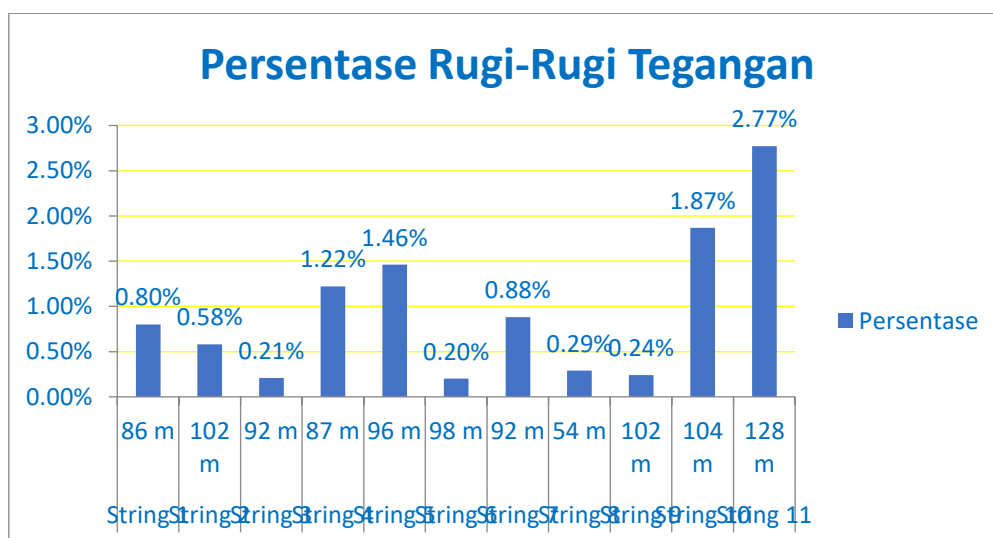
Rugi-Rugi Tegangan DC Kabel PV

Analisis rugi-rugi tegangan pada sistem PLTS dilakukan untuk menilai kinerja kabel PV dalam kondisi arus maksimum, yang terjadi pada periode siang hari. Data diambil dari pengukuran tegangan dan arus setiap string selama periode tersebut. Hasil pengolahan menunjukkan bahwa nilai rugi-rugi tegangan meningkat seiring panjang kabel dan besarnya arus, sesuai dengan teori resistansi kabel pada sistem DC. Pengukuran Pada hari Sabtu, 29 November 2025 pukul 12.00-13.00 WIB dengan kondisi cuaca cerah, dengan suhu 36 °C (Inverter 100kW).

Tabel 1. Table Pengukuran Rugi-Rugi Tegangan.

No	String	Ampere	Panjang Kabel	Vdc In	Resistensi Kabel Ω	Rugi-Rugi	Persentase
1	String 1	8.0A	86 m	723 V	0.7224 Ω	5.78V	0.80%
2	String 2	5.2A	102 m	770V	0.8568 Ω	4.46V	0.58%
3	String 3	2.0 A	92 m	733V	0.7728 Ω	1.55V	0.21%
4	String 4	10.8A	87 m	647V	0.7308 Ω	7.89V	1.22%
5	String 5	11A	96 m	606V	0.8064 Ω	8.87V	1.46%
6	String 6	2.0A	98 m	813V	0.8232 Ω	1.65V	0.20%
7	String 7	8.5A	92 m	746V	0.7728 Ω	6.57V	0.88%
8	String 8	6.6 A	54 m	789V	0.4536 Ω	2.99V	0.29%
9	String 9	2.2 A	102 m	778V	0.8568 Ω	1.88V	0.24%
10	String 10	14.2A	104 m	662V	0.8736 Ω	12.41V	1.87%
11	String 11	16A	128 m	621V	1.0752 Ω	17.20V	2.77%

Tampilan bentuk grafik untuk melihat tren :



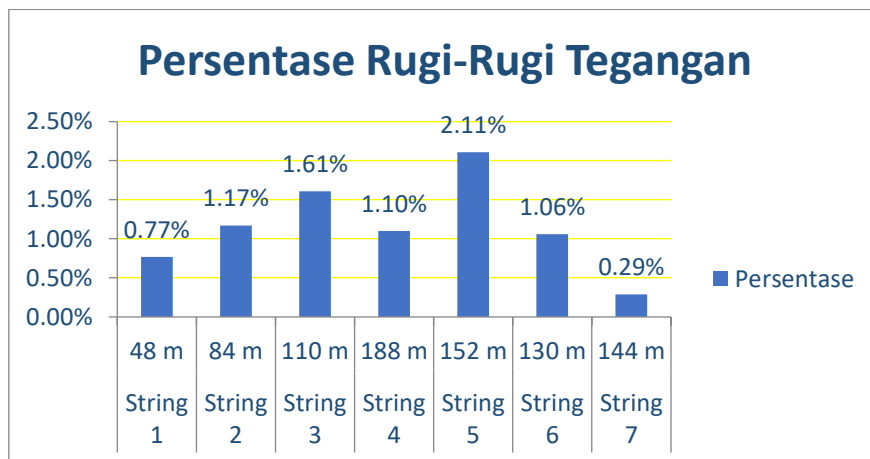
Gambar 4. Grafik Persentase Rugi-Rugi Tegangan.

Rugi-rugi tegangan tertinggi terjadi pada string 11 dengan arus puncak sebesar 16 A dan panjang kabel 128 m, menghasilkan penurunan tegangan sebesar **17.20V** pada kabel berpenampang 4 mm². Kondisi ini merepresentasikan **worst case** yang paling kritis untuk desain kabel pada inverter 100kW, karena menyebabkan penurunan efisiensi maksimum dan risiko pemanasan berlebih. Perbandingan dengan periode lain (pagi dan sore) menunjukkan penurunan rugi-rugi tegangan yang lebih rendah, namun tren dan distribusi nilai relatif sama, sehingga periode siang hari cukup mewakili evaluasi kinerja kabel PV. Temuan ini menegaskan bahwa pemilihan kabel sesuai standar IEC/NEC sangat penting untuk menjamin keamanan dan keandalan sistem PLTS. Pengukuran Pada hari Sabtu, 29 November 2025 pukul 12.00-13.00 WIB dengan kondisi cuaca cerah, dengan suhu 36 °C (Inverter 50 kW).

Tabel 2. Pengukuran Rugi-Rugi Tegangan

nndvv No	String	Ampere	Panjang Kabel	Vdc In	Resistansi kabel Ω	Rugi-Rugi	Persentase
1	String 1	10A	48 m	523V	0.4032 Ω	4.03V	0.77%
2	String 2	9.5A	84 m	575V	0.7056 Ω	6.70V	1.17%
3	String 3	10.2A	110 m	586V	0.924 Ω	9.42V	1.61%
4	String 4	5.4A	188 m	776V	1.5792 Ω	8.53V	1.10%
5	String 5	9.2A	152 m	558V	1.2768 Ω	11.75V	2.11%
6	String 6	4.5A	130 m	465V	1.092 Ω	4.91V	1.06%
7	String 7	1.8A	144 m	742V	1.2096 Ω	2.18V	0.29%

Tampilan bentuk grafik untuk melihat tren :



Gambar 5. Grafik Persentase Rugi-Rugi Tegangan.

Rugi-rugi tegangan tertinggi terjadi pada string 5 dengan arus puncak sebesar 9.2A dan panjang kabel 152m, menghasilkan penurunan tegangan sebesar 11.75V pada kabel berpenampang 4 mm². Kondisi ini merepresentasikan **worst case** yang paling kritis untuk desain kabel pada inverter 50kW, karena menyebabkan penurunan efisiensi maksimum dan risiko pemanasan berlebih. Perbandingan dengan periode lain (pagi dan sore) menunjukkan

penurunan rugi-rugi tegangan yang lebih rendah, namun tren dan distribusi nilai relatif sama, sehingga periode siang hari cukup mewakili evaluasi kinerja kabel PV. Temuan ini menegaskan bahwa pemilihan kabel sesuai standar IEC/NEC sangat penting untuk menjamin keamanan dan keandalan sistem PLTS.

Analisis Rugi-Rugi Tegangan pada Sistem PLTS

Salah satu fokus utama penelitian ini adalah analisis rugi-rugi tegangan (*voltage drop*) yang terjadi pada sistem pengkabelan. Berdasarkan hasil perhitungan teoritis, rugi-rugi tegangan dipengaruhi oleh panjang penghantar, luas penampang kabel, resistivitas material, serta besarnya arus yang mengalir. Semakin panjang penghantar dan semakin kecil luas penampang kabel, maka resistansi penghantar akan meningkat sehingga menyebabkan penurunan tegangan yang lebih besar.

Pada sistem PLTS Gedung BNI Tower PIK 2, penggunaan kabel PV dengan konduktor tembaga berlapis timah dan luas penampang yang sesuai mampu menjaga rugi-rugi tegangan tetap berada pada batas yang direkomendasikan standar instalasi fotovoltaik. Kondisi ini menunjukkan bahwa energi listrik yang dihasilkan modul surya dapat disalurkan menuju inverter dengan kehilangan energi yang relatif kecil sehingga efisiensi sistem tetap terjaga.

Temuan tersebut mendukung hasil penelitian (Sarwito & Kurniawan, 2024) yang menyatakan bahwa pengendalian rugi-rugi tegangan pada sistem fotovoltaik sangat penting untuk mempertahankan kualitas daya dan keandalan operasi peralatan listrik. Penelitian mereka menunjukkan bahwa rugi-rugi tegangan yang masih berada dalam batas standar IEC mampu menjaga performa sistem secara optimal. Selain itu, penelitian (Ying Ting, Liung Ngu, Then, & Azhar, 2025) menjelaskan bahwa peningkatan resistansi penghantar akibat pemilihan kabel yang tidak tepat dapat menurunkan efisiensi sistem fotovoltaik secara signifikan. Oleh karena itu, penggunaan kabel PV yang sesuai standar pada penelitian ini terbukti menjadi salah satu faktor yang mendukung efisiensi distribusi energi listrik.

Pengaruh Kondisi Lingkungan terhadap Performa Kabel PV

Temuan penelitian juga menunjukkan bahwa lingkungan instalasi memiliki pengaruh yang besar terhadap performa kabel photovoltaic. Sistem PLTS yang dipasang pada area rooftop Gedung BNI Tower PIK 2 mengalami paparan langsung sinar matahari, fluktuasi temperatur harian, kelembapan udara, serta pengaruh cuaca lainnya. Kondisi tersebut berpotensi mempercepat degradasi kabel apabila material yang digunakan tidak memenuhi spesifikasi untuk aplikasi luar ruangan.

Penggunaan kabel H1Z2Z2-K dengan material XLPO terbukti mampu memberikan perlindungan terhadap pengaruh lingkungan tersebut. Ketahanan terhadap sinar ultraviolet dan temperatur tinggi menjadi faktor penting dalam menjaga kestabilan resistansi penghantar serta mencegah kerusakan isolasi selama masa operasi. Hasil ini memperkuat penelitian (Szultka, Czapp, Tomaszewski, & Ullah, 2023) yang menjelaskan bahwa peningkatan temperatur lingkungan dapat meningkatkan risiko kerusakan instalasi listrik dan memperbesar kemungkinan terjadinya gangguan pada sistem penghantaran energi. Dengan demikian, penggunaan kabel PV yang memiliki ketahanan termal tinggi menjadi kebutuhan utama pada instalasi PLTS skala besar.

Selain itu, kemampuan kabel dalam mempertahankan performa listrik pada kondisi lingkungan ekstrem juga berdampak pada keberlanjutan operasional sistem. Degradasi material yang lebih lambat akan mengurangi kebutuhan pemeliharaan dan penggantian komponen sehingga biaya operasional sistem dapat ditekan. Kondisi ini menunjukkan bahwa manfaat penggunaan kabel PV tidak hanya berkaitan dengan aspek teknis, tetapi juga memberikan keuntungan ekonomis dalam jangka panjang.

Implikasi Temuan terhadap Keandalan dan Efisiensi Sistem PLTS

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan kabel *photovoltaic* yang memenuhi standar IEC 62930 dan EN 50618 memberikan kontribusi penting terhadap keandalan, keselamatan, dan efisiensi sistem PLTS On-Grid Gedung BNI Tower PIK 2. Konstruksi kabel yang menggunakan konduktor tembaga berlapis timah dan isolasi XLPO mampu menjaga kualitas penghantaran daya listrik sekaligus memberikan perlindungan terhadap pengaruh lingkungan luar.

Temuan ini memperlihatkan bahwa keberhasilan implementasi sistem PLTS tidak hanya ditentukan oleh performa modul surya dan inverter, tetapi juga dipengaruhi oleh kualitas sistem distribusi internal yang digunakan. Kabel PV berfungsi sebagai penghubung utama antar komponen sehingga kualitas konstruksi dan kesesuaiannya terhadap standar teknis menjadi faktor yang sangat menentukan keberhasilan operasi sistem dalam jangka panjang.

Hasil penelitian juga mempertegas bahwa pemilihan kabel dengan luas penampang yang tepat mampu meminimalkan rugi-rugi tegangan dan menjaga efisiensi energi. Dengan demikian, penggunaan kabel *photovoltaic* standar internasional pada sistem PLTS Gedung BNI Tower PIK 2 dapat dijadikan sebagai model penerapan instalasi fotovoltaik yang memenuhi prinsip keselamatan, efisiensi, dan keberlanjutan operasional.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, penggunaan kabel DC Supreme BS EN 50618/IEC 62930 Solar H1Z2Z2-K pada sistem PLTS On-Grid Gedung BNI Tower PIK 2 mampu bekerja secara aman, andal, dan efisien, yang ditunjukkan oleh nilai rugi-rugi tegangan yang masih berada di bawah batas toleransi 3%. Tegangan teoritis berdasarkan kondisi STC menjadi acuan evaluasi, sedangkan perbedaan dengan hasil pengukuran mencerminkan kondisi operasi nyata sistem. Kinerja kabel sebagai media penghantar energi juga dipengaruhi oleh panjang kabel, metode pemasangan, dan kondisi operasional. Selain itu, adanya *shading* pada String 1 inverter 50 kW terbukti menyebabkan penurunan tegangan dan fluktuasi kinerja sistem, sehingga tata letak modul dan kondisi lingkungan instalasi perlu diperhatikan untuk menjaga performa PLTS secara optimal.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan rasa syukur dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, serta bantuan selama proses penyusunan tugas akhir ini. Secara khusus, penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Sulistyo Widodo, S.T., M.T., yang dengan penuh kesabaran dan tanpa lelah telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, arahan, serta masukan yang sangat berharga sehingga penulisan tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulis juga menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada Ibu Dr. Ir. Erfiana Wahyuningsih, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing akademik, yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan selama penulis menempuh kegiatan akademik di Program Studi Teknik Elektro, Universitas Dian Nusantara.

Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada seluruh dosen dan staf pengajar Program Studi Teknik Elektro Universitas Dian Nusantara atas ilmu, pengalaman, serta pelayanan akademik yang telah diberikan selama masa perkuliahan. Dengan penuh cinta dan kasih sayang, penulis mengucapkan terima kasih yang mendalam kepada istri tercinta, Nurul Humairoh, serta anak-anak tercinta yang senantiasa menjadi sumber kebahagiaan, memberikan doa, kesabaran, pengertian, dan dukungan yang tiada henti selama proses penyelesaian tugas akhir ini. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada mertua dan adik tercinta atas segala doa, dukungan, perhatian, dan kasih sayang yang senantiasa menjadi sumber kekuatan dan semangat bagi penulis.

Tidak lupa, penulis mengucapkan terima kasih kepada teman-teman seperjuangan yang telah memberikan dukungan, motivasi, serta bantuan dalam berbagai kesempatan selama proses penyusunan tugas akhir. Akhirnya, penulis juga menyampaikan penghargaan kepada

semua pihak yang telah berkontribusi dan membantu dalam penyelesaian penelitian dan penulisan laporan ini, yang tidak dapat disebutkan satu per satu. Semoga segala bantuan, doa, dan kebaikan yang telah diberikan mendapatkan balasan yang berlipat ganda dari Tuhan Yang Maha Esa.

DAFTAR REFERENSI

- Babu, P. C., Kumar, D. G., Sireesha, N. V., Pushkarna, M., Prashanth, B. V., Dsnmrao, ... Alphonse, S. (2023). Modeling and Performance Analysis of a Grid-Connected Photovoltaic System with Advanced Controller considering Varying Environmental Conditions. *International Journal of Energy Research*, 2023, 1–23. <https://doi.org/10.1155/2023/1631605>
- Boubii, C., El Kafazi, I., Bannari, R., El Bhiri, B., Mobayen, S., Zhilenkov, A., & Bossoufi, B. (2023). Integrated Control and Optimization for Grid-Connected Photovoltaic Systems: A Model-Predictive and PSO Approach. *Energies*, 16(21), 7390. <https://doi.org/10.3390/en16217390>
- Dr. N. Vasantha Gowri, Dr. T. Murali Krishna, Dr. G. Suresh Babu, & Dr. K. Krishnaveni. (2024). Materials in Solar Photovoltaic Technology: Advances, Challenges, and Environmental Considerations. *International Research Journal on Advanced Engineering Hub (IRJAEH)*, 2(01), 50–56. <https://doi.org/10.47392/IRJAEH.2024.0007.i1>
- Ebhota, W. S., & Tabakov, P. (2025). Influence of Cabling on Photovoltaic System Performance: Wire Length, Diameter, and Material. *Kurdistan Journal of Applied Research*, 10(1), 50–65. <https://doi.org/10.24017/science.2025.1.4>
- Gada, S., Fekik, A., Mahdal, M., Vaidyanathan, S., Maidi, A., & Bouhedda, A. (2023). Improving Power Quality in Grid-Connected Photovoltaic Systems: A Comparative Analysis of Model Predictive Control in Three-Level and Two-Level Inverters. *Sensors*, 23(18), 7901. <https://doi.org/10.3390/s23187901>
- Ibrahim, S. N. N., Zainuddin, H., Rahim, Y. I. A. A., Mansor, N. A., Muhammad, N., & Khir, F. L. M. (2023). Simulation and prediction of residential grid-connected photovoltaic system performance. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, 14(1), 506. <https://doi.org/10.11591/ijpeds.v14.i1.pp506-515>
- Miranda Sanchez, L., Seuret Jiménez, D., Contreras Valenzuela, M. R., & Nieto Jalil, J. M. (2024). Security Of Photovoltaic Systems Standards Review. *DYNA ENERGIA Y SOSTENIBILIDAD*, 13(1), [23 P.]-[23 P.]. <https://doi.org/10.6036/ES11058>
- Owolabi, A. B., Yakub, A. O., Luqman, R., Same, N. N., & Suh, D. (2023). Performance Assessment of Four Grid-Connected Solar Photovoltaic Technologies under Similar Environmental Conditions in Nigeria. *International Journal of Energy Research*, 2023, 1–19. <https://doi.org/10.1155/2023/9458440>
- Purnia, D. S., Adiwisatra, M. F., Muhajir, H., & Supriadi, D. (2020). Pengukuran Kesenjangan Digital Menggunakan Metode Deskriptif Berbasis Website. *EVOLUSI : Jurnal Sains dan Manajemen*, 8(2). <https://doi.org/10.31294/evolusi.v8i2.8942>
- Sarwito, S., & Kurniawan, A. (2024). Analyzing Voltage Drop Disturbances in Photovoltaic-Powered Container Cranes: A Numerical-Based Approach. *International Review of Electrical Engineering (IREE)*, 19(5), 362. <https://doi.org/10.15866/iree.v19i5.24933>

- Szultka, S., Czapp, S., Tomaszewski, A., & Ullah, H. (2023). Evaluation of Fire Hazard in Electrical Installations Due to Unfavorable Ambient Thermal Conditions. *Fire*, 6(2), 41. <https://doi.org/10.3390/fire6020041>
- Wangsupphaphol, A., & Chaitusaney, S. (2022). Subsidizing Residential Low Priority Smart Charging: A Power Management Strategy for Electric Vehicle in Thailand. *Sustainability*, 14(10), 6053. <https://doi.org/10.3390/su14106053>
- Ying Ting, L. S., Liung Ngu, S. S., Then, Y. L., & Azhar, A. C. (2025). Resistive Loss in PV Array Configurations: Impact of Cable Length and Cross-Section on Power Performance Using MATLAB/Simulink Analysis. *2025 IEEE 5th International Conference in Power Engineering Applications (ICPEA)*, 146–151. Bandar Baru Bangi, Malaysia: IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICPEA65539.2025.11198188>
- Zenebe, T. M., Midtgård, O.-M., & Völler, S. (2026). Clustering framework with integrated IEC metrics for long-term PV performance assessment in Nordic conditions. *Solar Energy*, 308, 114399. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2026.114399>
- Owolabi, A. B., Adejumobi, I. A., Akinbulire, T. O., & Olaniyan, A. A. (2023). *Performance assessment and component optimization of grid-connected photovoltaic systems: A review*. *Energy Reports*, 9, 4298–4315. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.03.112>