



Studi Kelayakan Serta Penggunaan Baterai LiFePO₄ Versus Lead-Acid Pada Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

Feasibility Study and Use of LiFePO₄ Versus Lead-Acid Battery in Wind Power Plant Installation

Faiz Muhammad Rizaldi¹, Gifaldy Azka Fardhan², Naufal Aulia Rizky³,
Rega Muhamad Iqbal^{4*}

Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Pendidikan dan Industri, Universitas Pendidikan Indonesia

Email: faizmuhammadrizaldi@student.upi.edu¹, gifaldyazka@student.upi.edu², naufalauliarizky@student.upi.edu³,
regamuhamadiqbal21@student.upi.edu^{4*}

Article Info

Article history:

Received : 15-05-2026

Revised : 17-05-2026

Accepted : 19-05-2026

Published : 21-05-2026

Abstract

This study aims to compare the performance of Lithium-Ion (LiFePO₄) batteries and Lead-Acid batteries that function as energy storage in power plants. To achieve this, researchers study various existing scientific journals. The results of the analysis show that Li-Ion batteries are better because they can be charged quickly (up to 4C), have a high energy capacity (200-300 Wh/kg), good work efficiency between 95-98%, and can last up to 2000-4000 cycles or around 20 years. Although the price is more expensive, which is between 400-700 USD per kWh. While Lead-Acid (VRLA) battery is cheaper at the beginning, around 150-200 USD per kWh, but the efficiency is lower, which is only 55-75%. The service life is also not long, only 500-3000 cycles or about 2-5 years, and is more easily affected by temperature and high-power consumption. From this analysis, it can be concluded that LiFePO₄ batteries are more ideal for use in power plants in the long term. This is because the operational cost per kWh is cheaper which is 0.35 USD and more stable to be used in the electricity network. However, it is necessary to provide financial support in order to overcome the problem of high costs at the beginning

Keywords: *LiFePO₄ Battery, Lead-Acid Battery, Energi Storage*

Abstrak

Studi ini bertujuan untuk membandingkan kinerja baterai *Lithium-Ion* (LiFePO₄) dan baterai *Lead-Acid* yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan energi di pembangkit listrik. Untuk mencapai hal tersebut, peneliti mempelajari berbagai jurnal ilmiah yang ada. Hasil analisis menunjukkan bahwa baterai *Li-Ion* lebih baik karena bisa diisi dengan cepat (hingga 4C), memiliki kapasitas energi yang tinggi (200-300 Wh/kg), efisiensi kerja yang baik antara 95-98%, dan bisa bertahan hingga 2000-4000 siklus atau sekitar 20 tahun. Meskipun harganya lebih mahal, yaitu antara 400-700 USD per kWh. Sementara baterai *Lead-Acid* (VRLA) lebih murah di awal, sekitar 150-200 USD per kWh, tetapi efisiensinya lebih rendah, yaitu hanya 55-75%. Masa pakainya juga tidak lama, hanya 500-3000 siklus atau sekitar 2-5 tahun, dan lebih mudah dipengaruhi oleh suhu serta penggunaan daya yang tinggi. Dari analisis ini, dapat disimpulkan bahwa baterai LiFePO₄ lebih ideal untuk digunakan di pembangkit listrik dalam jangka panjang. Hal ini karena biaya operasional per kWh yang lebih murah yaitu 0,35 USD serta lebih stabil untuk digunakan dalam jaringan listrik. Akan tetapi perlu untuk memberikan dukungan finansial agar dapat mengatasi masalah biaya yang tinggi di awal.

Kata Kunci: *Baterai LiFePO₄, Baterai Lead-Acid, Penyimpanan Energi*

PENDAHULUAN

Seiring dengan meningkatnya upaya global dalam transisi menuju energi bersih, pengembangan dan pemanfaatan sumber energi terbarukan seperti matahari, air, biomassa, dan



angin menjadi sangat penting. Berbagai sumber energi baru terbarukan tersebut dapat diolah untuk menghasilkan energi lain, salah satunya energi listrik. Dalam sistem pembangkit listrik berbasis energi terbarukan, penggunaan baterai sebagai media penyimpanan energi merupakan komponen yang tidak terpisahkan. Namun, salah satu permasalahan utama yang sering dihadapi adalah menurunnya kinerja sistem penyimpanan energi akibat pemilihan jenis baterai yang kurang tepat. Oleh karena itu, diperlukan analisis yang mendalam untuk menentukan jenis baterai yang paling sesuai dan optimal digunakan sebagai sistem penyimpanan energi pada pembangkit listrik.

Baterai merupakan perangkat yang berfungsi mengubah energi kimia yang tersimpan di dalamnya menjadi energi listrik yang dapat dimanfaatkan oleh berbagai peralatan elektronik. Proses kerja baterai secara umum didasarkan pada reaksi elektrokimia berupa reaksi reduksi dan oksidasi (redoks). Dalam pengoperasiannya, baterai mengalami dua proses utama, yaitu proses pengisian daya, di mana energi listrik diubah menjadi energi kimia, serta proses pengosongan daya, yaitu pengubahan energi kimia kembali menjadi energi listrik. Dengan fungsi tersebut, baterai memungkinkan perangkat elektronik untuk beroperasi tanpa harus terhubung langsung ke sumber listrik. Dalam sistem energi terbarukan seperti Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB), terdapat dua jenis baterai isi ulang yang paling umum digunakan, yaitu baterai *Lithium-Ion* dan baterai timbal asam (*Lead-Acid*).

Baterai *Lithium-Ion* bekerja berdasarkan mekanisme perpindahan ion *lithium* dan termasuk dalam kategori baterai sekunder yang dapat diisi ulang berkali-kali. Salah satu jenis baterai *Lithium-Ion* yang banyak digunakan adalah *Lithium Iron Phosphate* (LiFePO_4 atau LFP) dengan tegangan 12 V atau 24 V dan kapasitas 100 Ah. Baterai ini dikenal bersifat bebas perawatan, memiliki tingkat keamanan dan stabilitas termal yang tinggi, kepadatan energi yang besar, waktu pengisian yang relatif singkat, serta umur pakai yang mencapai tiga hingga empat kali lebih lama dibandingkan baterai timbal asam, meskipun memerlukan biaya investasi awal yang lebih besar. Sebaliknya, baterai *Lead-Acid* yang pertama kali dikembangkan pada tahun 1859 menggunakan elektroda berbahan timbal dan elektrolit asam sulfat. Jenis baterai ini memiliki biaya awal yang lebih rendah, namun kepadatan energinya relatif kecil, waktu pengisian lebih lama, usia pakai lebih pendek sekitar dua hingga tiga tahun atau sekitar 300–500 siklus, serta membutuhkan perawatan rutin, sehingga biaya operasional jangka panjangnya cenderung lebih tinggi.

Sejumlah penelitian terdahulu telah membahas penerapan baterai *Lithium-Ion* dan baterai timbal asam dalam sistem pembangkit listrik. Kajian-kajian tersebut umumnya menyoroti aspek efisiensi penyimpanan energi, kestabilan daya keluaran, serta biaya operasional sistem secara keseluruhan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa baterai *Lithium-Ion* mampu memberikan performa yang lebih stabil, terutama pada kondisi beban tinggi dan lingkungan dengan variasi suhu yang ekstrem. Meskipun demikian, baterai timbal asam masih banyak digunakan karena pertimbangan biaya awal yang lebih terjangkau, khususnya pada sistem berskala kecil atau wilayah dengan keterbatasan anggaran. Pada praktiknya, baterai *Lithium-Ion* lebih sering diaplikasikan pada sistem berskala besar, sementara baterai timbal asam digunakan untuk aplikasi yang lebih sederhana. Kendati demikian, pemanfaatan kedua jenis baterai tersebut masih menghadapi sejumlah kendala, terutama terkait tingginya biaya investasi awal dan keterbatasan akses terhadap teknologi penyimpanan energi yang lebih modern.



Walaupun baterai *Lithium-Ion* menawarkan keunggulan dari segi kepadatan energi, umur pakai yang panjang, serta kestabilan keluaran daya yang sangat dibutuhkan untuk menjaga kualitas dan keandalan jaringan listrik, biaya produksi awal yang tinggi masih menjadi tantangan utama. Kondisi ini menjadi hambatan tersendiri bagi proyek berskala kecil maupun penerapan di negara berkembang, sehingga baterai timbal asam yang lebih ekonomis, meskipun kurang efisien, masih sering dijadikan pilihan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan solusi yang bersifat komprehensif. Dari sisi teknologi, perlu dilakukan percepatan riset dan pengembangan guna menurunkan nilai *Levelized Cost of Storage* (LCOS) baterai *Lithium-Ion*, serta mengembangkan alternatif baterai berbasis material yang lebih melimpah, seperti baterai Sodium-Ion, yang berpotensi menawarkan kinerja mendekati *Lithium-Ion* dengan biaya material yang lebih rendah. Sementara itu, dari aspek kebijakan dan pendanaan, peran pemerintah dan industri sangat diperlukan dalam menyediakan skema insentif yang efektif, seperti subsidi investasi atau pembebasan pajak, guna mengurangi beban biaya awal. Upaya tersebut penting untuk memastikan teknologi penyimpanan energi terbarukan dapat diakses secara luas, mempercepat transisi energi, serta menjaga stabilitas sistem kelistrikan. Dengan demikian, tujuan penulisan ini adalah untuk membandingkan kinerja dua jenis baterai yang umum digunakan pada pembangkit listrik dan menentukan jenis baterai yang paling unggul sebagai sistem penyimpanan energi.

METODE PENELITIAN

Pada penulisan studi ini, penulis menggunakan metode pengumpulan data berupa studi literatur dengan pendekatan deskriptif komparatif untuk menganalisis dan membandingkan kinerja baterai *Lithium-Ion* (khususnya LiFePO_4) dan baterai *Lead-Acid* sebagai sistem penyimpanan energi pada pembangkit listrik. Metode ini dipilih karena penelitian tidak melakukan pengujian eksperimental secara langsung, melainkan memanfaatkan data sekunder yang bersumber dari penelitian terdahulu. Tahapan penelitian diawali dengan pengumpulan data melalui penelusuran artikel ilmiah, jurnal nasional dan internasional, serta publikasi teknis yang relevan dengan topik baterai *Lithium-Ion* dan *Lead-Acid* pada sistem penyimpanan energi pembangkit listrik, khususnya pembangkit energi terbarukan. Literatur yang digunakan dipilih berdasarkan beberapa kriteria, antara lain: diterbitkan dalam kurun waktu sepuluh tahun terakhir, membahas karakteristik teknis baterai, serta memuat data kinerja yang dapat dibandingkan secara kuantitatif maupun kualitatif. Selanjutnya, data yang diperoleh diklasifikasikan berdasarkan parameter kinerja utama, meliputi efisiensi pengisian dan pengosongan, kepadatan energi, umur pakai dan siklus hidup, biaya investasi awal, serta biaya operasional jangka panjang. Parameter-parameter tersebut kemudian dianalisis secara deskriptif untuk menggambarkan karakteristik masing-masing jenis baterai. Tahap akhir penelitian dilakukan dengan analisis perbandingan antara baterai *Lithium-Ion* dan *Lead-Acid* berdasarkan parameter yang telah ditentukan. Hasil analisis ini digunakan untuk menilai keunggulan dan keterbatasan masing-masing baterai dalam penerapannya sebagai sistem penyimpanan energi pada pembangkit listrik. Kesimpulan ditarik berdasarkan kecenderungan hasil penelitian terdahulu yang paling dominan dan relevan dengan kebutuhan sistem pembangkit listrik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis perbandingan kinerja baterai *lithium-ion* (Li-ion) dan baterai asam timbal (*lead-acid*) dari literatur terkait serta hasil penelitian menunjukkan perbedaan signifikan dalam aspek



kinerja, biaya, dan umur pakai yang relevan untuk aplikasi penyimpanan energi pada pembangkit listrik *off-grid*.

Kinerja Baterai

Baterai Li-ion unggul dengan kemampuan pengisian daya lebih cepat (hingga 4C), kepadatan energi lebih tinggi yang memungkinkan penyimpanan energi lebih banyak dalam volume kecil, serta masa pakai 3-4 kali lebih lama dibandingkan dengan *lead-acid*. Sebaliknya, baterai *lead-acid* memerlukan waktu pengisian lebih lama (terbatas pada 0,25 C), memiliki kepadatan energi rendah, dan memiliki kinerja yang sensitif terhadap suhu serta laju pengosongan.

Biaya Operasional

Baterai Li-ion memiliki biaya awal lebih tinggi (400-700 USD/kWh), namun biaya jangka panjang lebih rendah karena siklus hidup panjang dan minimnya pemeliharaan, dengan harga per kWh energi seumur hidup sekitar 0.35 USD. Baterai *lead-acid* lebih murah di awal (150-200 USD/kWh), tetapi biaya total meningkat akibat penggantian sering dan pemeliharaan tinggi.

Umur Pakai dan Siklus

Baterai Li-ion mencapai 2000-4000 siklus (hingga 20 tahun pada SOC 50%), dengan degradasi minimal dan tidak rentan kehilangan efektivitas secara signifikan. Baterai *lead-acid* terbatas pada 500–3000 siklus (2–5 tahun), dipengaruhi oleh DOD tinggi, suhu, dan pemeliharaan, sehingga umur pakainya lebih pendek secara keseluruhan.



Gambar 1. Baterai (a) Lithium-Ion LiFePO₄, (b) Lead Acid

Tabel 1. Kinerja Baterai Lithium-Ion dan Lead Acid

No	Parameter	Lithium-Ion	Lead Acid
1	Tegangan Nominal	3.2 V	2.1 V/sel
2	Tegangan Kerja	3.0 V – 3.3 V	2.1 V – 12 V
3	Siklus Hidup	2000 – 9000 siklus	250 – 1000 siklus



KESIMPULAN

Dapat disimpulkan bahwa baterai *lithium*, khususnya LiFePO_4 , memiliki kinerja paling unggul dibandingkan baterai *lead-acid* (aki basah dan aki kering) dalam sistem penyimpanan energi. Baterai LiFePO_4 menunjukkan efisiensi pengisian–pengosongan tertinggi, tegangan yang lebih stabil, serta energi keluaran yang lebih besar, disertai umur pakai dan siklus hidup yang jauh lebih panjang. Karakteristik tersebut menjadikannya sangat sesuai untuk aplikasi energi terbarukan seperti PLTB, yang memiliki pola daya tidak menentu dan membutuhkan baterai dengan ketahanan terhadap fluktuasi beban serta kedalaman pengosongan yang tinggi. Sebaliknya, baterai *lead-acid*, meskipun memiliki biaya awal yang lebih rendah dan teknologi yang sederhana, menunjukkan efisiensi lebih rendah, penurunan tegangan yang lebih signifikan saat pengosongan, serta umur pakai yang lebih pendek, sehingga kurang optimal untuk penggunaan jangka panjang. Oleh karena itu, meskipun investasi awal baterai *lithium* lebih tinggi, secara teknis dan ekonomis dalam jangka panjang baterai *lithium*, terutama LiFePO_4 , merupakan pilihan yang lebih efektif dan andal untuk sistem PLTB dibandingkan baterai *lead-acid*.

DAFTAR PUSTAKA

- A., Satriady. "Karakteristik dan Potensi Baterai Lithium-Ion sebagai Sumber Alternatif." (Jurnal Material dan Energi Indonesia) 1, no. 1-8 (2016).
- A., Turnip Y. A. "Rancang Bangun Baterai Alternatif Menggunakan Metode Elektroda Tembaga dan Seng." (Jurnal Electron) 4, no. 1-8 (2024).
- Fadila, Deny Ahmad, Dery Matthew, and Raihan Alfari. "Rancang bangun dan Pengujian Sistem Pengisian serta Pengosongan Baterai Jenis Li-Ion dan Lead-Acid dengan Sumber PLTS." (Jurnal Teknologi Rekayasa Instalasi Listrik) n.d.
- Holobattery. *Lithium vs Lead-Acid Battery*. n.d. <https://holobattery.com/id/lithium-vs-lead-acid>.
- Karimah, Cahyaning Nur, Alex Taufiqurrohman Zain, and Ahmad Luqmad Nofiansyah. "Analisa Baterai Sebagai Sumber Kelistrikan Kendaraan Roda Dua Ditinjau dari Kapasitas dan Efisiensi." (J-TETA: Jurnal Teknik Terapan) 2il (2023).
- Keshan, Hardik, Jesse Thornburg, and Taha Selim Ustun. "Comparison of Lead-Acid and Lithium-Ion Batteries for Stationary Storage in Off-Grid Energy Systems." (Electrical Engineering Department, PEC University of Technology) n.d.
- N., Kamal. *Pengertian Baterai: Prinsip, Fungsi, dan Jenis-Jenisnya*. Gramedia Blog., n.d.
- Pambudi, Wahyu Setyo, Riza Agung Firmansyah, Titiek Suteha, and Nur Kukuh Wicaksono. "Analisis Penggunaan Baterai Lead-Acid dan Lithium-Ion dengan Sumber Solar Panel." (Jurnal Teknik Energi Elektrik, Energi Telekomunikasi, dan Teknik Elektronika) 11, no. 392-407 (2023).
- Pan, Lee. *Perbedaan Baterai Lithium dan Baterai Asam Timbal dalam Performa di Cuaca Dingin*. n.d. <https://large-battery.com>.