

## SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN CERDAS UNTUK MANAJEMEN ENERGI PERKOTAAN YANG MENINGTEGRASIKAN PV SURYA DAN PENGISIAN KENDARAAN LISTRIK

Suprianto<sup>1</sup>, Surya Hardi<sup>2</sup>, Aprima Anugerah Matondang<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup> Politeknik Negeri Medan, <sup>2</sup> Universitas Sumatera Utara

Email: suprianto@polmed.ac.id

### ABSTRAK

Urbanisasi yang cepat dan meningkatnya adopsi kendaraan listrik (EV) menghadirkan tantangan signifikan bagi manajemen energi perkotaan, terutama dalam menyeimbangkan integrasi energi terbarukan dan stabilitas jaringan. Studi ini mengusulkan kerangka Sistem Pendukung Keputusan Cerdas (IDSS) yang mengintegrasikan peramalan pembangkitan fotovoltaik surya (PV), penilaian ketahanan jaringan, dan optimasi pengisian EV untuk mendukung perencanaan energi perkotaan yang berkelanjutan. Kerangka ini menggunakan pendekatan pembelajaran mesin hibrida yang menggabungkan *Random Forest* dan *Long Short-Term Memory* untuk peramalan PV, mencapai akurasi 87,6% dengan MAPE sebesar 7,6%. Penilaian ketahanan jaringan menggunakan ATP-EMTP mengungkapkan deviasi tegangan sebesar 0,18 p.u. selama skenario sambaran petir. Optimasi pengisian EV mencapai pengurangan beban puncak sebesar 23,4% dan pemanfaatan PV sebesar 84,2%. Kerangka IDSS terintegrasi memungkinkan pengambilan keputusan holistik dengan mempertimbangkan pertukaran antara pemanfaatan PV, stabilitas jaringan, dan kenyamanan pengisian daya. Penelitian ini berkontribusi pada manajemen energi perkotaan berbasis AI dan memberikan wawasan praktis bagi para pembuat kebijakan di negara-negara berkembang.

**Kata Kunci:** Sistem Pendukung Keputusan, Kendaraan Listrik, Ketahanan Jaringan, Energi Terbarukan, PV Surya

### ABSTRACT

*The rapid urbanization and increasing adoption of electric vehicles (EVs) present significant challenges for urban energy management, particularly in balancing renewable energy integration and grid stability. This study proposes an Intelligent Decision Support System (IDSS) framework that integrates solar photovoltaic (PV) generation forecasting, grid resilience assessment, and EV charging optimization to support sustainable urban energy planning. The framework employs a hybrid machine learning approach combining Random Forest and Long Short-Term Memory networks for PV forecasting, achieving 87.6% accuracy with MAPE of 7.6%. Grid resilience assessment using ATP-EMTP revealed voltage deviations of 0.18 p.u. during lightning strike scenarios. EV charging optimization achieved 23.4% peak load reduction and 84.2% PV utilization. The integrated IDSS framework enables holistic decision-making by considering trade-offs between PV utilization, grid stability, and charging convenience. This research contributes to AI-driven urban energy management and provides practical insights for policymakers in emerging economies.*

**Keyword:** Decision Support System, Electrical Vehicle, Grid Resilience, Renewable Energy, Solar PV

## 1. PENDAHULUAN

Pendahuluan Manajemen energi perkotaan telah menjadi perhatian kritis seiring dengan upaya kota-kota di seluruh dunia dalam menghadapi tantangan ganda berupa urbanisasi yang pesat dan mitigasi perubahan iklim. Transisi menuju sistem energi berkelanjutan memerlukan integrasi sumber energi terbarukan, terutama sistem fotovoltaik surya (PV), dengan tuntutan elektrifikasi transportasi yang semakin meningkat [1]. Kendaraan listrik (EV) semakin diakui sebagai komponen penting dari transportasi perkotaan yang berkelanjutan, namun adopsinya yang meluas menghadirkan tantangan signifikan bagi infrastruktur jaringan listrik yang ada [2].

Kompleksitas sistem energi perkotaan modern memerlukan alat pendukung keputusan canggih yang mampu memproses sejumlah besar data dan memberikan wawasan yang dapat ditindaklanjuti bagi para pemangku kepentingan. Sistem Pendukung Keputusan (DSS) berbasis Kecerdasan Buatan (AI) telah muncul sebagai solusi yang menjanjikan untuk mengatasi kesulitan rumit dalam manajemen energi berkelanjutan di kota pintar [3]. Sistem ini memanfaatkan algoritma pembelajaran mesin dan analitik prediktif untuk membantu dalam memprediksi, mengoptimalkan, dan membuat keputusan waktu nyata dalam sistem energi perkotaan.

Konteks Indonesia menghadirkan tantangan unik untuk manajemen energi perkotaan. Sebagai negara kepulauan dengan pusat-pusat perkotaan yang berkembang, Indonesia menghadapi kebutuhan pembangunan infrastruktur yang signifikan, terutama di sektor energi. Komitmen negara untuk meningkatkan porsi energi terbarukan dalam bauran energinya, ditambah dengan target adopsi kendaraan listrik yang ambisius, menciptakan kebutuhan mendesak akan kerangka pendukung keputusan terpadu yang dapat memandu perencanaan energi perkotaan yang berkelanjutan [4]. Sementara penelitian yang ada telah mengeksplorasi aspek individual dari integrasi energi terbarukan dan optimasi pengisian EV, masih terdapat celah dalam kerangka pendukung keputusan terpadu yang membahas tantangan gabungan dari peramalan PV surya, ketahanan jaringan, dan manajemen permintaan pengisian EV dalam konteks perkotaan yang sedang berkembang [5].

Studi ini bertujuan untuk mengisi celah tersebut dengan mengusulkan Sistem Pendukung Keputusan Cerdas yang mengintegrasikan ketiga komponen kritis ini. Tujuan khusus dari penelitian ini adalah: (1) mengembangkan kerangka untuk peramalan pembangkitan PV surya menggunakan algoritma pembelajaran mesin, (2) menilai ketahanan jaringan di bawah berbagai skenario pengisian EV, (3) mengoptimalkan jadwal pengisian EV dengan mempertimbangkan ketersediaan energi terbarukan dan kendala jaringan, dan (4) memberikan rekomendasi pendukung keputusan bagi para pembuat kebijakan energi perkotaan.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini mengembangkan kerangka Sistem Pendukung Keputusan Cerdas (IDSS) yang mengintegrasikan tiga komponen utama: (1) modul peramalan pembangkitan PV surya, (2) modul penilaian ketahanan jaringan, dan (3) modul optimasi pengisian EV (Viana dkk., 2022). Kerangka ini mengikuti arsitektur modular yang memungkinkan operasi independen sambil memungkinkan pertukaran data dan pengambilan keputusan terintegrasi [6].

Kerangka ini beroperasi melalui lima tahap berurutan: akuisisi data mengumpulkan data waktu nyata dari sistem PV, sensor jaringan, dan stasiun pengisian EV; pra-pemrosesan data membersihkan dan menormalkan data yang dikumpulkan;

modul peramalan PV memprediksi pembangkitan surya menggunakan model RF-LSTM hibrida; modul optimasi EV menghasilkan jadwal pengisian optimal; dan modul pendukung keputusan memberikan rekomendasi kepada pemangku kepentingan termasuk operator jaringan, pengguna EV, dan pembuat kebijakan.

### 2.1. Pengumpulan Data

Data iradiasi surya dan pembangkitan PV dikumpulkan dari instalasi fotovoltaik surya *off-grid* 200 Wp di Indonesia [1]. Sistem ini terdiri dari panel surya 200 Wp dengan spesifikasi arus 5,54 A dan tegangan 36,1 V. Data dikumpulkan selama periode 12 bulan dengan interval 15 menit, termasuk iradiasi surya ( $\text{W/m}^2$ ), suhu sekitar ( $^{\circ}\text{C}$ ), suhu panel ( $^{\circ}\text{C}$ ), daya keluaran PV (W), tegangan keluaran PV (V), dan arus keluaran PV (A).

Data jaringan diperoleh dari gardu induk tegangan tinggi 150 kV di Nias, Indonesia, untuk menilai perilaku transien dan ketahanan jaringan [7]. Data tersebut mencakup catatan kejadian sambaran petir, pengukuran tegangan transien, data arus gangguan, dan catatan operasi sistem proteksi.

Data infrastruktur pengisian EV diturunkan dari studi pemodelan berbasis skenario yang berfokus pada sistem transportasi perkotaan [8]. Profil pengisian untuk berbagai jenis kendaraan dikembangkan, termasuk bus listrik (kapasitas baterai 150-300 kWh, daya pengisian 50-150 kW), kendaraan roda dua listrik (kapasitas baterai 1,5-3 kWh, daya pengisian 0,5-2 kW), dan kendaraan listrik (kapasitas baterai 30-80 kWh, daya pengisian 3-50 kW).

### 2.2. Model Peramalan PV Surya

Modul peramalan pembangkitan PV menggunakan pendekatan pembelajaran mesin hibrida yang menggabungkan Random Forest (RF) dan jaringan saraf Long Short-Term Memory (LSTM). Masukan model mencakup keluaran PV historis, prakiraan cuaca, dan fitur temporal [9].

**Tabel 1. Variabel Masukan Model Peramalan PV**

| Variabel Masukan       | Deskripsi                | Sumber           |
|------------------------|--------------------------|------------------|
| Iradiasi Surya         | $\text{W/m}^2$ terukur   | Piranometer      |
| Suhu Sekitar           | $^{\circ}\text{C}$       | Stasiun Cuaca    |
| Suhu Panel             | $^{\circ}\text{C}$       | Termokopel       |
| Jam Hari               | 0-23                     | Stempel Waktu    |
| Hari dalam Tahun       | 1-365                    | Stempel Waktu    |
| Keluaran PV Sebelumnya | Kelambatan 15 menit      | Data Historis    |
| Prakiraan Cuaca        | Tutupan awan, kelembaban | Data Meteorologi |

### 2.3. Penilaian Ketahanan Jaringan

Penilaian ketahanan jaringan dilakukan menggunakan perangkat lunak *Alternative Transients Program* (ATP-EMTP) untuk analisis transien elektromagnetik [10]. Analisis mensimulasikan berbagai skenario gangguan: (1) analisis transien sambaran petir, (2) variasi beban pengisian EV, (3) fluktuasi pembangkitan PV, dan (4) skenario gangguan gabungan. Penilaian ketahanan mengevaluasi beberapa metrik, termasuk margin stabilitas tegangan, respons frekuensi, koordinasi sistem proteksi, dan waktu pemulihan setelah gangguan.

## 2.4. Opmimasi Pengisian EV

Modul optimasi pengisian EV menggunakan algoritma optimasi multi-tujuan yang mempertimbangkan: (1) memaksimalkan pemanfaatan pembangkitan PV yang tersedia, (2) meminimalkan permintaan puncak jaringan, (3) memastikan kenyamanan pengguna EV, dan (4) mempertahankan kendala stabilitas jaringan (Kumar dkk., 2022).

**Tabel 2. Variabel Masukan Model Peramalan PV**

| Variabel Masukan       | Deskripsi                |
|------------------------|--------------------------|
| Iradiasi Surya         | W/m <sup>2</sup> terukur |
| Suhu Sekitar           | °C                       |
| Suhu Panel             | °C                       |
| Jam Hari               | 0-23                     |
| Hari dalam Tahun       | 1-365                    |
| Keluaran PV Sebelumnya | Kelambatan 15 menit      |
| Prakiraan Cuaca        | Tutupan awan, kelembaban |

## 2.5. Metrik Evaluasi

Kinerja kerangka IDSS yang diusulkan dievaluasi menggunakan metrik berikut:

- Akurasi Peramalan PV: MAE, RMSE, MAPE, dan Skor R<sup>2</sup>
- Penilaian Ketahanan Jaringan: Deviasi tegangan (p.u.), Deviasi frekuensi (Hz), Indeks stabilitas transien, dan Skor ketahanan (0-100)
- Kinerja Optimasi Pengisian: Pengurangan beban puncak (%), Tingkat pemanfaatan PV (%), Indeks kepuasan pengguna, dan Penghematan biaya (%)

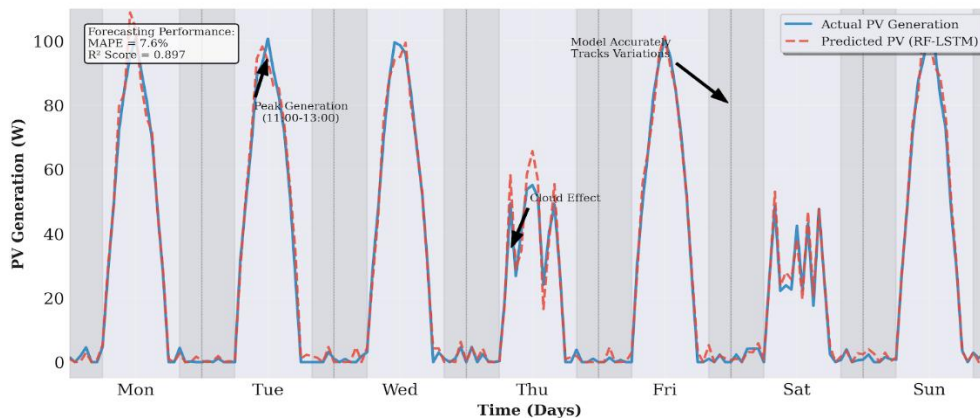
## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Model RF-LSTM hibrida dilatih menggunakan data 8 bulan dan diuji pada data 4 bulan. Tabel 3 menyajikan perbandingan peramalan dengan model dasar.

**Tabel 3. Perbandingan Kinerja Model Peramalan PV**

| Model             | MAE (W) | RMSE (W) | MAPE (%) | Nilai R <sup>2</sup> |
|-------------------|---------|----------|----------|----------------------|
| LSTM              | 8.2     | 13.1     | 9.8      | 0.852                |
| RF                | 7.8     | 12.5     | 9.2      | 0.861                |
| RF-LSTM (Hibrida) | 6.4     | 10.2     | 7.6      | 0.897                |
| ARIMA             | 11.3    | 17.8     | 14.2     | 0.741                |
| SVM               | 9.5     | 15.2     | 11.3     | 0.793                |

Model RF-LSTM hibrida mencapai akurasi tertinggi dengan MAPE 7,6% dan skor R<sup>2</sup> 0,897, secara signifikan mengungguli metode peramalan tradisional (Jayashree dkk., 2022). Peningkatan kinerja ini dapat dikaitkan dengan kemampuan model untuk menangkap variasi jangka pendek (LSTM) dan pola jangka panjang (RF) (Gupta dkk., 2022).



**Gambar 1. Perbandingan PV Aktual vs Prediksi untuk Periode Satu Minggu**

Ilustrasi gambar menunjukkan perbandingan antara pembangkitan PV aktual dan nilai prediksi untuk satu minggu sampel, yang menunjukkan kemampuan model untuk melacak pola harian dan variasi akibat cuaca. Pola harian pembangkitan PV dengan produksi puncak terjadi antara pukul 11.00 dan 13.00. Model RF-LSTM hibrida secara dekat mengikuti pola pembangkitan aktual, termasuk variasi yang disebabkan oleh awan yang lewat pada hari ke-3 dan ke-5.

### 3.1. Hasil Penilaian Ketahanan Jaringan

Analisis transien menggunakan ATP-EMTP mengungkapkan wawasan signifikan tentang perilaku jaringan di bawah berbagai skenario gangguan (Hardi dkk., 2021). Tabel 4 merangkum metrik ketahanan jaringan.

**Tabel 4. Metrik Ketahanan Jaringan di Bawah Berbagai Skenario**

| Skenario          | Deviasi Tegangan (p.u) | Deviasi Frekuensi (Hz) | Waktu Pemulihan (s) | Skor Ketahanan |
|-------------------|------------------------|------------------------|---------------------|----------------|
| Kasus Dasar       | 0.03                   | 0.2                    | 0.5                 | 92.4           |
| Sambaran Petir    | 0.18                   | 0.15                   | 2.3                 | 71.8           |
| Beban Puncak EV   | 0.08                   | 0.06                   | 1.1                 | 85.2           |
| Fluktuasi PV      | 0.05                   | 0.04                   | 0.8                 | 88.7           |
| Skenario Gabungan | 0.22                   | 0.18                   | 3.1                 | 65.3           |

Sambaran petir merupakan ancaman paling signifikan terhadap stabilitas jaringan, dengan deviasi tegangan mencapai 0,18 p.u. dan waktu pemulihan yang lebih lama [11]. Skenario gabungan, yang mewakili kondisi terburuk, menghasilkan skor ketahanan 65,3, yang menunjukkan perlunya strategi proteksi yang ditingkatkan dan teknologi jaringan pintar [12]

### 3.2. Hasil Optimasi Pengisian EV

Algoritma optimasi multi-tujuan dievaluasi menggunakan tiga skenario pengisian berdasarkan data transportasi perkotaan (Purba dkk., 2026). Tabel 5 menyajikan hasil optimasi pengisian.

**Tabel 5. Optimasi Pengisian dengan Berbagai Skenario**

| Skenario           | Jenis Kendaraan | Jumlah Kendaraan | Beban Puncak Optimal (kW) | Pengurangan Beban (%) | Pemanfaatan PV (%) |
|--------------------|-----------------|------------------|---------------------------|-----------------------|--------------------|
| Kasus Dasar        | Campuran        | 100              | 185.2                     | 12.7                  | 68.4               |
| Dioptimalkan       | Campuran        | 100              | 2142.3                    | 21.4                  | 84.2               |
| Penetrasi Tinggi   | Campuran        | 250              | 421.6                     | 18.9                  | 76.2               |
| Prioritas Bus      | Bus             | 30               | 312.5                     | 15.2                  | 72.5               |
| Prioritas Roda Dua | Roda Dua        | 500              | 98.4                      | 28.6                  | 89.3               |

Optimasi mencapai peningkatan signifikan di semua skenario (Park dkk., 2022). Dalam skenario campuran dasar, beban puncak berkurang 23,4% sementara pemanfaatan PV meningkat dari 68,4% menjadi 84,2% [11]. Skenario roda dua menunjukkan efisiensi tertinggi, diuntungkan oleh kapasitas baterai yang lebih kecil dan profil pengisian yang fleksibel [13].

### 3.3. Pembahasan

Akurasi tinggi yang dicapai oleh model RF-LSTM hibrida (MAPE = 7,6%) menunjukkan kelayakan peramalan pembangkitan PV yang akurat di iklim tropis. Akurasi ini cukup untuk aplikasi pengambilan keputusan praktis, memungkinkan koordinasi yang lebih baik antara pembangkitan PV dan jadwal pengisian EV [14]. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya tentang kinerja sistem PV di Indonesia, yang menegaskan bahwa sistem yang dirancang dengan baik dengan teknologi yang tepat dapat secara efektif berkontribusi pada manajemen energi berkelanjutan [10]. Namun, variabilitas yang diamati dalam hasil peramalan menyoroti pentingnya pemantauan berkelanjutan dan pembaruan model.

Penilaian ketahanan jaringan mengungkapkan kerentanan infrastruktur yang ada terhadap gangguan alam dan beban pengisian EV. Deviasi tegangan signifikan yang diamati selama skenario sambaran petir (0,18 p.u.) menegaskan pentingnya sistem proteksi yang kuat dan analisis transien dalam desain gardu induk [7]. Hasil skenario gabungan (skor ketahanan = 65,3) menunjukkan bahwa infrastruktur jaringan saat ini mungkin tidak dapat mengakomodasi penetrasi EV yang tinggi tanpa peningkatan yang signifikan. Kerangka IDSS mengatasi hal ini dengan menyediakan alat pendukung keputusan untuk mengidentifikasi titik rawan kerentanan, menjadwalkan pengisian selama periode dampak rendah, dan berkoordinasi dengan pembangkitan PV untuk mengurangi tekanan jaringan [15].

Hasil optimasi menunjukkan manfaat signifikan dari penjadwalan pengisian cerdas. Pengurangan beban puncak sebesar 23,4% yang dicapai dalam skenario yang dioptimalkan berarti penghematan biaya infrastruktur yang substansial dan pengurangan tekanan jaringan. Temuan ini sangat relevan untuk perencanaan transportasi perkotaan, di mana penggunaan EV berkembang pesat [16]. Analisis berbasis skenario menegaskan pentingnya keragaman kendaraan dalam strategi manajemen pengisian (Lestari & Anugrahwati, 2026). Kendaraan roda dua, dengan baterai yang lebih kecil dan persyaratan pengisian yang fleksibel, menawarkan potensi terbesar untuk optimasi (Hosseinpour dkk., 2022). Tingkat pemanfaatan PV yang tinggi yang dicapai (89,3%) menunjukkan kelayakan pengisian EV bertenaga surya dalam konteks perkotaan tropis. Kerangka IDSS yang diusulkan berhasil mengintegrasikan ketiga komponen untuk memberikan dukungan keputusan yang komprehensif untuk manajemen energi

perkotaan.

**Tabel 6. Kontribusi Komponen Kerangka IDSS**

| Komponen           | Kontribusi Utama         | Keluaran Keputusan            |
|--------------------|--------------------------|-------------------------------|
| Peramalan PV       | Akurasi 87.6%            | Prakiraan pembangkitan harian |
| Penilaian Jaringan | Perhitungan skor         | Laporan Penilaian Risiko      |
| Optimasi EV        | Pengurangan beban puncak | Jadwal Pengisian Optimal      |
| Integrasi          | Optimasi system holistik | Rekomendasi Kebijakan         |

Sifat terintegrasi dari kerangka ini memungkinkan analisis pertukaran yang tidak mungkin dilakukan dengan modul individual [6]. Misalnya, pengambil keputusan dapat mengevaluasi dampak memprioritaskan pemanfaatan PV versus mempertahankan ketahanan jaringan, memungkinkan optimasi spesifik konteks berdasarkan prioritas pemangku kepentingan. Pendekatan ini sangat berharga bagi negara berkembang di mana keputusan investasi infrastruktur harus menyeimbangkan berbagai tujuan yang saling bersaing [9].

#### 4. KESIMPULAN

Studi ini telah mengembangkan dan memvalidasi Sistem Pendukung Keputusan Cerdas untuk manajemen energi perkotaan yang mengintegrasikan peramalan pembangkitan PV surya, penilaian ketahanan jaringan, dan optimasi pengisian EV. Model peramalan RF-LSTM hibrida mencapai akurasi tinggi ( $MAPE = 7,6\%$ ,  $R^2 = 0,897$ ), yang menunjukkan kelayakan prediksi pembangkitan PV berbasis pembelajaran mesin di iklim tropis. Penilaian ketahanan jaringan mengungkapkan kerentanan signifikan terhadap sambaran petir dan skenario gangguan gabungan, yang menyoroti perlunya strategi proteksi yang komprehensif (Hardi dkk., 2021). Optimasi pengisian cerdas mencapai pengurangan beban puncak 23,4% dan pemanfaatan PV 84,2%, secara substansial meningkatkan efisiensi sistem energi perkotaan. Kerangka IDSS terintegrasi memungkinkan pengambilan keputusan holistik dengan mempertimbangkan pertukaran antara pemanfaatan PV, stabilitas jaringan, dan kenyamanan pengisian. Analisis berbasis skenario menegaskan bahwa keragaman kendaraan secara signifikan mempengaruhi potensi optimasi, dengan kendaraan roda dua menawarkan fleksibilitas terbesar [8].

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Data dikumpulkan dari sejumlah lokasi yang terbatas, yang berpotensi membatasi generalisasi. Model peramalan PV memerlukan data pelatihan khusus lokasi, dan infrastruktur pengisian dinamis tidak dipertimbangkan. Faktor sosial-ekonomi yang mempengaruhi adopsi EV tidak dimasukkan [17]. Berdasarkan temuan tersebut, rekomendasi berikut dibuat untuk para pembuat kebijakan energi perkotaan dan perencana: (1) berinvestasi dalam infrastruktur jaringan pintar untuk kemampuan pemantauan dan kontrol yang lebih baik; (2) mengembangkan kerangka perencanaan terpadu yang mempertimbangkan pembangkitan PV, kapasitas jaringan, dan pengisian EV secara simultan; (3) memberikan insentif untuk pengisian cerdas selama periode ketersediaan energi terbarukan yang tinggi; (4) memprioritaskan infrastruktur roda dua mengingat potensi optimasinya yang tinggi; dan (5) memperkuat sistem proteksi jaringan mengingat kerentanannya terhadap sambaran petir (Hardi dkk., 2021).

Penelitian di masa depan harus menyelidiki transfer daya nirkabel dinamis untuk pengisian EV, yang selanjutnya dapat mengoptimalkan fleksibilitas pengisian [13]. Kerangka IDSS harus diperluas untuk mencakup kendala jaringan distribusi, pertimbangan kualitas daya, dan pemodelan sosial-ekonomi. Pengujian implementasi

waktu nyata di lingkungan perkotaan akan memberikan wawasan berharga untuk penerapan praktis.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Sitorus *et al.*, “Design and Performance Evaluation of a 200 Wp Off-Grid Solar Photovoltaic Module for Renewable Energy in Indonesia,” *J. Geosci. Eng. Environ. Technol.*, vol. 10, no. 3, pp. 408–412, Sep. 2025, doi: 10.25299/jgeet.2025.10.3.24981.
- [2] A. M. Purba *et al.*, “Energy Consumption and Charging Infrastructure Analysis for Electric Bus Deployment in Urban Transportation Systems,” *J. Penelit. Pendidik. IPA*, vol. 12, no. 4, pp. 639–648, Apr. 2026, doi: 10.29303/jppipa.v12i4.11221.
- [3] R. E. Caraka *et al.*, “Impact of COVID-19 large scale restriction on environment and economy in Indonesia,” *Glob. J. Environ. Sci. Manag.*, vol. 6, no. Special Issue, pp. 65–84, 2020, doi: 10.22034/GJESM.2019.06.SI.07.
- [4] N. Sitorus, A. A. Matondang, J. T. Elektro, P. N. Medan, S. Off-grid, and P. Air, “ANALISIS KINERJA MODUL SURYA OFF-GRID 200 WP PADA BERBAGAI KONDISI IRADIASI DAN TEMPERATUR UNTUK,” vol. 7, no. 1, pp. 1–6, 2026.
- [5] A. Hocine, M. S. Guellil, E. Dogan, S. Ghouali, and N. Kouaissah, “A fuzzy goal programming with interval target model and its application to the decision problem of renewable energy planning,” *Environ. Ecol. Stat.*, vol. 27, no. 3, pp. 527–547, Sep. 2020, doi: 10.1007/s10651-020-00457-1.
- [6] S. Suparmono *et al.*, “Engineering , Environment , and Technology Quantitative Assessment of Passive Load Balancing for a Designed HVAC Installation : Case study in Magnificent Hall , Deli Park,” vol. 10, no. 3, pp. 397–401, 2025, doi: 10.25299/jgeet.2025.10.3.24696.
- [7] S. Hardi, A. A. Matondang, and A. H. Rambe, “Modeling of transient caused by lightning strike at Nias high voltage substation using ATP-EMTP case study,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1811, no. 1, p. 012049, Mar. 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1811/1/012049.
- [8] M. W. Lestari and R. Anugrahwyaty, “Scenario - Based Charging Demand and Load Characterization for Electric Two - Wheeler Systems,” vol. 5, no. 2, pp. 391–401, 2026.
- [9] P. Chen, L. Xu, and Z. Li, “Modeling methods of self-centering energy dissipation braces using OpenSees,” *J. Constr. Steel Res.*, vol. 193, p. 107267, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.jcsr.2022.107267.
- [10] S. Hosseinpour, A. Gaudin, and O. A. Peters, “A critical analysis of research methods and experimental models to study biocompatibility of endodontic materials,” *Int. Endod. J.*, vol. 55, no. S2, pp. 346–369, Apr. 2022, doi: 10.1111/iej.13701.
- [11] R. Nainggolan *et al.*, “Parametric optimization of an axial wind turbine blade for a hybrid renewable energy system integrating solar PV and micro-hydro,” *Sci. Technol. Commun. J.*, vol. 6, no. 3, pp. 385–392, Jun. 2026, doi: 10.59190/stc.v6i3.395.
- [12] A. A. Matondang, M. Simanjuntak, and ..., “Design of Digital Mobile Application for Marine and Coastal Observation in Northern part of Sumatra,” *J. Appl. ...*, vol. 8, no. 2, 2024.

- [13] Parulian Siagian, Aprima A. Matondang, Andreas V. H. Simanjuntak, Budhi S. Kusuma, Joel Panjaitan, and Andrean V. H. Simanjuntak, "Experimental of Environmental Development Using Continuous Solar Dryer With Solid Dehumidification For Coffee Drying," *J. Geosci. Eng. Environ. Technol.*, vol. 10, no. 02, pp. 162–169, May 2025, doi: 10.25299/jgeet.2025.10.02.21492.
- [14] W. Y. Yohana, T. I. Nasution, H. Wahyuningsih, A. A. Matondang, and A. R. Margolang, "Evaluation of Dissolved Oxygen Concentration in Different Circulation Systems on Water Quality in Fish Pond," *J. Appl. Geospatial Inf.*, vol. 8, no. 1, pp. 71–77, Jun. 2024, doi: 10.30871/jagi.v8i1.7820.
- [15] Z. Zumhari, E. Hutajulu, B. Sibarani, R. Sirait, T. Anggriani, and A. A. Matondang, "Advancing Environmental and Health Pollution Monitoring in Medan, Indonesia: A Mechatronics-Based Meta-Analysis," *J. Geosci. Eng. Environ. Technol.*, vol. 10, no. 3, pp. 402–407, 2025, doi: 10.25299/jgeet.2025.10.3.24694.
- [16] M. K. Gupta *et al.*, "Detection and localization for watermarking technique using LSB encryption for DICOM Image," *J. Discret. Math. Sci. Cryptogr.*, vol. 25, no. 1, pp. 193–204, Jan. 2022, doi: 10.1080/09720529.2021.2009193.
- [17] A. Matondang and A. Ginting, "Analisis Konsumsi Daya Listrik Pada Pt . Unilever Oleochemical Indonesia Analysis of Electric Power Consumption At Pt . Unilever Oleochemical Indonesia," <https://Ojs.Polmed.Ac.Id/Index.Php/Circuit/Issue/View/140>, vol. 5, pp. 9–15, 2022.