

Analisis Perbandingan Kinerja Baterai *Lithium-Ion* dan *Lead Acid* pada Kapal Ikan berbasis Tenaga Surya

Amalia Ananda Reskyana^{1,*}, Surya Hariyanto¹, Andi Erwin Eka Putra², Haryanti Rivai¹, Ashury³, Andi Husni Sitepu¹

¹Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Jalan Poros Malino km. 6 Bontomarannu, Gowa, Indonesia

²Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Jalan Poros Malino km. 6 Bontomarannu, Gowa, Indonesia

³Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Jalan Poros Malino km. 6 Bontomarannu, Gowa, Indonesia

*Email: reskyanaaa21d@student.unhas.ac.id

Abstrak

Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) pada kapal ikan menjadi salah satu solusi untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Namun, sifat energi surya yang intermiten menyebabkan sistem PLTS memerlukan media penyimpanan energi yang memiliki kinerja dan keandalan tinggi. Penelitian ini bertujuan membandingkan kinerja baterai *lithium-ion* dan *lead-acid* sebagai sistem penyimpanan energi pada kapal ikan berbasis tenaga surya berdasarkan aspek teknis dan ekonomis. Penelitian dilakukan melalui simulasi menggunakan perangkat lunak *System Advisor Model* (SAM) dengan memanfaatkan data radiasi matahari dari Stasiun Meteorologi Maritim Paotere, Makassar. Parameter yang dianalisis meliputi efisiensi baterai, kapasitas energi, umur pakai, serta biaya siklus hidup selama periode operasi 25 tahun. Hasil simulasi menunjukkan bahwa baterai *lithium-ion* memiliki efisiensi sebesar 92,11%, sedikit lebih tinggi dibandingkan baterai *lead-acid* sebesar 92,02%. Selain itu, baterai *lithium-ion* hanya memerlukan satu kali penggantian dengan total biaya USD 448 selama 25 tahun, sedangkan baterai *lead-acid* memerlukan tiga kali penggantian dengan total biaya USD 980. Hasil penelitian menunjukkan bahwa baterai *lithium-ion* memberikan kinerja teknis yang lebih baik serta lebih ekonomis dalam jangka panjang, sehingga lebih layak diterapkan sebagai sistem penyimpanan energi pada kapal ikan berbasis tenaga surya.

Abstract

Comparative Analysis of Lithium-Ion and Lead Acid Battery Performance on Solar-Powered Fishing Vessels. The application of Solar Photovoltaic (PV) systems on fishing vessels has emerged as a promising solution to reduce dependence on fossil fuels and support environmentally sustainable maritime operations. However, the intermittent nature of solar energy requires a reliable energy storage system to ensure a continuous power supply. This study aims to compare the performance of lithium-ion and lead-acid batteries as energy storage systems for solar-powered fishing vessels based on technical and economic aspects. The study was conducted through simulations using the System Advisor Model (SAM) with solar radiation data obtained from the Paotere Maritime Meteorological Station, Makassar. The evaluated parameters included battery efficiency, energy capacity, service life, and life-cycle cost over a 25-year operational period. The simulation results indicate that lithium-ion batteries achieved a slightly higher efficiency of 92.11% compared to 92.02% for lead-acid batteries. Furthermore, lithium-ion batteries required only one replacement with a total replacement cost of USD 448 over 25 years, whereas lead-acid batteries required three replacements with a total cost of USD 980. These findings demonstrate that lithium-ion batteries provide superior technical performance and better long-term economic benefits, making them a more suitable energy storage solution for solar-powered fishing vessels.

Kata Kunci: Baterai *lead-acid*; baterai *lithium-ion*; kapal ikan; kinerja baterai; Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS); *System Advisor Model* (SAM).

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi listrik di sektor perikanan, khususnya pada kapal ikan, semakin meningkat seiring kemajuan teknologi dan tuntutan operasional yang efisien serta ramah lingkungan. Selama ini,

sebagian besar kapal perikanan masih bergantung pada bahan bakar fosil sebagai sumber energi utama. Ketergantungan tersebut menimbulkan permasalahan serius, seperti biaya operasional yang tinggi dan emisi gas buang yang berkontribusi terhadap pencemaran udara serta perubahan iklim [1].

Salah satu solusi yang kini banyak dikembangkan adalah pemanfaatan energi surya melalui sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Indonesia sebagai negara tropis memiliki potensi radiasi matahari yang melimpah sepanjang tahun [2]. Dengan memanfaatkan panel surya sebagai pengubah energi radiasi matahari menjadi energi listrik, kapal dapat beroperasi secara lebih efisien serta mengurangi penggunaan bahan bakar minyak. Namun demikian, energi surya bersifat intermiten, artinya produksi listrik hanya optimal pada siang hari dan akan menurun ketika cuaca mendung atau malam hari [3].

Untuk mengatasi permasalahan ini, dibutuhkan sistem penyimpanan energi listrik yang andal. Baterai menjadi komponen utama dalam sistem PLTS karena berfungsi menyimpan energi yang dihasilkan oleh panel surya untuk kemudian digunakan pada saat intensitas cahaya rendah [4]. Dua jenis baterai yang umum digunakan dalam aplikasi maritim adalah baterai *lead-acid* (timbal-asam) dan baterai *lithium-ion*. Baterai *lead-acid* telah lama digunakan karena harganya lebih ekonomis, namun memiliki kelemahan seperti berat yang besar, efisiensi rendah, dan umur pakai pendek [5]. Sebaliknya, baterai *lithium-ion* unggul dalam hal efisiensi, bobot yang ringan, umur siklus panjang, dan kapasitas energi tinggi [6].

Untuk mengevaluasi performa sistem penyimpanan energi pada PLTS secara akurat, diperlukan suatu perangkat analisis yang mampu mensimulasikan kinerja sistem berdasarkan kondisi operasi yang sebenarnya. Salah satu perangkat lunak yang banyak digunakan adalah *System Advisor Model* (SAM) yang dikembangkan oleh *National Renewable Energy Laboratory* (NREL), Amerika Serikat. SAM merupakan perangkat lunak simulasi yang mampu menganalisis performa teknis dan ekonomi berbagai sistem energi terbarukan, termasuk sistem fotovoltaik yang dipadukan dengan penyimpanan energi baterai. Melalui data radiasi matahari, karakteristik komponen, serta profil beban listrik, SAM dapat memprediksi produksi energi, efisiensi sistem, umur pakai baterai, hingga biaya siklus hidup (*Life Cycle Cost*). Oleh karena itu, penggunaan SAM menjadi pendekatan yang tepat untuk membandingkan kinerja baterai *lithium-ion* dan *lead-acid* pada sistem PLTS kapal ikan secara komprehensif [7].

Pemilihan tipe baterai yang tepat menjadi kunci keberhasilan penerapan sistem PLTS pada kapal perikanan. Sistem yang efisien tidak hanya meningkatkan keandalan operasional kapal, tetapi juga menekan biaya perawatan jangka panjang. Dengan demikian, analisis perbandingan kinerja antara baterai *lithium* dan *lead-acid* pada kapal ikan berbasis tenaga surya sangat penting untuk menentukan pilihan penyimpanan energi yang paling optimal dari segi teknis maupun ekonomis [7].

2. Metodologi Penelitian

Dalam penelitian ini, kapal yang digunakan sebagai objek penelitian yaitu Kapal Magfira 33 yang merupakan kapal perikanan yang beroperasi sebagai kapal untuk menangkap ikan. Untuk data utama dapat dilihat pada Tabel 1. Untuk menunjang penelitian ini, digunakan 8 unit panel surya berkapasitas 550 Wp, baterai 48 V 100 Ah. Selain itu juga, digunakan *solar charge controller* tipe MPPT dan inverter 48 VDC/220 VAC.

Tabel 1. Data utama kapal

Dimensi	Ukuran
Nama Kapal	Magfira 33
LOA	24,35 m
H	2,00 m
B	5,08 m
Main Engine	Mitsubishi 190 PS
Auxiliary Engine	Tiger 3000

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis dan membandingkan kinerja dua jenis baterai, yaitu baterai *lithium-ion* dan baterai *lead-acid*, pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang diterapkan pada kapal ikan. Proses penelitian dilakukan melalui pendekatan simulatif menggunakan perangkat lunak *System Advisor Model* (SAM) dari *National Renewable Energy Laboratory* (NREL).

Langkah-langkah tersebut diantaranya:

1. Mengumpulkan data radiasi matahari, temperatur lingkungan, dan profil beban listrik kapal selama 24 jam dari hasil observasi lapangan serta referensi meteorologis.
2. Merancang konfigurasi sistem PLTS dengan kapasitas panel 4,4 kWp, tegangan sistem 48 V, dan dua varian baterai (*lithium* & *lead-acid*). Input data mencakup: Parameter teknis modul PV (daya, efisiensi, suhu kerja), Karakteristik *inverter* (kapasitas dan efisiensi), Spesifikasi baterai (kapasitas dalam *Ampere Hour*, DoD, efisiensi, umur siklus).
3. Melakukan simulasi performa sistem menggunakan SAM dengan memasukkan data cuaca dari Paotere Station untuk mendapatkan output energi tahunan, efisiensi sistem, *battery dispatch*, serta *lifetime replacement cost*.
4. Melakukan perbandingan antara baterai *lithium-ion* dan *lead-acid* terhadap parameter: Efisiensi penyimpanan energi (%), Jumlah penggantian baterai selama 25 tahun, Biaya siklus hidup sistem (*Life Cycle Cost*), Kapasitas penyimpanan efektif (kWh).
5. Menilai hasil simulasi berdasarkan aspek teknis dan ekonomis untuk menentukan baterai yang paling efisien dan berkelanjutan bagi sistem PLTS kapal ikan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil simulasi sistem PLTS

Penelitian ini menggunakan perangkat lunak *System Advisor Model* (SAM) untuk menganalisis performa sistem PLTS yang terdiri dari 8 unit panel surya 550 Wp, baterai 48 V 100 Ah, *solar charge controller* tipe MPPT, dan inverter 48 VDC/220 VAC. Simulasi dilakukan dengan memanfaatkan data radiasi matahari harian dari Stasiun Meteorologi Maritim Paotere, Makassar, untuk memperoleh hasil keluaran energi tahunan serta performa masing-masing jenis baterai.

3.2. Perbandingan efisiensi baterai

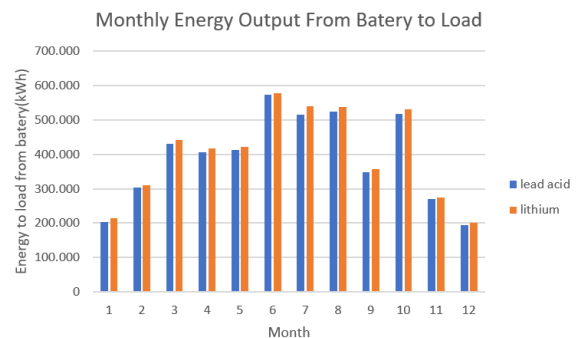
Berdasarkan hasil simulasi pada Gambar 1, baterai *lithium-ion* memiliki efisiensi rata-rata 92,11%, sedangkan *lead-acid* sebesar 92,02%. Meskipun selisihnya hanya 0,09%, namun stabilitas performa *lithium-ion* jauh lebih baik, terutama pada kondisi beban fluktuatif dan suhu tinggi. Hal ini dikarenakan *internal resistance* *lithium-ion* yang lebih kecil dan nilai *depth of discharge* (DoD) yang lebih besar (80%) dibandingkan *lead-acid* (50%). Dengan demikian, *lithium-ion* lebih cocok untuk sistem kelistrikan kapal yang memerlukan suplai daya kontinu.

Metric	Value	Metric	Value
Annual AC energy in Year 1	929 kWh	Annual AC energy in Year 1	926 kWh
DC capacity factor in Year 1	2.4%	DC capacity factor in Year 1	2.4%
Energy yield in Year 1	211 kWh/kW	Energy yield in Year 1	210 kWh/kW
Performance ratio in Year 1	0.12	Performance ratio in Year 1	0.12
Battery roundtrip efficiency	92.11%	Battery roundtrip efficiency	92.02%
Battery charge energy from system	100.0%	Battery charge energy from system	100.0%
LCOE Levelized cost of energy nominal	32.10 €/kWh	LCOE Levelized cost of energy nominal	35.13 €/kWh
LCOE Levelized cost of energy real	25.66 €/kWh	LCOE Levelized cost of energy real	28.08 €/kWh
Electricity bill without system (year 1)	\$503	Electricity bill without system (year 1)	\$503
Electricity bill with system (year 1)	\$446	Electricity bill with system (year 1)	\$444
Net savings with system (year 1)	\$57	Net savings with system (year 1)	\$59
Net present value	\$-2,279	Net present value	\$-2,531
Simple payback period	NaN	Simple payback period	NaN
Discounted payback period	NaN	Discounted payback period	NaN
Net capital cost	\$3,812	Net capital cost	\$3,965
Equity	\$1,525	Equity	\$1,586
Debt	\$2,287	Debt	\$2,379

Gambar 1. Hasil simulasi *lithium-ion* dan *lead-acid*

3.3. Output perbandingan bulanan

Gambar 2 membandingkan output energi bulanan dalam kWh untuk setiap baterai diatur ke 17 kWh masing-masing, tetapi karena voltase dan kapasitas Ah per sel yang berbeda, kapasitas kWh riilnya sedikit berbeda dimana kapasitas riil *Lead Acid* adalah 17.280 kWh dan untuk *Lithium-Ion* adalah 17.010 kWh. Dapat dilihat bahwa output energi yang dapat dimuat dari baterai *lithium-Ion* lebih sedikit lebih tinggi daripada asam timbal, dengan perbedaan total 118 kWh pertahun. Meskipun kapasitas sebelumnya dari baterai *Lithium-Ion* lebih kecil, persentase efisiensi energinya yang lebih tinggi dapat berkontribusi pada output energi yang sedikit lebih tinggi untuk memuat dibanding dengan *Lead Acid*.

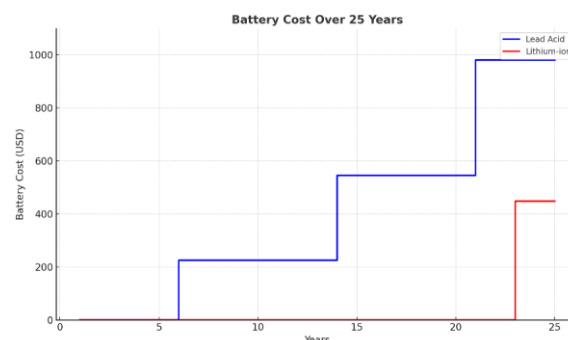


Gambar 2. Output perbandingan *lithium-ion* dan *lead acid*

3.4. Perbandingan daya tahan baterai

Perbedaan masa pakai baterai asam timbal dan *lithium ion*. Masa pakai penyimpanan baterai dalam simulasi ini didefinisikan sebagai waktu yang dibutuhkan penyimpanan baterai untuk mengalami penurunan kapasitas hingga kapasitas ambang batas penggantian baterai yang dalam simulasi ini, kapasitas ambang batas penggantian baterai menjadi 80%.

Biaya penggantian baterai untuk kasus *Lithium Ion* selama 25 tahun periode analisis. Biaya energi baterai *lithium* ditetapkan sebesar \$448 dan pembayaran dilakukan setahun setelah penggantian. Dalam 25 tahun total 1 kali penggantian baterai yaitu pada tahun ke-23. Sedangkan biaya penggantian baterai untuk kasus *Lead Acid* selama 25 tahun periode analisis. Biaya energi baterai *Lead Acid* ditetapkan sebesar \$225 pada tahun ke-6, \$320 pada tahun ke-14, dan \$435 pada tahun ke-21 pembayaran dilakukan setahun setelah penggantian. Dalam 25 tahun total terjadi 3 kali penggantian baterai dengan total biaya \$980 seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Biaya Baterai Termasuk Penggantian Selama 25 Tahun

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis yang dilakukan menggunakan perangkat lunak *System Advisor Model* (SAM), dapat disimpulkan bahwa sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) pada kapal ikan dengan penggunaan baterai *lithium-ion* menunjukkan performa yang lebih unggul dibandingkan baterai *lead-acid*. Secara teknis, baterai *lithium-ion* memiliki efisiensi sistem sebesar 92,11%,

sedikit lebih tinggi dibandingkan baterai lead-acid sebesar 92,02%, namun perbedaannya signifikan dalam stabilitas performa terhadap variasi beban dan suhu. Dari aspek daya tahan, baterai lithium-ion mampu bertahan hingga 25 tahun dengan satu kali penggantian, sedangkan baterai lead-acid hanya memiliki umur pakai sekitar 8–10 tahun dan memerlukan tiga kali penggantian selama periode operasi yang sama. Hal ini menjadikan baterai lithium-ion lebih efisien dan handal dalam penyimpanan energi jangka panjang.

Selain itu, analisis ekonomi menunjukkan bahwa meskipun biaya awal baterai lithium-ion lebih tinggi, total biaya penggantian selama 25 tahun hanya mencapai USD 448, jauh lebih rendah dibandingkan baterai lead-acid yang mencapai USD 980. Dari sisi performa harian, sistem PLTS dengan baterai lithium-ion mampu menyediakan energi rata-rata sebesar 4,23 kWh/hari, sedangkan baterai lead-acid hanya 3,75 kWh/hari. Hasil ini menunjukkan bahwa lithium-ion mampu menyimpan energi lebih efektif, mengurangi kerugian daya, dan mempertahankan tegangan keluaran yang stabil.

Secara keseluruhan, penerapan baterai lithium-ion pada kapal ikan berbasis tenaga surya dinilai lebih layak digunakan baik dari segi teknis maupun ekonomis. Sistem ini tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional kapal, tetapi juga mendukung pengurangan emisi karbon. Dengan demikian, penggunaan baterai lithium-ion merupakan langkah

strategis menuju penerapan sistem kelistrikan kapal yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan di sektor perikanan Indonesia.

Referensi

- [1] D. A. Fadilla, D. Matthew, and R. Alfarizi, "Rancang Bangun dan Pengujian Sistem Pengisian serta Pengosongan Baterai Jenis Li-Ion dan Lead-Acid dengan Sumber PLTS," *Jurnal Teknologi Rekayasa Instalasi Listrik (JTRIL)*, vol. 1, no. 2, pp. 15–21, 2024.
- [2] P. Asri, H. A. Widodo, A. T. Nugraha, I. Rachman, J. E. Poertro, I. A. S., and D. R. Ruwahida, "Desain Hybrid Panel Surya dan Generator Set pada Kapal Ikan Pesisir Selatan Jawa," *Jurnal Inovtek Polbeng*, vol. 12, no. 1, pp. 46–53, 2022.
- [3] B. Y. Dewantara, "Perancangan Perahu Nelayan Ramah Lingkungan Menggunakan Motor Listrik Bertenaga Surya," *Cyclotron*, vol. 2, no. 1, pp. 1–4, 2019, doi: 10.30651/cl.v2i1.2530.
- [4] Battery University, "BU-205: Types of Lithium-ion," Cadex Electronics Inc. [Online]. Available: <https://batteryuniversity.com/article/bu-205-types-of-lithium-ion>. [Accessed: Jul. 1, 2026].
- [5] A. F. Farizy and D. A. Asfani, "Desain Sistem Monitoring State of Charge Baterai pada Charging Station Mobil Listrik Berbasis Fuzzy Logic dengan Mempertimbangkan Temperature," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 5, no. 2, pp. B278–B282, 2016, doi: 10.12962/j23373539.v5i2.16203.
- [6] M. Oton, "Perancangan Modular Baterai Lithium Ion (Li-Ion) untuk Beban Lampu LED," *Setrum: Sistem Kendali-Tenaga-Elektronika-Telekomunikasi-Komputer*, vol. 8, no. 2, pp. 260–267, 2019, doi: 10.36055/setrum.v8i2.6808.
- [7] N. Blair, A. P. Dobos, J. Freeman, T. Neises, M. Wagner, T. Ferguson, P. Gilman, and S. Janzou, "System Advisor Model, SAM 2014.1.14: General Description," National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO, USA, Tech. Rep. NREL/TP-6A20-61019, Feb. 2014, doi: 10.2172/1126294.