JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa), Vol. 10, No. 1, Juni 2025, Hal. 157-164 p-ISSN 2548-737X
Terakreditasi "**Peringkat 3**" oleh Kemdiktisaintek, Nomor : 10/C/C3/DT.05.00/2025 e-ISSN 2548-8678
DOI: 10.31544/jtera.v10.i1.2025.157-164

Analisa Kesesuaian Energi Sistem PV Untuk Pengisian Kendaraan Listrik Di Sekolah: Studi Kasus Sekolah Di Bandung

Umar Hanif Ramadhani[1], Ayu Laksmi Padmadewi[2], Mugni Labib Edypoerwa[3], Bambang Trisno[4]
[1,2,3,4] Program Studi Teknik Energi Terbarukan, Universitas Pendidikan Indonesia (UPI)
Jl. Setiabudi No. 299, Bandung, 40154, Indonesia

umar.hanif@upi.edu

Abstrak

Penerapan sistem fotovoltaik (PV) untuk mendukung pengisian kendaraan listrik (EV) di lingkungan sekolah merupakan langkah strategis dalam mendukung efisiensi energi dan adopsi energi terbarukan. Studi ini memodelkan ukuran sistem PV yang ideal dan kesesuaian energinya untuk pengisian EV pada sekolah di Kota Bandung. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa, dengan asumsi seluruh guru beralih ke EV dan mengikuti jadwal pengisian selama jam sekolah, diperlukan sistem PV minimum sebesar 12 kWp untuk mencukupi kebutuhan pengisian EV di semua hari kerja, dengan rasio self-consumption tahunan sebesar 26,9%. Pada hari cerah, sistem PV 5 kWp mampu memenuhi seluruh kebutuhan pengisian EV dengan rasio self-consumption sebesar 78%, namun hanya mencukupi 50% dari kebutuhan pada hari mendung. Selain itu, sekolah negeri yang memiliki durasi operasional lebih pendek membutuhkan kapasitas PV yang lebih besar untuk mencapai tingkat pemanfaatan energi surya yang sama. Temuan ini menunjukkan bahwa efektivitas pemanfaatan PV sangat dipengaruhi oleh durasi aktivitas sekolah dan strategi pengisian daya yang digunakan.

Kata kunci: Solar PV, Kendaraan Listrik, Sekolah Berkelanjutan, Bangunan Sekolah, Kesesuaian Energi

Abstract

The implementation of photovoltaic (PV) systems to support electric vehicle (EV) charging in school environments is a strategic step toward enhancing energy efficiency and promoting renewable energy adoption. This study models the ideal PV system size and its energy matching for EV charging at schools in Bandung City. The results show that, assuming all teachers switch to EVs and follow a charging schedule during school hours, a minimum PV system capacity of 12 kWp is required to meet the EV charging needs on all weekdays, with an annual self-consumption ratio of 26.9%. On sunny days, a 5 kWp PV system can fully cover the EV charging demand with a self-consumption ratio of 78%, but only meets 50% of the demand on cloudy days. Furthermore, public schools with shorter operational hours require larger PV capacities to achieve the same level of solar energy utilization. These findings indicate that the effectiveness of PV utilization is highly influenced by the school's operating hours and the charging strategy applied.

Keywords: *Solar PV, Electric Vehicles, Sustainable School, School Building, Energy Matching*

I. PENDAHULUAN

Sistem fotovoltaik (PV) dan kendaraan listrik (EV) semakin banyak diterapkan di berbagai negara sebagai bagian dari upaya mewujudkan pasokan energi yang lebih berkelanjutan [1]. Tren ini didorong oleh kebutuhan global akan pengurangan emisi dan transisi menuju energi bersih [2]. Sejalan dengan itu, banyak negara, termasuk Indonesia, telah menetapkan target ambisius untuk pengembangan inisiatif PV dan EV [3].

Namun, penerapan sistem PV juga menghadapi sejumlah tantangan, terutama ketika diintegrasikan ke dalam sistem distribusi tegangan rendah [4].

© 2025 JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa), Politeknik Sukabumi

Selain itu, terdapat tantangan lain yaitu ketidaksesuaian antara waktu produksi energi PV dan waktu konsumsi EV [5]. Ketidaksesuaian ini dapat menimbulkan berbagai permasalahan dalam pengoperasian jaringan listrik, seperti deviasi tegangan, kelebihan beban pada komponen jaringan, dan peningkatan rugi-rugi daya [6,7].

Untuk mengatasi hal tersebut, diperlukan strategi yang dapat meningkatkan kesesuaian antara produksi PV dan konsumsi EV secara local [8,9]. Dua indikator utama yang umum digunakan untuk mengukur kesesuaian ini adalah self-consumption (SC) dan self-sufficiency (SS). SC didefinisikan sebagai persentase energi PV yang dikonsumsi langsung dibandingkan dengan total energi yang dihasilkan, sedangkan SS menunjukkan persentase energi beban yang dipenuhi oleh energi PV yang dikonsumsi secara langsung [10,11].

Walaupun riset tentang manajemen energi di sektor perumahan dan perkantoran telah banyak dilakukan, penelitian pada bangunan sekolah masih relatif terbatas [12]. Padahal, sekolah memiliki potensi besar karena jam operasionalnya yang umumnya berlangsung di siang hari, selaras dengan waktu produksi energi PV [13]. Infrastruktur pengisian EV di sekolah juga dapat memberikan manfaat langsung bagi guru, yang kesejahteraannya sangat penting terutama di negara berkembang [14].

Studi ini bertujuan untuk mengeksplorasi integrasi infrastruktur pengisian EV di sebuah sekolah di Kota Bandung, Indonesia, menggunakan model sistem PV tanpa penyimpanan energi, dengan fokus pada peningkatan SC dan SS. Ukuran sistem PV ditentukan untuk memaksimalkan kedua indikator tersebut. Hasil dari sekolah swasta full-day kemudian dibandingkan dengan sekolah negeri yang memiliki jam operasional lebih singkat, guna melihat bagaimana perbedaan pola aktivitas memengaruhi efektivitas sistem PV dalam mendukung pengisian EV.

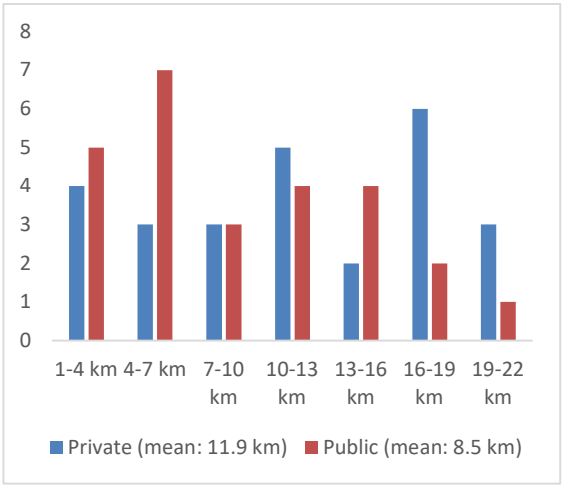
II. DATA PENELITIAN

A. Jarak tempuh dan jam kerja guru

Data mengenai jarak tempuh dan jam kerja guru dikumpulkan dari dua sekolah berbeda yang berada di Kota Bandung. Sekolah pertama adalah sekolah swasta dengan sistem full-day yang beroperasi dari pukul 07.00 hingga 16.00, dan memiliki total 26 orang guru. Sekolah kedua merupakan sekolah negeri dengan jam kerja lebih singkat, yaitu dari pukul 07.00 hingga 13.00. Kedua sekolah dipilih untuk merepresentasikan karakteristik institusi pendidikan yang umum dijumpai di Indonesia, terutama dalam konteks perbedaan pola kerja dan kegiatan harian [15].

Perbedaan ini memiliki dampak langsung terhadap potensi pengisian kendaraan listrik di lingkungan sekolah, mengingat waktu keberadaan kendaraan di lokasi menentukan sejauh mana energi PV dapat dimanfaatkan secara langsung [16]. Selain itu, data menunjukkan bahwa guru-guru di sekolah swasta memiliki rata-rata jarak tempuh harian yang lebih jauh dibandingkan dengan guru di sekolah negeri. Hal ini berimplikasi pada kebutuhan energi yang lebih tinggi untuk pengisian EV di sekolah swasta.

Perbandingan visual antara kedua sekolah, mencakup jumlah guru, jam kerja, dan jarak tempuh rata-rata guru, disajikan pada Gambar 1. Informasi ini menjadi dasar untuk memodelkan kebutuhan pengisian EV harian dan potensi pemanfaatan energi PV di masing-masing sekolah.



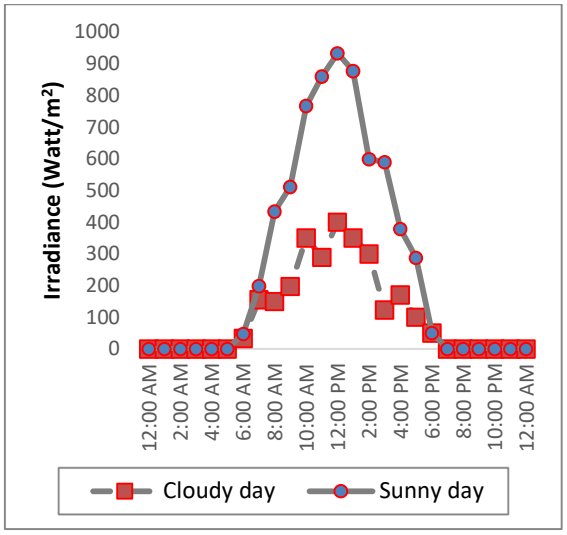
Gambar 1 Perbandingan histogram jarak tempuh rumah-sekolah antara sekolah swasta (biru) dan negri (merah) pada studi ini

B. Irradiasi matahari

Data iradiasi surya dalam studi ini diperoleh dari Solcast, sebuah platform yang menyediakan data energi surya berbasis satelit menggunakan model cuaca numerik dan citra satelit resolusi tinggi [17]. Solcast memberikan informasi yang detail mengenai iradiasi matahari secara temporal dan spasial, yang sangat berguna dalam pemodelan sistem fotovoltaik (PV) serta estimasi produksi energi.

Untuk keperluan studi ini, digunakan data iradiasi tahun 2022 untuk wilayah Kota Bandung, dengan koordinat geografis lintang 6,9° LS dan bujur 107,6° BT. Data yang digunakan berupa nilai global horizontal irradiance (GHI), yaitu total energi matahari yang diterima oleh permukaan horizontal dalam satuan energi per luas per waktu. GHI merupakan parameter utama dalam perhitungan potensi energi dari sistem PV atap.

Perbandingan antara hari cerah dan hari berawan disajikan dalam Gambar 2 untuk menunjukkan variasi produksi energi dari PV akibat kondisi cuaca. Pada hari cerah, produksi energi dari sistem PV sangat tinggi dan mungkin mampu memenuhi seluruh kebutuhan pengisian EV di sekolah, sehingga tingkat self-sufficiency meningkat. Namun, karena produksi yang berlimpah ini tidak selalu seluruhnya dapat dikonsumsi langsung oleh beban (terutama jika beban terbatas), maka tingkat self-consumption bisa lebih rendah. Sebaliknya, pada hari berawan, meskipun produksi energi PV lebih rendah, hampir seluruh energi yang dihasilkan dapat langsung dikonsumsi oleh beban, sehingga meningkatkan nilai self-consumption, meskipun self-sufficiency menjadi lebih rendah.



Gambar 2 Perbandingan profil irradiasi matahari pada hari cerah dan hari mendung dengan resolusi satu jam.

III. METODE PENELITIAN

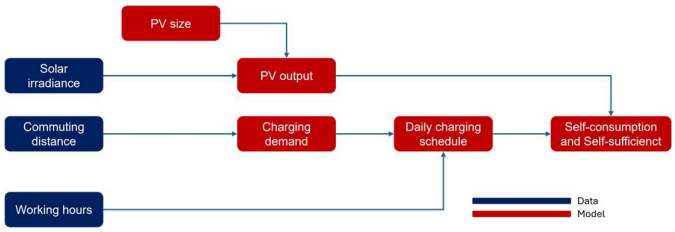
A. *Metode umum*

Metode umum yang digunakan dalam studi ini ditunjukkan pada Gambar 3. Data utama yang dibutuhkan meliputi data iradiasi surya, jarak tempuh harian guru, dan jam kerja sekolah.

Profil keluaran sistem PV dihitung berdasarkan data iradiasi harian dari tahun 2022 dan kapasitas sistem PV yang telah ditentukan dalam skenario pemodelan. Sementara itu, jadwal pengisian kendaraan listrik harian disusun berdasarkan jarak tempuh pulang-pergi guru dan waktu keberadaan mereka di sekolah.

Dengan menggabungkan profil keluaran PV dan jadwal pengisian EV, dilakukan perhitungan dua indikator utama, yaitu self-consumption (SC) dan self-sufficiency (SS). SC menunjukkan seberapa besar energi PV yang dapat dimanfaatkan langsung oleh beban pengisian EV, sedangkan SS menggambarkan sejauh mana kebutuhan energi pengisian EV dapat dipenuhi oleh PV.

Selain untuk menilai efektivitas sistem PV tanpa penyimpanan energi, perhitungan SC dan SS juga memberikan informasi tentang seberapa banyak energi listrik yang tidak terserap dan harus dikembalikan ke jaringan listrik umum. Hal ini penting untuk mempertimbangkan efisiensi pemanfaatan energi terbarukan serta dampaknya terhadap sistem distribusi lokal.



Gambar 3 Alur diagram metode yang digunakan pada studi ini.

B. *Model Kebutuhan Pengisian Kendaraan Listrik*

Dalam studi ini, terdapat dua jenis kendaraan listrik (EV) yang dimodelkan berdasarkan preferensi moda transportasi sebelumnya yang digunakan oleh para guru, yaitu motor listrik dan mobil listrik. Jika sebelumnya seorang guru menggunakan transportasi umum, maka diasumsikan bahwa mereka akan beralih ke motor listrik karena harganya yang lebih terjangkau dibandingkan mobil listrik.

Untuk kebutuhan pengisian motor listrik, model yang digunakan adalah berdasarkan spesifikasi dari motor listrik produksi Indonesia, yaitu Gesits. Sedangkan untuk mobil listrik, diasumsikan bahwa guru akan menggunakan model Wuling Air EV varian Standard Range, yang saat ini merupakan salah satu pilihan mobil listrik paling ekonomis di pasaran Indonesia.

Kebutuhan energi harian dari masing-masing kendaraan dihitung berdasarkan jarak tempuh pulang-pergi guru dan konsumsi energi per kilometer dari masing-masing jenis kendaraan. Data ini menjadi dasar dalam menyusun profil kebutuhan pengisian daya harian, yang kemudian dibandingkan dengan produksi energi dari sistem PV untuk menghitung SC dan SS.

.

C. *Penjadwalan Pengisian Kendaraan Listrik*

. Penjadwalan pengisian kendaraan listrik (EV) dalam studi ini dilakukan untuk memastikan bahwa

semua kendaraan guru dapat terisi selama waktu parkir di sekolah, dengan memaksimalkan pemanfaatan listrik dari sistem PV yang tersedia. Karena fokus utama dari studi ini adalah pemodelan self-consumption dan self-sufficiency dari sistem PV tanpa baterai, maka beberapa penyederhanaan dilakukan agar perhitungan tetap efisien dan terfokus [18].

Beberapa batasan yang diterapkan dalam pemodelan penjadwalan ini adalah sebagai berikut:

1. Pengisian daya hanya menggunakan metode pengisian normal (normal charging), tanpa mempertimbangkan penggunaan pengisian cepat (fast charging).
2. Energi yang dibutuhkan untuk pengisian setiap kendaraan diasumsikan tetap setiap harinya, sesuai kebutuhan perjalanan dari rumah ke sekolah dan kembali lagi ke rumah keesokan harinya.
3. Tidak ada variasi dalam konsumsi energi antar hari maupun antar kendaraan untuk jenis yang sama.

Dalam model ini, ukuran sistem PV (dinyatakan dalam y, satuan kWp) merupakan variabel keputusan utama. Tujuan dari pemodelan ini adalah untuk meminimalkan ukuran sistem PV yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan pengisian EV, selama jam operasional sekolah.

Persamaan objektif dan batasan (constraints) dari pemodelan ini dirumuskan sebagai berikut:

Fungsi objektif:

Meminimalkan y, yaitu kapasitas sistem PV.

Batasan-batasan:

1. Setiap EV harus selesai terisi selama periode parkir (waktu keberadaan di sekolah).
2. Daya pengisian untuk setiap EV dibatasi tetap sebesar 350 watt.
3. Total keluaran dari sistem PV harus cukup untuk memenuhi total permintaan daya pengisian pada hari tersebut.
4. Semua variabel dalam model ini harus bernilai non-negatif (tidak boleh negatif).

Dengan model ini, dapat dilakukan estimasi minimum kapasitas PV yang dibutuhkan agar seluruh kendaraan dapat terisi selama jam sekolah, serta dampaknya terhadap self-consumption dan self-sufficiency dalam berbagai skenario, termasuk kondisi hari cerah dan berawan. Hasil dari pemodelan ini menjadi dasar dalam mengevaluasi performa sistem PV dalam mendukung elektrifikasi transportasi di lingkungan sekolah.

D. *Model produksi output PV*

Profil produksi daya dari sistem fotovoltaik (PV) dalam studi ini didasarkan pada data Global Horizontal Irradiance (GHI) yang telah dijelaskan pada Subbab 2.2. Untuk menyederhanakan proses perhitungan, GHI dianggap mewakili profil iradiasi surya yang mengenai permukaan modul PV secara langsung. Oleh karena itu, profil keluaran daya dari sistem PV diasumsikan berbanding lurus secara linear dengan nilai GHI pada setiap waktu pengamatan.

Secara matematis, produksi daya PV pada waktu ke-*t*, dinyatakan sebagai sts_tst, dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$s_{t} = GHI_t \times P \quad (1)$$

dengan:

GHIt: nilai iradiasi global horizontal pada waktu ke-*t* (dalam W/m²),

P: faktor efisiensi sistem PV dikalikan dengan luas permukaan panel PV (m²), yang nilainya diperkirakan dari ukuran sistem PV (dalam kWp).

Faktor P menggabungkan efisiensi konversi energi dari modul PV dan inverter, serta luas area yang digunakan. Nilai ini juga menjadi parameter penting dalam pemodelan, karena secara langsung memengaruhi besarnya energi yang dapat dihasilkan dan seberapa besar sistem PV diperlukan untuk memenuhi kebutuhan pengisian kendaraan listrik (EV).

Model ini digunakan untuk menghasilkan profil harian produksi energi dari sistem PV yang kemudian dibandingkan dengan kebutuhan daya untuk pengisian EV, sehingga dapat dihitung nilai *self-consumption* dan *self-sufficiency* dalam berbagai skenario hari (cerah dan berawan) dan ukuran sistem PV yang berbeda.

E. *Self-consumption dan self-sufficiency*

Dalam studi ini, dua parameter utama kesesuaian energi yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja sistem PV dalam mendukung pengisian kendaraan listrik, yaitu self-consumption (SC) dan self-sufficiency (SS).

Self-consumption (SC) adalah persentase energi PV yang langsung dikonsumsi oleh beban di lokasi (dalam hal ini pengisian EV) terhadap total energi yang dihasilkan oleh sistem PV. Nilai SC menggambarkan seberapa besar energi yang dihasilkan PV dapat dimanfaatkan secara langsung tanpa harus disalurkan ke jaringan Listrik [10,19].

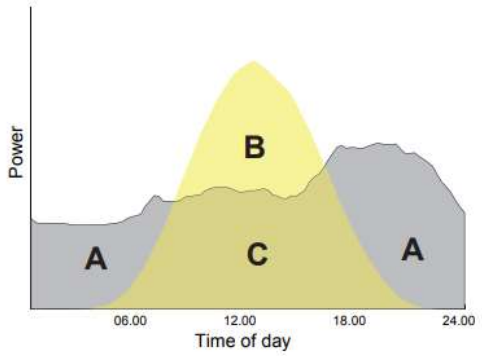
Self-sufficiency (SS) adalah persentase kebutuhan energi beban yang dapat dipenuhi oleh energi dari sistem PV. Dengan kata lain, SS menunjukkan

seberapa besar beban pengisian EV dapat terpenuhi secara mandiri oleh produksi energi PV tanpa harus mengandalkan pasokan listrik dari jaringan [10,19].

Kedua indikator ini saling melengkapi dan penting dalam memahami efektivitas sistem PV. Nilai SC yang tinggi menunjukkan bahwa energi PV yang dihasilkan sebagian besar digunakan secara langsung, sehingga meminimalkan energi yang harus disalurkan kembali ke jaringan. Nilai SS yang tinggi menunjukkan tingkat kemandirian energi beban yang tinggi, yang berarti beban dapat dipenuhi hampir seluruhnya dari energi terbarukan lokal.

Perhitungan SC dan SS dalam penelitian ini dilakukan dengan membandingkan profil produksi energi PV dan profil kebutuhan pengisian EV pada interval waktu yang sama. Hasil perhitungan ini juga memberikan gambaran tentang besarnya energi listrik yang harus dikembalikan ke jaringan jika produksi PV melebihi kebutuhan beban, atau sebaliknya, jumlah energi yang harus disuplai dari jaringan saat produksi PV tidak mencukupi.

Evaluasi SC dan SS menjadi dasar penting dalam merancang ukuran sistem PV yang optimal untuk pengisian EV di lingkungan sekolah, sekaligus mengukur potensi pengurangan beban pada jaringan listrik umum. Visualisasi SC dan SS dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Ilustrasi konsumsi listrik harian (A + C), produksi sistem PV (B + C), rasio self-consumption (C / (B + C)), dan rasio self-sufficiency (C / (A + C)).

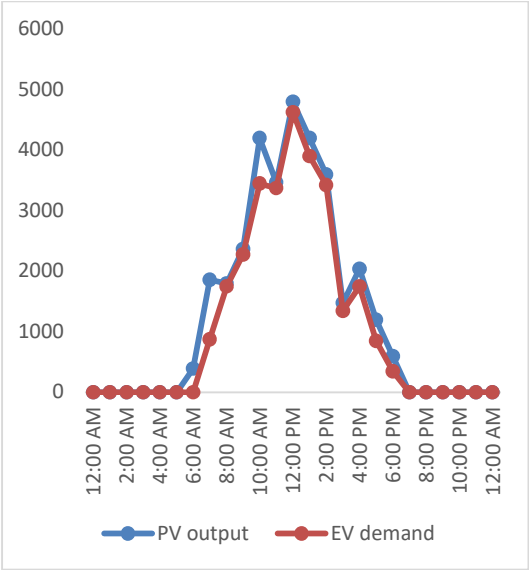
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan, diperoleh estimasi ukuran minimum sistem PV yang dibutuhkan untuk memenuhi seluruh kebutuhan pengisian kendaraan listrik (EV) di sekolah. Hasil ini sangat bergantung pada kondisi cuaca yang berlaku, terutama tingkat iradiasi surya harian.

Pada hari cerah dengan sinar matahari penuh, sistem PV dengan kapasitas yang relatif kecil sudah cukup untuk memenuhi seluruh kebutuhan pengisian EV. Sebaliknya, pada hari berawan atau hujan yang memiliki iradiasi lebih rendah, kapasitas PV yang jauh lebih besar diperlukan agar beban pengisian EV dapat terpenuhi secara optimal.

Dari dua skenario kapasitas tersebut, dihitung nilai self-consumption (SC) dan self-sufficiency (SS) sebagai indikator kinerja sistem PV. Hasil utama yang ditemukan adalah sebagai berikut:

Dengan asumsi seluruh guru beralih menggunakan EV dan mengikuti jadwal pengisian yang telah dirancang, sekolah swasta dengan jam operasional penuh (dari pukul 07.00 sampai 16.00) memerlukan sistem PV minimal berkapasitas 12 kWp untuk mengisi semua EV selama jam sekolah pada setiap hari kerja sebagaimana ditunjukan pada Gambar 5. Sistem dengan kapasitas ini menghasilkan rasio SC tahunan sebesar 26,9%, dengan asumsi hari libur sekolah memiliki rasio SC sebesar 0% karena tidak ada aktivitas pengisian EV.



Gambar 5 Produksi sistem PV dan pengisian kendaraan listrik dari penjadwalan pengisian untuk hari mendung dengan ukuran sistem PV 12 kW.

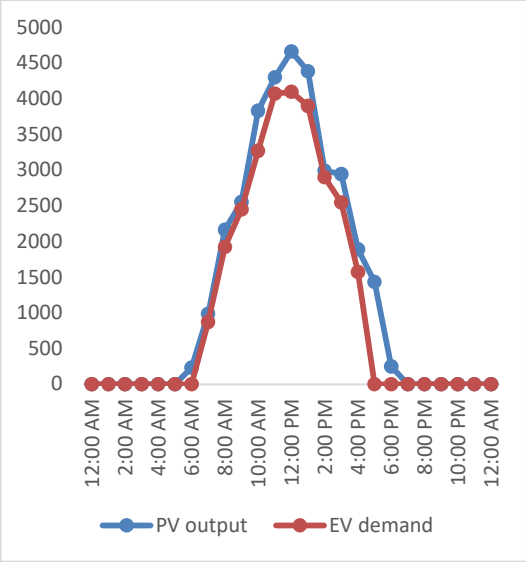
Pada hari cerah, sistem PV berkapasitas 5 kWp cukup untuk menutupi seluruh kebutuhan pengisian EV dengan rasio SC yang tinggi, yaitu mencapai 78% sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6. Namun, pada hari berawan, sistem sebesar itu hanya mampu memenuhi sekitar 50% dari kebutuhan energi pengisian EV, yang menunjukkan rasio SS yang lebih rendah pada kondisi cuaca tersebut.

Selain itu, studi ini membandingkan kebutuhan sistem PV antara sekolah swasta dengan jam operasional penuh dan sekolah negeri yang memiliki jam operasional lebih singkat, yaitu hingga pukul 13.00. Karena waktu parkir kendaraan di sekolah

negeri lebih pendek, total waktu pengisian EV juga terbatas, sehingga kebutuhan daya pengisian per jam menjadi lebih tinggi. Akibatnya, untuk dapat mengisi seluruh kendaraan secara penuh dalam waktu yang lebih singkat, sekolah negeri membutuhkan kapasitas PV yang lebih besar dibandingkan sekolah swasta dengan jam operasional lebih panjang.

Estimasi awal menunjukkan bahwa untuk sekolah negeri dengan jam operasional hingga pukul 13.00, kapasitas sistem PV yang diperlukan dapat meningkat hingga sekitar 15 kWp atau lebih, tergantung pada kondisi cuaca dan jumlah kendaraan yang harus diisi.

Secara keseluruhan, hasil ini menegaskan pentingnya menyesuaikan ukuran sistem PV dengan pola operasional dan kondisi cuaca untuk mencapai efisiensi pengisian EV dan memaksimalkan pemanfaatan energi surya di lingkungan sekolah. Sistem yang terlalu kecil akan menyebabkan ketergantungan lebih besar pada jaringan listrik umum, sedangkan sistem yang terlalu besar dapat menimbulkan energi terbuang atau harus disalurkan kembali ke jaringan tanpa pemanfaatan optimal.



Gambar 6 Produksi sistem PV dan pengisian kendaraan listrik dari penjadwalan pengisian untuk hari cerah dengan ukuran sistem PV 5 kW

V. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa untuk mendukung pengisian kendaraan listrik secara penuh pada jam operasional sekolah dengan menggunakan sistem PV tanpa penyimpanan energi, diperlukan penyesuaian kapasitas PV yang sesuai dengan kondisi cuaca dan durasi operasional sekolah.

Dengan asumsi seluruh guru beralih menggunakan EV dan mengikuti jadwal pengisian yang diusulkan, sekolah swasta dengan jam operasional penuh memerlukan sistem PV minimal sebesar 12 kWp untuk memenuhi kebutuhan pengisian selama hari kerja. Sistem ini menghasilkan rasio self-consumption tahunan sebesar 26,9%, dengan pengaruh signifikan dari hari non-sekolah yang tidak ada pengisian. Pada hari cerah, sistem PV berkapasitas 5 kWp dapat menutupi seluruh kebutuhan pengisian EV dengan rasio self-consumption sebesar 78%, namun kapasitas tersebut hanya dapat memenuhi sekitar 50% dari kebutuhan pengisian pada hari berawan.

Untuk sekolah negeri dengan jam operasional lebih singkat, diperlukan kapasitas PV yang lebih besar untuk mengisi EV dalam waktu yang terbatas, sehingga potensi kebutuhan sistem dapat meningkat secara signifikan.

Temuan ini menegaskan bahwa perencanaan kapasitas sistem PV harus mempertimbangkan durasi pengisian kendaraan, pola penggunaan EV, dan kondisi iklim setempat agar dapat memaksimalkan penggunaan energi terbarukan dan mengurangi ketergantungan pada pasokan listrik dari jaringan umum..

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada Darul Hikam Bandung dan SMKN 4 Bandung yang berkontribusi memberikan data pada penelitian ini.

REFERENSI

[1] R. P. S. Leão, G. C. Barroso, R. F. Sampaio, J. B. Almada, C. F. P. Lima, M. C. O. Rego, and F. L. M. Antunes, The future of low voltage networks: Moving from passive to active, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, vol. 33, no. 8, pp. 1506–1512, 2011.

[2] T. Kobashi, Y. Choi, Y. Hirano, Y. Yamagata, and K. Say, "Rapid rise of decarbonization potentials of photovoltaics plus electric vehicles in residential houses over commercial districts," Applied Energy, vol. 306, p. 118142, 2022.

[3] International Energy Agency, Global EV Outlook 2024: Trends and Developments in Electric Vehicle Markets, Charging Infrastructure and Policy, IEA, 2024.

[4] U. H. Ramadhani, F. Johari, O. Lindberg, J. Munkhammar, and J. Widén, A city-level assessment of residential PV hosting capacity for low-voltage distribution systems considering rooftop data and uncertainties, Applied Energy, vol. 371, 123715, 2024.

[5] M. L. Edypoerwa, A. L. Padmadewi, and B. Trisno, Strategic Feasibility Analysis for Implementing

Solar-Powered Electric Vehicle Charging Infrastructure at Universitas Pendidikan Indonesia Bumi Siliwangi Campus Using SWOT Approach, International Journal of Educational Management and Innovation, vol. 6, no. 2, 2025.

[6] S. A. Aleem, S. M. Suhail Hussain, and T. S. Ustun, A review of strategies to increase PV penetration level in smart grids, Energies, vol. 13, no. 3, 2020.

[7] M. Shepero, U. Ramadhani, and J. Widén, Estimating the impacts of single phase electric vehicle charging and photovoltaic installations on an unbalanced 3-phase distribution grid, in 9th Solar Integration Workshop, Dublin: Energynautics GmbH, Oct. 14, 2019.

[8] H. Jin, S. Lee, S. H. Nengroo, and D. Har, "Development of Charging/Discharging Scheduling Algorithm for Economical and Energy-Efficient Operation of Multi-EV Charging Station," *Applied Sciences*, vol. 12, no. 9, p. 4786, 2022.

[9] S. Sykiotis, C. Menos-Aikateriniadis, A. Doulamis, N. Doulamis, and P. S. Georgilakis, "Solar Power Driven EV Charging Optimization with Deep Reinforcement Learning," in *Proceedings of the 2022 2nd International Conference on Energy Transition in the Mediterranean Area (SyNERGY MED)*, 2022, pp. 1–6.

[10] R. Luthander, J. Widén, D. Nilsson, and J. Palm, Photovoltaic self-consumption in buildings: A review, Applied Energy, vol. 142, pp. 80–94, 2015.

[11] N. Franzoi, A. Prada, S. Verones, dan P. Baggio, "Enhancing PV Self-Consumption through Energy Communities in Heating-Dominated Climates," *Energies*, vol. 14, no. 14, p. 4165, 2021.

[12] U. H. Ramadhani, R. Fachrizal, M. Shepero, J. Munkhammar, and J. Widén, Probabilistic load flow analysis of electric vehicle smart charging in unbalanced LV distribution systems with residential photovoltaic generation, Sustainable Cities and Society, vol. 72, 103043, 2021.

[13] A. L. Padmadewi, U. H. Ramadhani, M. L. Edypoerwa, and B. Trisno, Evaluating the impact of electric vehicles on emission reduction in schools: A case study at SMP Darul Hikam Bandung, International Journal of Educational Management and Innovation, vol. 6, no. 1, pp. 61–71, 2025.

[14] A. Widayati, J. MacCallum, dan A. Woods-McConney, "Teachers' perceptions of continuing professional development: a study of vocational high school teachers in Indonesia," *Teacher Development*, vol. 25, no. 2, pp. 1–18, 2021.

[15] Aningsih, Zulela, Neolaka, A., Iasha, V., & Setiawan, B. (2022). How is the education character implemented? The case study in Indonesian elementary school. *Journal of Educational and Social Research*, 12(1), 371–380. https://doi.org/10.36941/jesr-2022-0029

[16] Cheikh-Mohamad, S., Sechilariu, M., & Locment, F. (2022). Real-Time Power Management Including an Optimization Problem for PV-Powered Electric Vehicle Charging Stations. *Applied Sciences*, 12(9), 4323.

[17] Solcast, Solar Forecasting and Irradiance Data, Solcast, 2023. [Online]. Available: https://solcast.com.

[18] I. Ullah, K. Liu, T. Yamamoto, M. Shafiullah, and A. Jamal, "Grey wolf optimizer-based machine learning algorithm to predict electric vehicle charging duration time," *Transportation Letters*, vol. 15, no. 8, pp. 889–906, 2023.

[19] Z. Wang, M. B. Luther, P. Horan, J. Matthews, dan C. Liu, "On-site solar PV generation and use: Self-consumption and self-sufficiency," *Building Simulation*, vol. 16, 1835–1849, 2023