

Desain *Energy Storage System* Untuk Terminal Charging Kendaraan Listrik Berdasarkan Intensitas Cahaya Matahari Sepanjang Hari

Ridho Anggu Frasasti^{1*}, Parlin Siagian², Hermansyah Alam³

^{1,2,3}Universitas Pembangunan Panca Budi, Medan, Indonesia

*Koresponden email: ridhoanggufirasasti@gmail.com¹, parlinsiagian@dosen.pancabudi.ac.id²

Diterima: 21 Maret 2024

Disetujui: 5 April 2024

Abstract

Utilization of new, renewable energy (EBT) resources is the most important field in developing countries like Indonesia. The development of effective methods for evaluating alternative energy sources in the automotive industry has always been a need for cost-effective design analysis and one of the viable energy sources is electrical energy. Electric Vehicles (EV) are the application of photovoltaic energy using a combination of a charge controller based on a battery charging strategy with a unidirectional PWM technique based on a grid to vehicle strategy in the Smart Grid. Energy supplies in the world are currently decreasing, especially the energy used to generate electricity. With the widespread use of electric vehicles (EVs), it is important to plan charging by considering the behavior of EV drivers and demand on the electricity grid. Because the average solar insolation value in Indonesia is quite high, this can minimize dependence on the electricity grid and maximize the use of solar energy for energy storage systems for electric vehicles.

Keywords: *energy, ebt, electric vehicles, smart grid, photovoltaics, storage systems*

Abstrak

Pemanfaatan sumber daya energi baru terbarukan (EBT) merupakan bidang terpenting di negara berkembang seperti Indonesia. Pengembangan metode yang efektif untuk mengevaluasi sumber energi alternatif di industri otomotif selalu menjadi kebutuhan untuk analisis desain yang hemat biaya dan salah satu sumber energi yang layak adalah energi listrik. Kendaraan Listrik adalah penerapan energi fotovoltaiik dengan menggunakan kombinasi charge controller berdasarkan strategi pengisian baterai dengan teknik PWM searah berdasarkan strategi grid to vehicle di Smart Grid. Persediaan energi di dunia saat ini sudah semakin menurun khususnya energi yang digunakan untuk menghasilkan listrik, Dengan meluasnya penggunaan kendaraan listrik, penting untuk merencanakan pengisian daya dengan mempertimbangkan perilaku pengemudi EV dan permintaan jaringan listrik. Karena nilai insolasi matahari di Indonesia rata-rata cukup tinggi maka hal ini dapat meminimalkan ketergantungan jaringan listrik dan memaksimalkan penggunaan tenaga matahari untuk *energy storage system* kendaraan listrik.

Kata Kunci: *energi, ebt, kendaraan listrik, smart grid, fotovoltaiik, sistem penyimpanan*

1. Pendahuluan

Di zaman modern, kendaraan listrik baterai berteknologi baru adalah yang terbaik untuk masa yang akan mendatang. Kendaraan listrik (EV) digerakkan oleh motor listrik (atau motor) yang ditenagai oleh baterai yang dapat diisi ulang. Kendaraan listrik (EV) memiliki beberapa keunggulan dibandingkan kendaraan dengan pembakaran internal. Kendaraan listrik berubah sekitar 59–62% [4], [5] energi listrik dari jaringan listrik menjadi tenaga pada roda kendaraan berbahan bakar bensin konvensional hanya mengubah sekitar 17–21% energi yang tersimpan dalam bensin menjadi tenaga pada roda [6]–[8]. Sektor transportasi merupakan penyumbang utama karbon global emisi. Pada tahun 2021, energi yang dikonsumsi oleh kegiatan transportasi menyumbang 38% dari total konsumsi energi di seluruh dunia, yang sebagian besar berasal dari bahan bakar fosil [1]–[3]. Elektrifikasi transportasi merupakan bagian penting dari rencana global untuk mengurangi emisi [9]–[12], dan banyak negara telah memperkenalkan kebijakan es untuk mempromosikan adopsi kendaraan listrik (EV) [12]–[14]. Pada penelitian [7] menunjukkan peningkatan momentum negara dan dedikasi terhadap adopsi EV secara luas.

Demikian pula, untuk mempercepat transisi energi yang menyebabkan polusi telah menetapkan target bahwa 90% kendaraan, bukan hanya penjualan, akan mencapai nol emisi 2050 [15]. Kendaraan listrik tidak mengeluarkan polutan pada knalpot, meskipun pembangkit listrik yang memproduksi listrik mungkin

mengeluarkan polutan tersebut. Listrik dari pembangkit listrik tenaga nuklir, air, tenaga surya, atau angin tidak menimbulkan polusi udara. Masyarakat umum kini menjadi lebih sadar akan perlunya mengurangi jejak karbon dengan mengurangi penggunaan bahan bakar fosil. Dan semakin banyak pelanggan yang mencari perusahaan yang jelas-jelas meningkatkan profil keberlanjutannya. Namun, kendaraan listrik menghadapi tantangan besar terkait baterai. Karena digerakkan oleh listrik, terdapat sejumlah besar daya yang hilang selama proses konversi [16], [17]. Mengendarai kendaraan listrik sepenuhnya dari jaringan nasional bukanlah solusi yang bermanfaat.

Namun, peningkatan jumlah kendaraan listrik membawa tantangan pada sistem kelistrikan. Salah satu alasannya adalah infrastruktur pengisian daya yang ada saat ini tidak cukup untuk mendukung peningkatan permintaan pengisian daya. Kapasitas pembangkitan jaringan listrik harus dipertimbangkan dalam perencanaan infrastruktur pengisian daya di masa depan. Dengan meningkatnya jumlah kendaraan listrik, permintaan puncak pada kendaraan listrik akan meningkat. Hal ini dapat menyebabkan kerusakan pada infrastruktur jaringan listrik. Terlebih lagi, ketika permintaan puncak yang tinggi bertepatan dengan periode rendahnya pembangkitan energi terbarukan, maka dari itu penelitian energy storage system dibuat guna meningkatkan pembangkitan energy terbarukan.

Penambahan sebuah stasiun pengisian kendaraan listrik bertenaga surya yang inovatif dan menggunakan sistem terikat jaringan tidak hanya akan menjadi investasi praktis. Sebuah kendaraan listrik (EV) mengkonsumsi listrik sebesar 71,4 kWh dengan jarak yang dapat ditempuh berkisaran 500 km, dengan rentang waktu pengisian baterai berkisar 2 sampai dengan 8 jam. Potensi energi matahari di wilayah Sumatera Utara cukup besar untuk dimanfaatkan sebagai sumber energy alternatif. Sumatera Utara memiliki radiasi matahari yang cukup tinggi, dengan nilai insolasi rata-rata sebesar 4,5 hingga 5,5 kWh/m² per hari pada ketinggian 10 meter dari permukaan tanah, berikut dapat dilihat nilai insolasi rata-rata dan rata-rata jam terang matahari di wilayah Sumatera Utara pada **Tabel 1** dan **2** [18].

Tabel 1. Insolasi matahari di wilayah Sumatera Utara

Bulan	Radiasi sinar matahari (kWh/m ²)	Bulan	Radiasi sinar matahari (kWh/m ²)
Januari	4,04	Juli	3,90
Februari	3,98	Agustus	4,05
Maret	4,08	September	3,50
April	4,00	Oktober	4,04
Mei	3,96	November	4,05
Juni	3,91	Desember	4,01

Tabel 2. Rata-rata jam terang matahari

Bulan	Jam sinar matahari cerah (jam)	Bulan	Jam sinar matahari cerah (jam)
Januari	5,99	Juli	6,09
Februari	7,56	Agustus	8,03
Maret	7,75	September	7,38
April	8,55	Oktober	6,49
Mei	7,63	November	5,42
Juni	6,97	Desember	5,38

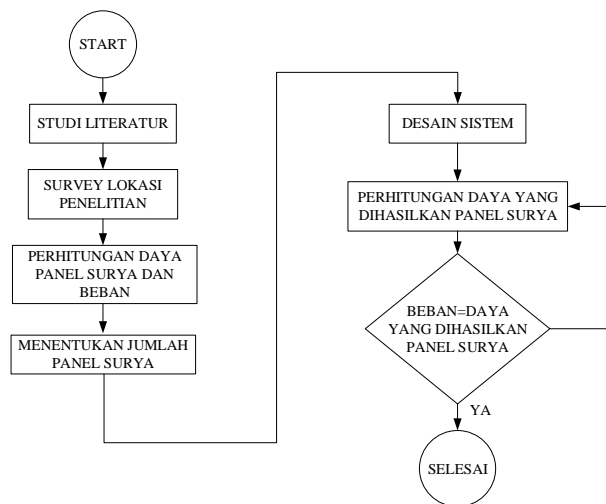
Demikian sumber energi yang dikembangkan untuk masa depan adalah sumber energi dari bahan yang tidak menimbulkan polusi bagi bumi. Sistem fotovoltaik baik solar cell merupakan salah satu dari beberapa peralatan bebas dari penyebab polusi, oleh karena itu dalam pengembangan smart grid yang berkelanjutan diperlukan integrasi sytem stand alone fotovoltaik yang lebih banyak. Dengan keutamaan itu system stand alone fotovoltaik terdistribusi pada energy storage system sehingga integrasi jaringan dengan pemanfaatan sumber fotovoltaik ini menjadi bidang penelitian yang menantang. Penyinaran matahari adalah sumber daya pada system tenaga fotovoltaik, tetapi pancaran sinar matahari tidak tetap pada setiap waktu karena kondisi cuaca. Namun system solar cell tetap merupakan sumber energy listrik yang sangat baik di masa depan.

Pemasangan solar cell yang dilakukan secara off grid pada *energy storage system*, memiliki kelebihan yaitu dapat tetap menyediakan listrik untuk terminal charging kendaraan listrik jika terdapat pemadaman listrik.

Energy storage system untuk terminal charging kendaraan listrik merupakan satu tempat beserta peralatan untuk melakukan pengisian ulang daya pada kendaraan listrik, energy storage system merupakan elemen penting dalam rencana global terkait elektrifikasi kendaraan listrik baik untuk pribadi maupun umum. Fungsi utama energy storage system, Electric Vehicle Charging Station (EVCS), yakni memasok energi listrik ke baterai kendaraan listrik. EVCS adalah tempat kendaraan listrik “minum” seperti kendaraan pembakaran internal mengisi BBM di SPBU. Namun, kelebihan kendaraan listrik adalah “lokasi minumannya” bisa dilakukan di beberapa alternatif. Stasiun pengisian untuk keperluan umum diistilahkan sebagai stasiun pengisian listrik umum (SPLU) ataupun stasiun pengisian kendaraan listrik umum (SPKLU).

2. Metode Penelitian

Desain energy storage system untuk terminal charging kendaraan listrik berdasarkan intensitas cahaya matahari sepanjang hari harus mempertimbangkan perilaku pengemudi dan dampaknya terhadap jaringan listrik. Dimana dalam nilai rekomendasi pengisian daya yang dipersonalisasi untuk mengalihkan pengisian daya kendaraan listrik dari jam sibuk jaringan listrik di Indonesia. Kapasitas pengisian daya di siang hari harus diperluas untuk memaksimalkan potensi pemanfaatan dari tenaga surya. Berdasarkan pendahuluan dan landasan teori yang sudah diuraikan diatas, disini saya akan memberikan tahapan dalam desain energy storage system untuk terminal charging kendaraan listrik berdasarkan intensitas cahaya matahari sepanjang hari yang digunakan sesuai dengan diagram alir pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Diagram alir pelaksanaan kegiatan

Tahapan pelaksanaan kegiatan penelitian adalah:

1. Studi Literatur

Tahapan ini merupakan tahapan yang paling awal dalam kegiatan penelitian untuk dapat menentukan semua aspek termasuk apa saja yang harus di data, dan apa saja yang menjadi bagian terpenting dalam kegiatan penelitian ini agar kegiatan penelitian yang dilakukan ini tidak salah dan sesuai dengan apa yang ingin di teliti.

2. Survei Lokasi

Tahapan ini dilakukan untuk mengetahui apakah lokasi tersebut dapat menerima paparan sinar matahari secara optimal atau tidak dalam satu hari penuh dan dimana data yang akan diambil hanya dalam kurun waktu 30 hari saja. Dimana lokasi kegiatan penelitian yang dilakukan memiliki luas tanah seluas 10.000 m², lokasi penelitian desain energy storage system untuk terminal charging kendaraan listrik terlihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Lokasi penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

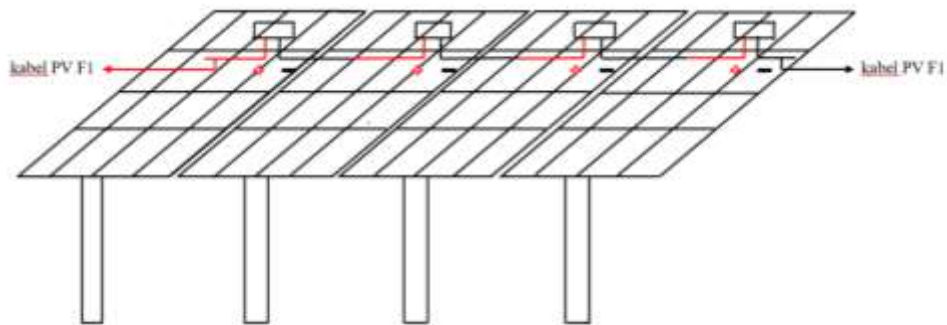
Perhitungan Daya

Perhitungan kapasitas yang dihasilkan pada system fotovoltaik yang diperlukan pada lokasi tempat pemasangan kegiatan penelitian tersebut. Dalam hal ini terminal charging untuk kendaraan listrik berjumlah 5 terminal, dengan masing-masing terminal charging berkapasitas 222,24 kW. Dimana dengan kapasitas baterai yang digunakan pada kendaraan listrik berkapasitas 71,4 kW dan rentang waktu yang dibutuhkan hanya 4 sampai 8 jam. Dalam sehari masing-masing terminal charging kendaraan listrik dapat melakukan charging 3 kendaraan listrik untuk melakukan charging, sehingga dalam sehari energy storage system untuk terminal charging kendaraan listrik dapat melakukan charging 15 kendaraan listrik untuk melakukan charging. Dalam satu hari total kapasitas daya yang dibutuhkan pada energy storage system untuk terminal charging kendaraan listrik sebesar 1,1112 MW.

Menentukan jumlah fotovoltaik

Setelah memperhitungkan berapa daya yang dibutuhkan untuk energy storage system yang dibutuhkan maka selanjutnya menentukan jumlah fotovoltaik yang akan dipasang untuk dapat memenuhi kebutuhan daya yang diinginkan. Sehingga jumlah fotovoltaik yang dibutuhkan sebanyak 3.914 keping fotovoltaik *Monocrystalline Solar Cells* dikarenakan solar cell jenis ini memiliki tingkat efisiensi konversi sinar matahari menjadi energi listrik sebesar 15% hingga 20% dan juga memiliki performa yang lebih baik dari jenis solar cell lainnya.

Dalam pemasangannya fotovoltaik dipasang dengan menggunakan hubungan seri dimana agar tegangan yang dihasilkan dari fotovoltaik akan lebih optimal dan stabil ke dalam energy storage system. Berikut skema pemasangan fotovoltaik dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Skema pemasangan fotovoltaik



Gambar 4. Skema pemasangan fotovoltaik

Desain System

Desain *energy storage system* untuk terminal charging kendaraan listrik berdasarkan intensitas cahaya matahari sepanjang hari dibuat pada luas area 10.000 m², dimana desain *energy storage system* untuk terminal charging kendaraan listrik terdapat 5 buah tempat charging kendaraan listrik. Dimana desain yang dibuat untuk *energy storage system* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Desain *energy storage system*

3. Perhitungan Daya yang Dihasilkan Fotovoltaik

Luas fotovoltaik yang digunakan dalam kegiatan penelitian ini adalah $3.914 \times 1,95 \times 1.31 = 9.998,3 \text{ m}^2$.

Untuk mencari daya yang dihasilkan panel solar cell pada program ini dapat menggunakan rumus di atas yaitu:

$$E_L = PV \text{ area} \cdot G_{av} \cdot \eta_{PV} \cdot TCF \cdot \eta_{out}$$

$$E_L = (9.998,3) \cdot (4,5) \cdot (0,18) \cdot (0,8) \cdot (0,75)$$

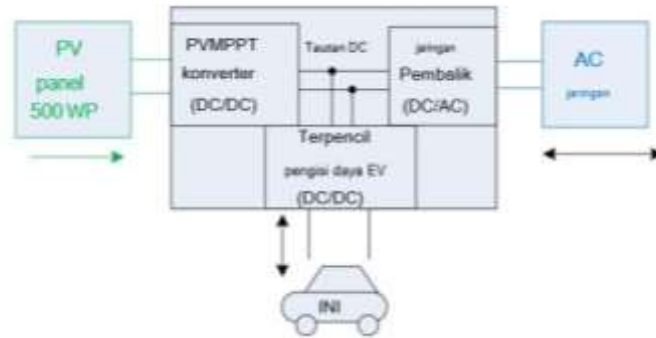
$$E_L = 4.859,1 \text{ kWh}$$

Daya yang bisa dipenuhi oleh solar cell adalah $4.859,1 / 2.286,4 \times 500\% = 10,31\%$

Pengontrol muatan, pengatur muatan atau pengatur baterai membatasi laju arus listrik yang masuk atau diambil dari baterai listrik. Ini mencegah pengisian daya yang berlebihan dan dapat mencegah tegangan berlebih yang dapat mengurangi kinerja baterai atau masa hidup dan dapat menimbulkan risiko keselamatan. Hal ini juga dapat mencegah pengurasan baterai sepenuhnya ("pengosongan dalam-dalam"), atau melakukan pengosongan daya yang terkendali, tergantung pada teknologi baterai, untuk melindungi masa pakai baterai. Istilah "pengontrol muatan" atau "pengatur muatan" dapat merujuk pada perangkat yang berdiri sendiri, atau sirkuit kontrol yang terintegrasi dalam paket baterai, perangkat bertenaga baterai, atau pengisi ulang baterai.

Penelitian ini menggunakan teknik PWM untuk kontrol pengisian daya. Teknik pengendalian secara keseluruhan akan diikuti oleh tiga mode; M-1: Pengisian arus konstan/Pengisian Massal M-2: Pengisian tegangan konstan, M-3: Pengisian daya mengambang.

Alat yang dibutuhkan dalam penelitian desain energy storage system untuk terminal charging kendaraan listrik adalah modul surya monocrystalline (500 Wp), menggunakan jenis kabel PV F1 dengan diameter 2x35 mm² adapun diameter kabel untuk ke inverter dan baterai menggunakan jenis kabel PV F1 2x50 mm². Untuk penggunaan jenis baterai pada energy storage system menggunakan jenis baterai *lithium fero fosfat (LFP)* dengan kapasitas per baterainya 24V, 200Ah, dan menggunakan jenis system charging *Combined Charging System (CCS)* dimana jenis ini dapat menggabungkan pengisian AC dan DC terhadap kendaraan listrik ke dalam satu device. Selain untuk pengisian AC dan DC, *Combined Charging System (CCS)* juga bisa disesuaikan untuk mengisi secara cepat atau lambat. Pengisian Charging station dapat dilihat pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Sistem jaringan yang menghubungkan pengisi daya kendaraan listrik

Apabila setiap kendaraan listrik memiliki kapasitas daya 20 kWh, maka:

Jumlah kendaraan yang dapat diisi per hari adalah: $\frac{4.859,1}{71,4} = 68,05 \text{ buah} \cong 68 \text{ buah kendaraan}$

4. Kesimpulan

Perancangan sistem Solar Cell charging station dapat meningkatkan sumber energi baru terbarukan yang dapat memberikan energi pada kendaraan listrik. Dengan luas permukaan solar cell 9.998,3 m² dengan 3.914 panel dengan pemasangan horizontal, dapat menghasilkan daya rata-rata 4.859,1 kWh listrik per hari. Daya ini dapat dimanfaatkan untuk pengisian kendaraan listrik sebanyak 68 buah.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis berterima kasih kepada Rektor Universitas Pembangunan Panca Budi dan LPPS Universitas Pembangunan Panca Budi serta dosen pembimbing dan penguji serta Jurnal Serambi Engineering yang telah memberikan kesempatan untuk publikasi artikel ini.

6. Singkatan

DC	Direct current/Arus searah
AC	Alternating Current/ arus bolak balik
%	Percentage/persentase
kWH	Satuan daya listrik (kilo watt hour)
EV	Electric Vehicle
PV	Photovoltaic (solar cell)
WP	Watt Peak (daya maksimal yang dapat diproduksi solar cell)
PVMPPT	Photovoltaic Maximum Power Point Tracking/ adalah sebuah sistem elektronik yang harus ada pada sebuah sistem PV agar sistem dapat menghasilkan daya maksimal
PWM	Pulse Width Modulation

7. Referensi

- [1] B. S. Rajpurohit, A. K. Srivastava, and S. N. B. T.-R. M. in E. S. and E. S. Singh, "Economic Assessment of Wind Energy Compared to Fossil Fuels," Elsevier, 2024. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-93940-9.00189-4>.
- [2] K. Abbood and F. Mészáros, "Carbon and energy footprint analysis of Hungarian transportation activities using a multi-region input-output model," *Curr. Res. Environ. Sustain.*, vol. 5, p. 100208,

- 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.crsust.2023.100208>.
- [3] V. C. Panagiotopoulou, A. Paraskevopoulou, and P. B. T.-R. M. in E. S. and E. S. Stavropoulos, “Urban and Industrial Energy Usage and Consumption,” Elsevier, 2023. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-93940-9.00092-X>.
- [4] K. M. Tan, J. Y. Yong, V. K. Ramachandaramurthy, M. Mansor, J. Teh, and J. M. Guerrero, “Factors influencing global transportation electrification: Comparative analysis of electric and internal combustion engine vehicles,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 184, p. 113582, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113582>.
- [5] F. Farzaneh and S. Jung, “Lifecycle carbon footprint comparison between internal combustion engine versus electric transit vehicle: A case study in the U.S.,” *J. Clean. Prod.*, vol. 390, p. 136111, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136111>.
- [6] A. Aggarwal and V. K. Chawla, “A sustainable process for conversion of petrol engine vehicle to battery electric vehicle: A case study,” *Mater. Today Proc.*, vol. 38, pp. 432–437, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.617>.
- [7] N. Tiwari et al., “Converting gasoline vehicle into an electric vehicle (EV)-A review,” *Mater. Today Proc.*, vol. 79, pp. 379–388, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.12.161>.
- [8] Y. Balali and S. Stegen, “Review of energy storage systems for vehicles based on technology, environmental impacts, and costs,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 135, p. 110185, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110185>.
- [9] C. McGarry et al., “Electrified heat and transport: Energy demand futures, their impacts on power networks and what it means for system flexibility,” *Appl. Energy*, vol. 360, p. 122836, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.122836>.
- [10] Y. Guo, J. A. Kelly, and J. P. Clinch, “Road transport electrification – Is timing everything? Implications of emissions analysis’ outcomes for climate and air policy,” *Transp. Res. Interdiscip. Perspect.*, vol. 12, p. 100478, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.trip.2021.100478>.
- [11] X. Hou, T. Lv, J. Xu, X. Deng, F. Liu, and J. S. L. Lam, “Electrification transition and carbon emission reduction of urban passenger transportation systems—A case study of Shenzhen, China,” *Sustain. Cities Soc.*, vol. 93, p. 104511, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104511>.
- [12] J. Lu, R. Shan, N. Kittner, W. Hu, and N. Zhang, “Emission reductions from heavy-duty freight electrification aided by smart fleet management,” *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 121, p. 103846, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103846>.
- [13] I. Veza, M. Z. Asy’ari, M. Idris, V. Epin, I. M. Rizwanul Fattah, and M. Spraggon, “Electric vehicle (EV) and driving towards sustainability: Comparison between EV, HEV, PHEV, and ICE vehicles to achieve net zero emissions by 2050 from EV,” *Alexandria Eng. J.*, vol. 82, pp. 459–467, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.10.020>.
- [14] T. Zhang, P. J. Burke, and Q. Wang, “Effectiveness of electric vehicle subsidies in China: A three-dimensional panel study,” *Resour. Energy Econ.*, vol. 76, p. 101424, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2023.101424>.
- [15] T. Galimova, M. Ram, and C. Breyer, “Mitigation of air pollution and corresponding impacts during a global energy transition towards 100% renewable energy system by 2050,” *Energy Reports*, vol. 8, pp. 14124–14143, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.10.343>.
- [16] Y. Yang et al., “An overview of application-oriented multifunctional large-scale stationary battery and hydrogen hybrid energy storage system,” *Energy Rev.*, p. 100068, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enrev.2024.100068>.
- [17] Z. He, X. Wang, and A. Mashhadi, “Battery storage optimization in wind energy microgrids based on contracted fitness-dependent optimization algorithm,” *Energy Reports*, vol. 11, pp. 2189–2203, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2024.01.054>.
- [18] D. G. Badan Meteorologi, Klimatologi, “<https://www.bmkg.go.id/>,” 2023. <https://www.bmkg.go.id/?lang=EN>