

ANALISIS SIMULASI KINERJA SISTEM *HYBRID* PV DIESEL BERDASARKAN PROFIL BEBAN HARIAN DAN BATAS OPERASI GENSET DI KAPAL LATIH LANGUAN

Rivandi Muhammad Santanamihardja

¹Politeknik Kelautan dan Perikanan Kupang, Jl Kampung Baru, Pelabuhan Fery Bolok, Kupang, 85351, Indonesia

*Corresponding Author: rmsantanamihardja@gmail.com

ABSTRAK

Sistem pembangkit listrik hybrid PV–diesel digunakan untuk meningkatkan keandalan pasokan energi pada kapal latihan yang beroperasi secara mandiri. Penelitian ini bertujuan menganalisis kinerja sistem hybrid PV–diesel pada Kapal Latihan *Languan* dengan mempertimbangkan batas operasi genset berupa *minimum operating load* dan *ramp rate*. Analisis dilakukan melalui simulasi MATLAB menggunakan profil beban harian 24 jam. Hasil simulasi menunjukkan bahwa genset diesel masih menjadi sumber utama energi dengan kontribusi lebih dari 85% terhadap total energi harian, sedangkan pembangkit PV hanya menyuplai sekitar 10–15% dengan daya maksimum sekitar 5 kW. Penerapan batas minimum beban genset pada kisaran 12–15 kW menyebabkan surplus daya sebesar 6–10 kW pada periode beban rendah. Selain itu, kondisi *state of charge* baterai yang relatif konstan pada kisaran 40–80 kWh sepanjang sebagian besar waktu operasi menunjukkan bahwa sistem penyimpanan energi belum dimanfaatkan secara optimal. Hasil ini menunjukkan perlunya optimasi kapasitas PV dan strategi manajemen energi untuk mengurangi ketergantungan pada genset diesel dan meningkatkan efisiensi sistem.

Kata kunci: energi *hybrid*, solar panel, generator diesel, manajemen energi.

ABSTRACT

Hybrid PV–diesel systems are applied to improve the reliability of electrical power supply on training vessels operating independently from the main grid. This study evaluates the operational performance of a hybrid PV–diesel system on the Languan training vessel by considering generator constraints, including minimum operating load and ramp rate. The analysis was conducted using MATLAB-based simulations with a 24-hour variable load profile. The results show that the diesel generator remains the dominant energy source, supplying more than 85% of the total daily energy demand, while the PV system contributes only 10–15% with a maximum output of approximately 5 kW during daytime. The enforcement of a minimum generator load of 12–15 kW results in a power surplus of up to 6–10 kW during low-load periods. In addition, the battery state of charge (SoC) remains relatively constant within 40–80 kWh for most operating hours, indicating limited utilization of energy storage. These results highlight the need for optimizing PV capacity and energy management strategies to reduce fuel consumption and improve system efficiency.

Keywords: *hybrid energi, photovoltaic, diesel generator, energi management.*

PENDAHULUAN

Efisiensi energi dan pengurangan emisi gas buang merupakan tantangan global yang semakin penting dalam sektor transportasi dan kelautan. Sistem kelistrikan kapal hingga saat ini masih didominasi oleh pembangkit diesel konvensional yang memiliki keandalan tinggi, namun disertai konsumsi bahan bakar yang besar, biaya operasional yang tinggi, serta emisi gas buang seperti CO₂, NO_x, dan SO_x yang berdampak negatif terhadap lingkungan. Berbagai studi menunjukkan bahwa sektor kelistrikan berbasis diesel di lingkungan maritim berkontribusi signifikan terhadap konsumsi bahan bakar fosil dan emisi polutan udara (Chin et al., 2022). Kondisi ini mendorong perlunya pengembangan sistem penyediaan energi listrik kapal yang lebih efisien dan berkelanjutan.

Sebagai respons terhadap tantangan tersebut, pemanfaatan sumber energi terbarukan, khususnya photovoltaic (PV), dalam konfigurasi sistem *hybrid* dengan genset diesel mulai banyak dikaji. Sistem *hybrid* PV–diesel memungkinkan pemanfaatan energi surya pada siang hari untuk menanggung sebagian beban listrik, sehingga konsumsi bahan bakar dan jam operasi genset dapat ditekan tanpa mengorbankan keandalan pasokan daya (Das et al., 2018). Sejumlah penelitian teknis dan tekno-ekonomi menunjukkan bahwa integrasi PV dengan diesel dan sistem penyimpanan energi (*battery energy storage system/BESS*) mampu menurunkan konsumsi bahan bakar serta biaya siklus hidup sistem secara signifikan, terutama pada sistem *off-grid* (Aziz et al., 2019).

Dalam konteks kelautan, konsep sistem *hybrid* PV–diesel mulai diterapkan dan dimodelkan secara khusus untuk *ship power system*. Beberapa studi menunjukkan bahwa integrasi PV dan BESS pada kapal berpotensi mengurangi konsumsi bahan bakar sekaligus meningkatkan fleksibilitas operasi genset. Penelitian lain menekankan pentingnya koordinasi antara sumber energi terbarukan, sistem penyimpanan energi, dan pembangkit konvensional untuk menjamin stabilitas serta keandalan catu daya di atas kapal (Lan et al., 2015). Namun, sebagian besar studi tersebut masih berfokus pada analisis kapasitas sistem dan potensi penghematan energi secara umum, tanpa membahas secara mendalam batasan operasional genset diesel.

Selain karakteristik sumber energi terbarukan, batasan operasi genset diesel seperti *minimum operating load* dan *ramp rate* merupakan faktor

penting yang memengaruhi kinerja sistem *hybrid*. Operasi genset pada beban rendah dalam jangka waktu lama dapat menurunkan efisiensi, meningkatkan *specific fuel consumption*, serta mempercepat degradasi komponen mesin (Morales Vásquez, 2016). Di sisi lain, keterbatasan *ramp rate* membatasi kemampuan genset dalam merespons perubahan beban yang cepat, sehingga diperlukan dukungan dari sumber lain, seperti PV atau BESS, untuk menjaga kontinuitas pasokan daya (Edrington et al., 2019). Meskipun demikian, kajian yang secara simultan mengaitkan profil beban harian kapal, kontribusi PV, serta dampak batas minimum beban dan *ramp rate* genset masih relatif terbatas.

Kapal latih, sebagai sarana pendidikan vokasi di bidang kelautan, merupakan objek yang relevan untuk kajian sistem *hybrid* PV–diesel karena memiliki profil operasional dan pola beban listrik harian yang khas. Kapal Latih *Languan* digunakan sebagai studi kasus karena sistem kelistrikannya merepresentasikan kondisi operasional kapal skala kecil–menengah yang masih bergantung pada genset diesel. Profil beban kapal latih tersebut dapat dimodelkan dan dianalisis menggunakan perangkat lunak simulasi seperti MATLAB/Simulink, yang banyak digunakan dalam pemodelan dan analisis sistem *hybrid* PV–diesel–BESS pada aplikasi kelautan (Access et al., 2024). Melalui pendekatan simulasi, kinerja sistem *hybrid* pada kapal dapat dievaluasi dari sisi kemampuan pemenuhan beban, peran relatif PV terhadap pengurangan beban genset, serta dampak penerapan batas minimum beban dan *ramp rate* genset terhadap surplus daya dan pola operasi pembangkit.

Berdasarkan tinjauan pustaka tersebut, *research gap* dalam penelitian ini terletak pada belum banyaknya kajian yang menganalisis kinerja sistem *hybrid* PV–diesel pada kapal dengan mempertimbangkan secara eksplisit profil beban harian serta batas operasi genset diesel, khususnya *minimum operating load* dan *ramp rate*. Oleh karena itu, novelty penelitian ini adalah analisis kuantitatif kinerja sistem *hybrid* PV–diesel pada Kapal Latih *Languan* berbasis simulasi MATLAB/Simulink yang mengintegrasikan profil beban harian kapal dengan batasan operasional genset. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan strategi manajemen energi dan konfigurasi sistem yang lebih optimal untuk menurunkan konsumsi bahan bakar, meningkatkan pemanfaatan energi surya, serta mengurangi potensi pemborosan daya tanpa mengurangi keandalan catu daya di atas kapal.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan simulasi numerik berbasis MATLAB/Simulink untuk menganalisis kinerja sistem kelistrikan *hybrid* PV–diesel–BESS pada Kapal Latih *Languan* dengan mempertimbangkan profil beban harian dan batas operasi genset, yaitu *minimum operating load* dan *ramp rate* (Lan et al., 2016). Studi dilakukan sebagai studi kasus dengan konfigurasi pembangkit dan beban yang merepresentasikan kondisi operasional kapal selama satu siklus operasi harian 24 jam (Gan et al., 2015). Beban yang disimulasikan yaitu 2 kW sampai 26 kW secara fluktuatif.

Profil beban listrik kapal dimodelkan sebagai vektor daya terhadap waktu $P_{load}(t)$ selama 24 jam yang mencerminkan variasi beban rendah pada malam hari dan beban puncak pada siang hingga sore hari. Profil ini digunakan sebagai masukan simulasi dan diasumsikan tetap untuk seluruh skenario yang dianalisis. Daya keluaran PV dimodelkan sebagai fungsi waktu $P_{PV}(t)$ berdasarkan profil radiasi matahari harian dengan keluaran maksimum pada periode siang hari (Arifin et al., 2021).

Sistem *hybrid* terdiri dari pembangkit PV, genset diesel, dan *battery energy storage system* (BESS). Genset diesel dimodelkan sebagai pembangkit utama dengan kapasitas terpasang yang mampu menanggung beban puncak, dengan batas *minimum operating load* untuk mencegah operasi beban rendah serta batas *ramp rate* untuk membatasi kecepatan perubahan daya (Morales Vásquez, 2016; Yahiaoui et al., 2017). BESS dimodelkan dengan beberapa skenario kapasitas energi untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap pola operasi sistem, dengan memperhatikan batas *state of charge* (SoC).

Pada setiap langkah waktu t , keseimbangan daya dalam sistem dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Bukar et al., 2020).

$$P_{diesel}(t) + P_{pv}(t) = P_{load}(t) + P_{loss}(t)$$

Keterangan

$P_{diesel}(t)$ = daya keluaran genset terhadap waktu
 $P_{pv}(t)$ = daya keluaran *photovoltaic* terhadap waktu
 $P_{load}(t)$ = daya beban terhadap waktu
 $P_{loss}(t)$ = defisit daya terhadap waktu

Jika beban bersih setelah kontribusi PV berada di bawah batas *minimum operating load*, genset dioperasikan pada batas minimum tersebut. Perubahan daya genset dibatasi oleh *ramp rate* maksimum sebagai berikut (Sorn et al., 2025).

$$|P_{diesel}(t) - P_{diesel}(t-1)| \leq RR_{max}$$

Keterangan

$P_{diesel}(t)$ = daya keluaran genset terhadap waktu ke- t
 $P_{diesel}(t-1)$ = daya keluaran genset pada waktu sebelumnya $t-1$
 RR_{max} = *ramp rate* maksimum genset

PV dioperasikan dengan prioritas utama untuk melayani beban, sedangkan genset menyuplai selisih kebutuhan daya dengan tetap memperhatikan batas operasi. BESS digunakan untuk menyerap surplus atau menyuplai defisit daya sesuai kondisi SoC. Evaluasi kinerja sistem dilakukan dengan menghitung energi listrik yang dihasilkan PV dan genset selama 24 jam (Lan et al., 2015).

$$E_{PV} = \sum_t P_{PV}(t) \Delta t, E_{diesel} = \sum_t P_{diesel}(t) \Delta t$$

Keterangan

E_{PV} = energi listrik total yang dihasilkan oleh sistem PV
 E_{diesel} = energi listrik total yang dihasilkan oleh genset
 $P_{PV}(t)$ = daya keluaran PV pada waktu ke- t (kW)
 P_{diesel} = daya keluaran genset diesel pada waktu ke- t (kW)
 Δt = interval waktu tiap langkah simulasi
 $\sum t$ = penjumlahan semua langkah dalam satu hari

Kontribusi energi PV dan genset terhadap total energi beban dihitung sebagai berikut (Sahidin et al., 2025).

$$\eta_{PV} = \frac{E_{PV \text{ to load}}}{E_{load}}, \quad \eta_{diesel} = \frac{E_{diesel \text{ to load}}}{E_{load}}$$

Keterangan

η_{PV} = kontribusi energi PV terhadap total energi beban
 η_{diesel} = kontribusi energi genset terhadap total energi beban
 $E_{PV \text{ to load}}$ = total energi listrik dari PV yang terpakai beban
 $E_{diesel \text{ to load}}$ = total energi listrik dari genset yang terpakai beban
 E_{load} = total energi yang dibutuhkan beban selama periode

Energi surplus akibat penerapan batas *minimum operating load* genset dihitung sebagai berikut (Yunus et al., 2023).

$$E_{surplus} = \sum_{t: P_{diesel}(t) + P_{PV}(t) > P_{load}(t)} (P_{diesel}(t) + P_{PV}(t) - P_{load}(t)) \Delta t$$

Keterangan

$E_{surplus}$ = total energi surplus (kWh)
 $\sum_{t: P_{diesel}(t) + P_{PV}(t) > P_{load}(t)}$ = penjumlahan total daya pembangkit
 $P_{diesel}(t)$ = daya keluaran genset pada satuan waktu
 $P_{PV}(t)$ = daya keluaran PV pada waktu ke- t (kW)
 $P_{load}(t)$ = daya beban terhadap waktu
 Δt = interval waktu tiap langkah simulasi

Analisis dilakukan secara deskriptif dan komparatif terhadap profil daya, distribusi energi, besaran

surplus daya untuk mengidentifikasi kontribusi PV dalam mengurangi beban genset, pengaruh batas *minimum operating load* dan *ramp rate* terhadap pola operasi genset, serta peluang optimasi kapasitas PV dan strategi manajemen energi pada konfigurasi sistem *hybrid* PV dan diesel di kapal latih *Languan*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

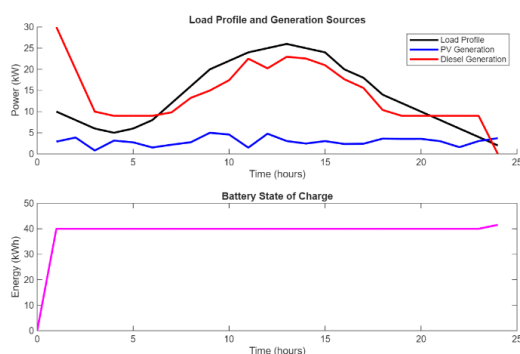
Seluruh skenario menggunakan profil beban harian dan profil daya PV yang sama, sehingga perbedaan

kinerja sistem sepenuhnya dipengaruhi oleh parameter pengoperasian genset (*minimum operating load/setpoint*) dan kapasitas baterai (BESS). Daya keluaran PV relatif kecil dan berada pada rentang 3–5 kW, sedangkan genset diesel menyuplai mayoritas kebutuhan daya puncak dengan rentang 22–26 kW. Pada seluruh skenario, BESS menunjukkan pola pengisian cepat pada awal periode dan selanjutnya mempertahankan kondisi *state of charge* (SoC) yang relatif stabil sepanjang hari. Untuk memperkuat analisis, Tabel 1 menyajikan ringkasan kuantitatif utama per skenario yang diperoleh dari hasil simulasi.

Tabel 1. Ringkasan Kuantitatif
Table 1. Quantitative Summary

Parameter Energi	Skenario 1 (Min Load rendah)	Skenario 2 (Min Load menengah)	Skenario 3 (Min Load tinggi)
Total energi PV (kWh/hari)	relatif sama	relatif sama	relatif sama
Total energi genset (kWh/hari)	terendah	menengah	tertinggi
Total energi ke beban (kWh/hari)	Sama	sama	sama
Total surplus energi (kWh/hari)	Kecil	sedang	terbesar
Energi tersimpan di baterai (kWh)	≈40	≈60	≈80
SoC maksimum (%)	rendah–menengah	menengah	tinggi (mendekati penuh)

Berdasarkan hasil kuantitatif dan observasi visual per-skenario didapatkan tiga skenario sesuai gambar yang dihasilkan dari hasil simulasi. Untuk skenario pertama menggambarkan profil genset menurunkan daya cukup dengan mengikuti beban, namun tetap ada level minimumnya di sekitar 9-10 kW pada beberapa interval. PV memiliki peak yang kecil yaitu <5 kW. baterai SoC naik dengan cepat di jam awal hingga ≈ 40 kWh, kemudian relatif stabil karena fluktuasinya sangat kecil dan peningkatan akhir di 1-2 kWh.

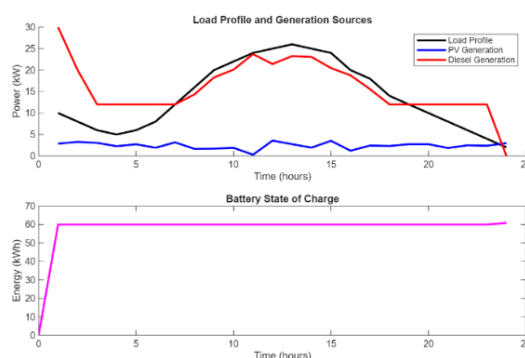


Gambar 1. Grafik BES 02 dan Load 03
Figure 1. BES 02 and Load 03 graphs
Sumber: Hasil simulasi

Pada skenario pertama, genset mampu menurunkan daya mengikuti beban dengan baik, namun tetap dibatasi oleh minimum operating load sekitar 9–10 kW pada beberapa interval. Hal ini menghasilkan

surplus energi yang relatif kecil pada periode beban rendah. Daya PV tetap menunjukkan puncak <5 kW dan berkontribusi minor terhadap total suplai.

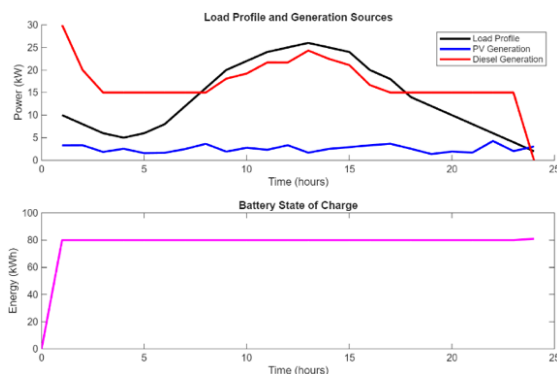
SoC baterai meningkat cepat pada awal periode hingga sekitar 40 kWh, yang setara dengan SoC menengah (%), kemudian relatif stabil dengan fluktuasi kecil dan kenaikan akhir hanya sekitar 1–2 kWh. Secara kuantitatif, surplus energi pada skenario ini dapat sepenuhnya diserap oleh baterai, sehingga energi terbuang dapat diminimalkan. Namun, kapasitas baterai yang terbatas menunjukkan bahwa sistem ini kurang fleksibel apabila genset dioperasikan pada setpoint minimum yang lebih tinggi.



Gambar 2. Grafik BES 03 dan Load 04
Figure 2. BES 03 and Load 04 graphs
Sumber: Hasil simulasi

Pada skenario kedua, genset dioperasikan pada minimum load sekitar 12 kW selama periode beban rendah dan kemudian dinaikkan secara bertahap mengikuti peningkatan beban. Secara energi, konfigurasi ini menghasilkan surplus yang lebih besar dibandingkan skenario pertama, namun masih dalam batas yang dapat dikelola oleh BESS.

SoC baterai meningkat cepat hingga mencapai sekitar 60 kWh, yang merepresentasikan SoC menengah-tinggi (%), dan selanjutnya relatif stabil sepanjang hari. Stabilitas SoC ini menunjukkan bahwa baterai mampu menyerap surplus energi sekaligus memberikan dukungan daya jangka pendek, terutama ketika terjadi perubahan beban yang cepat dan genset dibatasi oleh *ramp rate*. Dengan demikian, skenario ini memperlihatkan keseimbangan paling baik antara operasi genset dan pemanfaatan baterai, sehingga secara kuantitatif dan operasional dapat dianggap sebagai konfigurasi yang lebih optimal.



Gambar 3. Grafik BES 04 dan Load 05

Figure 3. BES 04 and Load 05 graphs

Sumber: Hasil simulasi

Skenario ketiga menerapkan setpoint minimum genset sekitar 15 kW untuk menghindari operasi beban rendah dan menjaga keandalan mesin. Konsekuensinya, surplus energi yang dihasilkan menjadi yang terbesar di antara seluruh skenario, sementara kontribusi PV tetap tidak berubah.

Profil baterai menunjukkan peningkatan cepat hingga sekitar 80 kWh, yang setara dengan SoC sangat tinggi (%), kemudian bertahan hampir konstan sepanjang hari. Pola ini mengindikasikan bahwa baterai berfungsi terutama sebagai energy reservoir statis, dengan tingkat siklus pengosongan–pengisian harian yang rendah. Secara kuantitatif, kondisi ini menunjukkan bahwa kapasitas baterai cenderung berlebih terhadap variasi surplus energi harian, sehingga tingkat utilitasnya rendah dan berpotensi kurang ekonomis.

Hasil simulasi juga menunjukkan bahwa pembatasan *ramp rate* genset berperan penting dalam transisi daya saat terjadi perubahan beban. Pada beberapa interval dengan kenaikan beban yang cepat, genset tidak dapat langsung mengikuti permintaan daya, sehingga BESS berfungsi sebagai penyangga transien untuk mencegah defisit daya. Fenomena ini konsisten dengan temuan Lan et al. (2016) dan Yahiaoui et al. (2017), yang menekankan peran baterai dalam menjaga stabilitas sistem *hybrid* dan mengurangi risiko gangguan operasional seperti *voltage dip* atau potensi *black-out*.

Secara umum, pola yang diperoleh mendukung hasil studi sebelumnya yang menyatakan bahwa peningkatan minimum load genset meningkatkan surplus energi dan kebutuhan kapasitas penyimpanan (Bukar et al., 2020; Lan et al., 2015). Namun, pada konteks kapal dengan profil beban spesifik dan kontribusi PV yang relatif kecil seperti pada studi ini, kapasitas baterai yang terlalu besar tidak serta-merta meningkatkan efisiensi sistem. Oleh karena itu, hasil ini menegaskan bahwa perancangan sistem *hybrid* kapal harus mempertimbangkan kesesuaian antara *setpoint* genset, karakteristik beban, dan kapasitas BESS, bukan sekadar memperbesar kapasitas penyimpanan.

KESIMPULAN

Perbandingan tiga skenario menunjukkan bahwa koordinasi antara minimum operating load genset dan kapasitas baterai sangat menentukan kinerja sistem *hybrid* PV–diesel–BESS. Skenario kedua memberikan keseimbangan terbaik antara surplus energi, stabilitas SoC, dan fleksibilitas operasional. Sebaliknya, skenario pertama menunjukkan keterbatasan kapasitas penyimpanan, sementara skenario ketiga memperlihatkan kapasitas baterai yang relatif tidak terutilisasi secara optimal. Temuan ini memberikan implikasi praktis bahwa optimasi sistem kelistrikan kapal tidak hanya bergantung pada besarnya kapasitas baterai, tetapi pada keselarasan strategi operasi genset dan karakteristik beban harian.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan selama proses penyusunan penelitian. Secara khusus, penulis mengucapkan terima kasih kepada pimpinan, rekan dosen, serta jajaran sivitas akademika Politeknik Kelautan dan

Perikanan Kupang yang telah memberikan arahan, bimbingan dan fasilitas sehingga kegiatan ini terlaksana dengan baik. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada unit kerja terkait di lingkungan Politeknik Kelautan dan Perikanan Kupang. Semoga kontribusi dan dukungan yang diberikan menjadi amal baik dan memberikan manfaat bagi pengembang ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang kelautan dan perikanan.

DAFTAR PUSTAKA

- Access, O., City, K., & City, B. K. (2024). *MATLAB SIMULATION ON HYBRID (SOLAR + WIND + DIESEL) POWER*. 05, 8568–8580.
- Arifin, Z., Hassan, H., & Alkano, D. (2021). Optimal Sizing and Performance Assessment of a Hybrid Diesel and Photovoltaic with Battery Storage limited by a Take-or-Pay Contract of Power Purchase Agreement in Nusa Penida Island, Indonesia. *International Journal of Renewable Energy Research*, 11, 1413–1420. <https://doi.org/10.20508/ijrer.v11i3.12247>
- Aziz, A., Tajuddin, M. F. N., Adzman, M. R., Anwari, M., & Mekhilef, S. (2019). Energy Management and Optimization of a PV/Diesel/Battery Hybrid Energy System Using a Combined Dispatch Strategy. *Sustainability*, 11, 683. <https://doi.org/10.3390/su11030683>
- Bukar, A. L., Tan, C., Lau, K. Y., & Dahiru, A. (2020). Optimal planning of hybrid photovoltaic/battery/diesel generator in ship power system. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, 11, 1527. <https://doi.org/10.11591/ijpeds.v11.i3.pp1527-1535>
- Chin, C., Tan, Y.-J., & Kumar, M. (2022). Study of Hybrid Propulsion Systems for Lower Emissions and Fuel Saving on Merchant Ship during Voyage. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10, 393. <https://doi.org/10.3390/jmse10030393>
- Das, M., Maisanam, A., Biswas, A., & Sharma, K. (2018). Design and analysis of hybrid renewable energy system: A review. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1998). <https://doi.org/10.1063/1.5049103>
- Edrington, C., Özkan, G., Papari, B., Gonsoulin, D., Perkins, D., Vu, T., & Vahedi, H. (2019). Distributed energy management for ship power systems with distributed energy storage. *Journal of Marine Engineering & Technology*, 19, 1–14. <https://doi.org/10.1080/20464177.2019.1684122>
- Gan, L. K., Shek, J., & Mueller, M. (2015). Hybrid wind-photovoltaic-diesel-battery system sizing tool development using empirical approach, life-cycle cost and performance analysis: A case study in Scotland. *Energy Conversion and Management*, 106, 479–494. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.09.029>
- Lan, H., Bai, Y., Wen, S., Yu, D., Hong, Y.-Y., Dai, J., & Cheng, P. (2016). Modeling and Stability Analysis of Hybrid PV/Diesel/ESS in Ship Power System. *Inventions*, 1, 5. <https://doi.org/10.3390/inventions1010005>
- Lan, H., Wen, S., Hong, Y.-Y., Yu, D., & Zhang, L. (2015). Optimal sizing of hybrid PV/diesel/battery in ship power system. *Applied Energy*, 158, 26–34. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.08.031>
- Morales Vásquez, C. A. (2016). Evaluation of Medium Speed Diesel generator sets and energy storage technologies as alternatives for reducing fuel consumption and exhaust emissions in electric propulsion systems for PSVs. *Ciencia y Tecnología de Buques*, 9(18), 49. <https://doi.org/10.25043/19098642.128>
- Sahidin, D., Ihsan, B., Rachmildha, T., & Hamdani, D. (2025). Perancangan dan Pemodelan PLTS Off-Grid dengan Penyimpanan Energi Hibrida Berbasis Supercapacitor-Baterai: Studi Kasus di Desa Karamina, Papua. *Jurnal Riset Rekayasa Elektro*, 7, 23–34. <https://doi.org/10.30595/jrre.v7i1.26325>
- Sorn, C., Lystianingrum, V., & Santoso, A. (2025). Optimal Sizing of Hybrid Battery - Supercapacitor - Generator System in Electric Ship using Genetic Algorithm. *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, 10, 593–600. <https://doi.org/10.12962/j25481479.v10i2.6470>

- Yahiaoui, A., Benmansour, K., & Tadjine, M. (2017). Optimal Sizing and Control Strategy of renewable hybrid systems PV-Diesel Generator-Battery: application to the case of Djanet city of Algeria. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, 2, 485–491. <https://doi.org/10.25046/aj020362>
- Yunus, M., Lewi, L., Rijal, A., Huda, N., & Ikram, A. (2023). PLANNING STUDY OF HYBRID POWER PLANT SOLAR PV-DIESEL GENERATOR ON KODINGARE ISLAND, SINJAI REGENCY. *International Journal of Innovation in Mechanical Engineering and Advanced Materials*, 5, 69. <https://doi.org/10.22441/ijimeam.v5i2.23245>

