



Literature Review dan Perbandingan Baterai Lithium-ion, Nikel-Kadmium, LiFePO₄, dan Perak Oksida di Indonesia

Fahrul Rosikin¹, Hilmi Zainul Rizka², Muhammad Alfaridzi Rusdiansyah³, Denis Ryan Afrianto⁴, Devan Andriansyah⁵, Irsyad Al Fatah⁶, Eka Cahya Muliawati^{7*}

^{1,2,3,4,5,6}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro Teknologi Informasi,
Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Surabaya, Indonesia

⁷Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya,
Surabaya, Indonesia

Email: fahrulrosikin24@gmail.com¹, hilmizainrkz05@gmail.com², faridarsum677@gmail.com³,
denisryaan@gmail.com⁴, devanandri81@gmail.com⁵, alfatah.irsyad@gmail.com⁶, ekacahya@itats.ac.id⁷

Abstrak

Pada Era Modern ini energi yang efisien dan ramah lingkungan menjadi kebutuhan yang mendesak. Baterai jadi salah satu alternatif energi ramah lingkungan dan menjadi fokus utama dalam pencarian dan pengembangan teknologi energi terbarukan. Perkembangan teknologi baterai, seperti baterai lithium-ion, LiFePO₄, Nikel-Kadmium, dan Perak Oksida menjadi jalan untuk pengembangan perangkat yang lebih efisien dari segi ukuran, berat dan tenaga. Observasi ini menggunakan pendekatan deskriptif dengan analisis kuantitatif. Data yang digunakan diambil dari hasil review sebanyak 24 jurnal yang membahas berbagai jenis baterai, dengan kisaran tahun publikasi antara 2020 hingga 2024. Observasi ini bertujuan untuk memberikan gambaran menyeluruh tentang karakteristik masing-masing jenis baterai serta perbandingannya. Dari hasil penelusuran jurnal terkait didapat pengembangan teknologi baterai berbasis nikel di Indonesia sangat relevan mengingat potensi sumber daya alam yang melimpah. Hasil terbaik menunjukkan bahwa baterai Perak Oksida memiliki kepadatan energi tertinggi, mencapai hingga 300 Wh/kg dan menjadikannya ideal untuk aplikasi kecil dan perangkat medis. Namun tidak menutup kemungkinan jika dikembangkan dapat berpotensi digunakan dalam bidang yang lain sejalan dengan pengembangan teknologi dan inovasi baterai di Indonesia.

Kata Kunci: Baterai; Lithium-ion; Nikel-Kadmium; LiFePO₄; Perak Oksida

ABSTRACT

In the modern era, efficient and environmentally friendly energy sources have become an urgent necessity. Batteries have emerged as one of the most promising alternatives for green energy and have become a key focus in the search for and development of renewable energy technologies. The advancement of battery technologies—such as lithium-ion, LiFePO₄, nickel-cadmium, and silver oxide batteries—has paved the way for the development of more efficient devices in terms of size, weight, and power. This observation employs a descriptive approach with quantitative analysis. The data used were obtained from a review of 24 journals discussing various types of batteries, published between 2020 and 2024. The objective of this study is to provide a comprehensive overview of the characteristics of each battery type, as well as comparisons among them. The journal review reveals that the development of nickel-based battery technology in Indonesia is highly relevant, considering the country's abundant natural resources. Among the battery types studied, silver oxide batteries demonstrated the highest energy density, reaching up to 300 Wh/kg, making them ideal for small-scale applications and medical devices. However, with further development, silver oxide batteries also hold the potential to be utilized in other sectors, in line with ongoing advancements in battery technology and innovation in Indonesia.

Keywords: Battery; Lithium-ion; Nickel-Cadmium; LiFePO₄; Silver Oxide

1. PENDAHULUAN

Baterai merupakan salah satu komponen kunci dalam sistem penyimpanan energi yang saat ini menjadi fokus utama dalam pengembangan teknologi energi baru dan terbarukan. Bahan baku lokal seperti nikel, litium, dan mineral lainnya dapat menjadi fondasi kuat dalam pengembangan industri baterai nasional (Ding & Wu, 2024). Jenis baterai yang umum digunakan antara lain Lithium-ion, LiFePO₄, Nikel-Kadmium (NiCd), dan Perak Oksida. Setiap jenis baterai memiliki karakteristik yang berbeda, seperti kepadatan energi, siklus hidup, waktu pengisian, dan dampak terhadap lingkungan (Ding & Wu, 2024).

Urgensi penelitian ini terletak pada perlunya pemahaman mendalam mengenai karakteristik dan prospek berbagai jenis baterai yang berpotensi dikembangkan di Indonesia, mengingat transisi energi global yang tengah berlangsung. Permasalahan utama yang diangkat dalam penelitian ini adalah bagaimana menganalisis potensi dan performa berbagai jenis baterai dari segi efisiensi, daya tahan, kepadatan energi, waktu pengisian, dan relevansinya terhadap kebutuhan energi di Indonesia (Amer *et al.*, 2024).

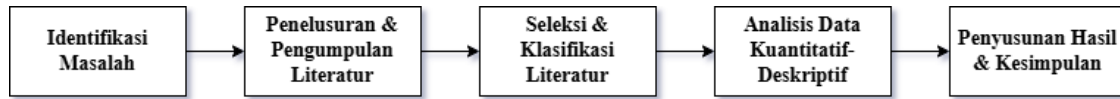
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memberikan gambaran komprehensif mengenai perbandingan jenis-jenis baterai berdasarkan parameter teknis dan potensi penerapannya di Indonesia, serta memberikan arahan strategis dalam pengembangan teknologi baterai nasional. Kontribusi yang diharapkan dari penelitian ini adalah memberikan dasar ilmiah dan referensi strategis bagi pengambil kebijakan, industri energi, dan peneliti dalam mengembangkan rantai pasok baterai yang berkelanjutan dan berdaya saing.

Ruang lingkup penelitian ini mencakup aspek-aspek teknis seperti efisiensi energi, daya tahan siklus, waktu pengisian, dan kepadatan energi dari masing-masing jenis baterai, serta aspek aplikatifnya dalam konteks kebutuhan energi nasional (Lansburg *et al.*, 2022). Penelitian ini tidak hanya membahas performa teknis, tetapi juga menyoroti potensi pengembangan infrastruktur, tantangan produksi, dampak lingkungan, dan peluang investasi dalam industri baterai di Indonesia. Dengan membatasi fokus pada parameter-parameter tersebut, penelitian ini bertujuan untuk memberikan pemahaman yang lebih terarah dan mendalam mengenai strategi pengembangan teknologi baterai masa depan (Olabi *et al.*, 2023).

2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif yang bertujuan untuk menganalisis karakteristik dan potensi pengembangan. Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh melalui studi literatur (*literature review*) dari berbagai jurnal nasional dan

internasional yang relevan dengan topik pengembangan teknologi baterai. Proses penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Tahapan Penelitian

Berdasarkan Gambar 1 *Flowchart Tahapan Penelitian*, tahap pertama adalah identifikasi masalah, yaitu dengan mengkaji isu utama terkait kebutuhan teknologi penyimpanan energi di Indonesia, khususnya dalam konteks pengembangan baterai. Tahap berikutnya adalah penelusuran dan pengumpulan literatur, di mana literatur dikumpulkan dari berbagai database jurnal nasional dan internasional seperti Google Scholar, ScienceDirect, dan IEEE Xplore. Kriteria pemilihan jurnal didasarkan pada relevansi terhadap topik, kualitas publikasi, serta tahun terbitnya.

Selanjutnya dilakukan seleksi dan klasifikasi literatur, di mana jurnal yang telah diperoleh diseleksi berdasarkan kesesuaian dengan fokus penelitian, kemudian dikelompokkan menurut jenis baterai, parameter analisis, serta kontribusi penelitian terhadap pengembangan teknologi baterai. Setelah itu, data yang telah diklasifikasikan dianalisis menggunakan metode kuantitatif-deskriptif yang mana dengan membandingkan berbagai aspek seperti efisiensi, daya tahan, waktu pengisian, dan kepadatan energi dari masing-masing jenis baterai.

Tahapan terakhir adalah penyusunan hasil dan kesimpulan, di mana hasil analisis disusun secara sistematis untuk menghasilkan kesimpulan dan memberikan rekomendasi terkait arah pengembangan teknologi baterai yang paling sesuai dengan kebutuhan nasional. Dalam penelitian ini digunakan sebanyak 24 jurnal ilmiah, yang terdiri dari 6 jurnal nasional dan 18 jurnal internasional. Literatur yang dijadikan acuan berasal dari rentang tahun 2020 hingga 2024, sehingga mencerminkan perkembangan teknologi baterai yang terkini.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Baterai adalah Perangkat penyimpanan energi yang mengubah energi kimia menjadi energi Listrik melalui reaksi elektrokimia (Schmidt-Rohr, 2021). Baterai dapat diisi ulang atau tidak dapat diisi ulang, dan digunakan dalam berbagai jenis aplikasi, mulai dari perangkat elektronik hingga transportasi (Olabi *et al.*, 2023).

3.1 Karakteristik Baterai

Baterai merupakan perangkat penyimpanan energi yang mengubah energi kimia menjadi energi listrik melalui reaksi elektrokimia (Schmidt-Rohr, 2021). Jenis baterai memiliki karakteristik berbeda tergantung pada bahan dasar, kepadatan energi, serta performa dan penerapannya dalam kehidupan sehari-hari. Baterai isi ulang yang menggunakan ion lithium sebagai bahan aktif. Dikenal dengan kepadatan energi tinggi (100–250 Wh/kg) dan masa pakai 5–10 tahun. Umumnya digunakan pada perangkat elektronik dan kendaraan listrik karena efisiensi tinggi (Amer et al., 2024; Hadouchi et al., 2022). Sedangkan baterai LiFePO₄ menggunakan lithium iron phosphate sebagai katoda, memiliki stabilitas termal tinggi dan umur siklus hingga 5000 kali. Kepadatan energi 90–160 Wh/kg, cocok untuk penyimpanan energi terbarukan dan kendaraan listrik (Chang & Wang, 2024; Ramirez-Meyers et al., 2023; Amer et al., 2024).

Baterai NiCd merupakan baterai isi ulang dengan elektroda nikel dan kadmium. Memiliki kepadatan energi rendah (40–60 Wh/kg), tetapi tahan suhu ekstrem dan umur pakai sekitar 1000 siklus. Masih digunakan pada aplikasi di lingkungan ekstrem (Lansburg et al., 2022; Yazvinskaya et al., 2021). Sedangkan baterai perak oksida memiliki kepadatan energi tinggi (130–300 Wh/kg), tegangan stabil (1,55 V), dan umur simpan hingga 10–12 tahun. Umumnya digunakan pada alat medis seperti alat bantu dengar. Potensi ke depan diarahkan sebagai sistem backup listrik alternatif pengganti genset pada rumah dan gedung (Nguyen et al., 2023; Yang et al., 2020; Marassi et al., 2021; Genthe et al., 2023).

Berdasarkan berbagai jenis baterai yang dianalisis, baterai perak oksida memiliki kepadatan energi tertinggi hingga 300 Wh/kg (Genthe et al., 2023), ideal untuk perangkat kecil seperti alat bantu dengar dan alat medis karena efisiensi reaksi elektrokimia yang tinggi (Yang et al., 2020). Ke depan, baterai ini berpotensi digunakan sebagai sistem cadangan listrik untuk rumah atau gedung, menggantikan genset dan melengkapi baterai panel surya.

3.2 Tren Perkembangan di Indonesia

Perkembangan teknologi baterai di Indonesia masih dalam tahap awal, tetapi sangat menjanjikan. Indonesia memiliki potensi besar karena sumber daya nikel yang melimpah. Pemerintah juga mendorong pengembangan teknologi ini, termasuk infrastruktur pengisian daya. Tren perkembangan baterai saat ini mencakup beberapa aspek utama yaitu sebagai berikut:

- 1. Peningkatan kepadatan energi
Baterai terus dikembangkan agar bisa menyimpan lebih banyak energi dalam ukuran yang lebih kecil. Contohnya: baterai lithium-sulfur dan solid-state
- 2. Peningkatan kepadatan energi
Fokus pada desain dan bahan yang lebih aman untuk mengurangi risiko kebakaran. Baterai solid-state juga lebih stabil secara termal.
- 3. Umur panjang
Inovasi bahan elektroda dan elektrolit ditujukan untuk membuat baterai tahan lebih lama, sehingga lebih hemat biaya dan ramah lingkungan.
- 4. Pengurangan biaya
Upaya menurunkan biaya baterai dilakukan lewat teknologi baru dan proses produksi yang lebih efisien.

Secara keseluruhan, tren ini menunjukkan fokus industri pada peningkatan kinerja, keamanan, dan efisiensi biaya baterai untuk memenuhi kebutuhan energi yang terus berkembang (Ramirez-Meyers *et al.*, 2023). Perkembangan baterai dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perkembangan Batrei di Indonesia

Jenis Baterai	Kapasitas Produksi (Tahun 2023)	Aplikasi Utama	Tren Penggunaan	Catatan
Lithium-Ion	100 juta unit	Kendaraan listrik, elektronik konsumen	Meningkat pesat	Investasi besar dari perusahaan lokal dan internasional.
Pera k Oksida	500.000 unit	Jam tangan, alat medis, perangkat kecil	Stabil, tetapi terbatas	Sebagian besar diimpor, potensi untuk aplikasi khusus.
Nikel Kadmium (NiCd)	10 juta unit	Alat listrik, penyimpanan energi	Menurun	Banyak perusahaan beralih ke teknologi yang lebih ramah lingkungan.
LiFePO4	20 juta unit	Penyimpanan energi terbarukan, kendaraan listrik	Meningkat	Dikenal karena stabilitas dan keamanan yang lebih baik.

Berdasarkan Tabel 1 ini memberikan gambaran umum tentang perkembangan baterai di Indonesia, menunjukkan bahwa baterai lithium-ion dan lithium iron phosphate mengalami pertumbuhan yang signifikan, sementara penggunaan baterai perak oksida dan nikel kadmium cenderung menurun (Vykhodtsev *et al.*, 2021).

Tabel 2. Aplikasi Produksi Baterai dan Penggunaan Baterai

Aplikasi Produksi Baterai	Penggunaan Produksi Baterai
Kendaraan Listrik	40%

Aplikasi Produksi Baterai	Penggunaan Produksi Baterai
Elektronik Konsumen	30%
Alat Medis	10%
Penyimpanan Energi	20%

Berdasarkan pada Tabel 2 persentase aplikasi produksi baterai menunjukkan bahwa sektor kendaraan listrik dan elektronik konsumen adalah pendorong utama permintaan baterai di Indonesia. Tren yang terus berkembang menuju keberlanjutan dan efisiensi energi, industri baterai di Indonesia memiliki peluang besar untuk berkembang dan berinovasi di masa depan. Gambar 2 menampilkan penggunaan baterai paling besar terdapat pada kendaraan listrik (40%), diikuti elektronik konsumen (30%), penyimpanan energi (20%), dan alat medis (10%). Hal ini menunjukkan bahwa kendaraan listrik menjadi sektor utama dalam pemanfaatan baterai saat ini (Rahayu *et al.*, 2023).



Gambar 2. Aplikasi pada Produksi Baterai

3.3 Aspek Ekonomi Baterai

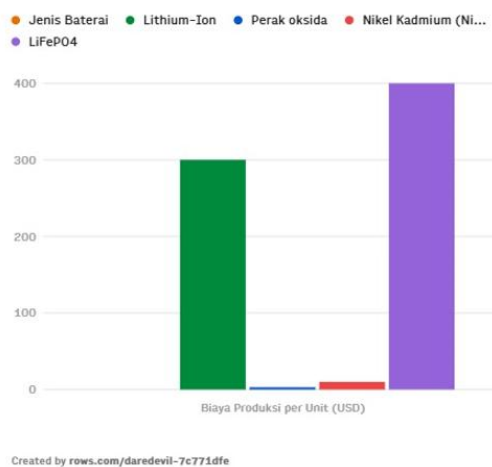
Aspek ekonomi baterai semakin penting seiring meningkatnya permintaan kendaraan listrik dan penyimpanan energi terbarukan. Meskipun biaya produksi baterai lithium-ion masih tinggi, diharapkan akan menurun dengan kemajuan teknologi dan skala produksi (Kistner *et al.*, 2024). Faktor ekonomi yang relevan meliputi distribusi sumber daya, kebijakan ekonomi, efisiensi bahan, serta analisis kelayakan bisnis seperti NPV, PP, dan IRR. Pembangunan fasilitas PT LBM di KEK Kendal juga diharapkan mendorong industri kendaraan listrik di Indonesia. Semua aspek ini mendukung pengembangan dan adopsi teknologi baterai di berbagai sektor (Ding & Wu, 2024; Amer *et al.*, 2024; Lansburg *et al.*, 2022; Schmidt-Rohr, 2021).

Tabel 3. Perbandingan Jenis Baterai Berdasarkan Biaya, Potensi Pasar, dan Aplikasinya

Jenis Baterai	Biaya Produksi per Unit (USD)	Biaya per Siklus (USD)	Potensi Pasar (USD Miliar)	Catatan
Lithium-Ion	150-300	0.10 - 0.20	10 sampai 15	Permintaan tinggi untuk

Jenis Baterai	Biaya Produksi per Unit (USD)	Biaya per Siklus (USD)	Potensi Pasar (USD Miliar)	Catatan
Perak Oksida	1 sampai 3	0.05 - 0.10	0.5 - 1	kendaraan listrik dan penyimpanan energi. Digunakan dalam aplikasi kecil, pasar terbatas.
Nikel Kadmium (NiCd)	5 Sampai 10	0.15 - 0.25	1 sampai 2	Penggunaan menurun karena masalah lingkungan.
LiFePO4	200 - 400	0.12 - 0.18	5 sampai 8	Stabilitas dan keamanan yang lebih baik, cocok untuk penyimpanan energi.

Tabel Biaya Dan Aspek Ekonomi



Gambar 3. Biaya dan Aspek Ekonomi Batrei

Berdasarkan Tabel 3 memberikan gambaran umum tentang biaya dan aspek ekonomi dari berbagai jenis baterai yang berkembang di Indonesia. Baterai lithium-ion menunjukkan potensi pasar yang paling besar, sementara baterai perak oksida memiliki pasar yang lebih terbatas. Tabel ini disusun berdasarkan data dari berbagai sumber yaitu BloombergNEF. Berdasarkan Gambar 3 menunjukkan biaya produksi berbagai jenis baterai. LiFePO4 memiliki biaya tertinggi (~400 USD), diikuti lithium-ion (~300 USD). Sementara itu, perak oksida dan nikel kadmium memiliki biaya produksi jauh lebih rendah.

Tabel 4. Potensi Pasar Batrei

Jenis Baterai	Potensi Pasar (USD Miliar)
Lithium-Ion	10 - 15
Perak Oksida	0.5 - 1
Nikel Kadmium (NiCd)	1 - 2
LiFePO4	5 - 8



Gambar 4. Perbandingan Potensi Pasar Berbagai Jenis Baterai (USD Miliar)

Berdasarkan pada Tabel 4 potensi pasar menunjukkan bahwa lithium-ion adalah pendorong utama dalam industri baterai, diikuti oleh LiFePO4, NiCd, dan perak oksida. Untuk tren yang terus berkembang, industri baterai di Indonesia memiliki potensi besar untuk tumbuh dan berinovasi di masa depan. Tabel ini disusun berdasarkan data dari berbagai sumber yaitu BloombergNEF. Berdasarkan Gambar 4, potensi pasar terbesar dimiliki oleh baterai Lithium-Ion dengan nilai sekitar 15 miliar USD, disusul oleh LiFePO4 sebesar 8 miliar USD. Sementara itu, perak oksida dan nikel kadmium (NiCd) memiliki potensi pasar yang jauh lebih kecil. Hal ini menunjukkan dominasi Lithium-Ion di pasar baterai global.

3.4 Future Prospek Analisis

Prospek analisis pada masa depan, penggunaan baterai di Indonesia harus difokuskan pada pengembangan teknologi yang terbaru, efisien dan tidak berkontribusi merusak alam dan lingkungan. Analisis mengenai pemanfaatan bahan baku lokal serta inovasi dalam desain baterai dapat membantu meningkatkan daya saing industri baterai nasional. Tabel 5 menampilkan hasil *review* jurnal.

Tabel 5. Hasil Review Jurnal

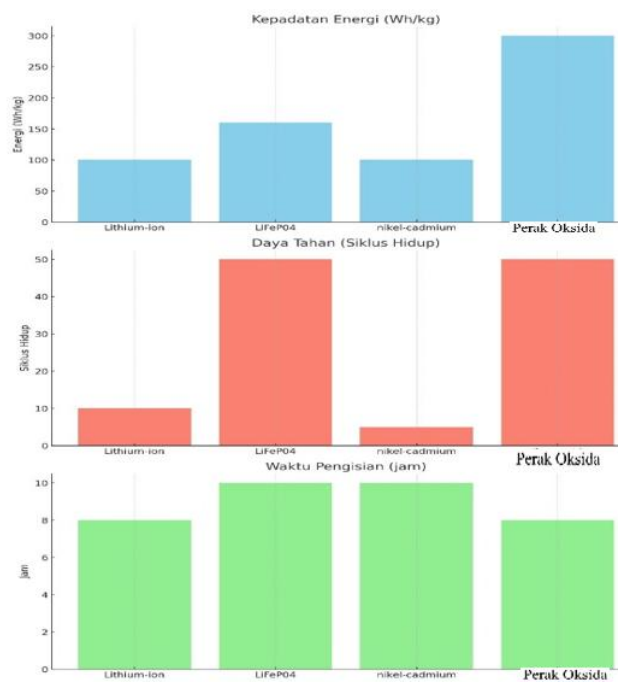
No	Jenis Baterai	Kepadatan Energi	Daya Tahan	Charging	Perkembangan Indonesia	Daftar Pustaka
1	Lithium-ion	100 hingga 250Wh/kg	5–10 tahun	Waktu 6–8 jam	Transisi energi yang lebih ramah lingkungan di industri pelayaran. Teknologi ini memungkinkan pengurangan emisi yang signifikan sekaligus meningkatkan efisiensi energi	H. S. Moon, W. Y. Park, T. Hendrickson, A. Phadke, and N. Popovich, "Battery Electrification of U.S. Domestic Shipping," 2023.
2	Lithium-ion	kepadatan 11,7k Wh/kg.	5–10 tahun	Waktu antara 2 hingga 10 jam.	Penerapan sistem propulsi listrik berbasis baterai di Indonesia masih dalam tahap awal. Namun, potensi untuk mengurangi emisi dan biaya operasional di jalur pendek sangat menjanjikan, terutama untuk feri dan kapal kecil	L. Kistner, A. Bensmann, and R. Hanke-Rauschenbach, "Potentials and limitations of battery-electric container ship propulsion systems," <i>Energy Convers. Manag.</i> 2024

No	Jenis Baterai	Kepadatan Energi	Daya Tahan	Charging	Perkembangan Indonesia	Daftar Pustaka
3	Lithium-ion	250-300 Wh/kg	8-10 dalam tahun	Menjaga SoC dalam rentang 48%-52%	Dengan dukungan kebijakan, pembangunan infrastruktur hidrogen, dan kolaborasi lintas sektor, teknologi AMFC dapat menjadi solusi utama dalam transformasi transportasi hijau di Indonesia.	Vedhanayaki Selvaraj, Indragandhi Vairavasundaram, Flyback converter employed non-dissipative cell equalization in electric vehicle lithium-ion batteries, <i>e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics, and Energy</i> , 2023,
4	Lithium-ion	150-250 Wh/kg	3.000 dan 5.000 siklus parsial	Waktu antara 2 hingga 10 jam.	Penelitian untuk meningkatkan efisiensi dan kapasitas baterai, serta mengurangi biaya produksi, sangat dibutuhkan. Indonesia memiliki potensi untuk mengembangkan teknologi baterai berbasis nikel.	D. Ding and X. Y. Wu, "Hydrogen fuel cell electric trains: Technologies, current status, and future," <i>Appl. Energy Combust.</i> 2024
5	Lithium-ion	55 kWh/m ³ pada 2008 menjadi 450 kWh/m ³	Hingga 3-5 tahun	Waktu sekitar 2-5 jam	Infrastruktur untuk stasiun pengisian daya baterai . Regulasi keselamatan udara terkait baterai lithium-ion untuk propulsi pesawat.	C. Chang and R. Wang, "Experimental investigation of thermal runaway behavior and inhibition strategies in large-capacity lithium iron phosphate (LiFePO ₄) batteries for electric vehicles," <i>Int. J. Electrochem.</i> 2024
6	Lithium-ion	350 V dengan Kap. 250 Ah.	Masa Pakai 3 Tahun	4 jam dari 0 hingga 100% .	Infrastruktur untuk Publik transport yang ramah lingkungan dan tidak ketergantungan terhadap bahan bakar fosil.	V. Selvaraj and I. Vairavasundaram, "Flyback converter employed non-dissipative cell equalization in electric vehicle lithium-ion batteries," <i>e-Prime - Adv. Electr. Eng. Electron. Energy</i> , 2023
7	LiFePO ₄	160 mAh/g-130 mAh/g	Retensi kapasitas >87% setelah 50 siklus.	Waktu 10 jam.	besar, terutama dengan pemanfaatan sumber geothermal dan air laut, tetapi memerlukan investasi awal dan penguatan infrastruktur penelitian.	M. Zhang and N. Garcia-Ararez, "Core-shell structured LiFePO ₄ /C nanocomposite battery material for lithium production from brines," <i>Electrochim. Acta</i> , 2024
8	LiFePO ₄	7,7 TWh	7,7 TWh per tahun	1.358-1.705 siklus	relevan bagi Indonesia, mengingat sektor pelayaran domestik menyumbang emisi GRK yang signifikan, khususnya dari kapal berbahan bakar fosil.	H. S. Moon, W. Y. Park, T. Hendrickson, A. Phadke, and N. Popovich, "Battery Electrification of U.S. Domestic Shipping," 2023
9	LiFePO ₄	kapasitas total 11,6 kWh	Kapasitas awal yang tersisa antara 60-80%.	Metode siklus arus konstan (CCC) pada arus tetap 1C.	Potensi penerapan baterai LiFePO ₄ di Indonesia sangat besar, terutama dalam konteks penggunaan kedua (second-life applications) setelah masa pakainya sebagai baterai kendaraan hibrida.	M. Amer, J. Masri, A. Dababat, U. Sajjad, and K. Hamid, "Electric vehicles: Battery technologies, charging standards, AI communications, challenges, and future directions," <i>Energy Convers. Manag.</i> 2024

No	Jenis Baterai	Kepadatan Energi	Daya Tahan	Charging	Perkembangan Indonesia	Daftar Pustaka
10	LiFePO4	: 170 mAh/g	Sekitar jam . 2-3	1.358-1.705 siklus.	Dapat digunakan untuk kendaraan listrik (EV) dan hybrid (HEV), mendukung transisi energi ramah lingkungan di Indonesia.	"Battery Energy - 2022 - Hadouchi - The origin of fast-charging lithium iron phosphate for batteries.pdf."
11	LiFePO4	12 V, 4Ah	sekitar jam . 2-3	0.5 sampai dengan 2A.	Mengeksplorasi kemampuan beradaptasi metodologi yang diusulkan untuk beragam bahan kimia baterai dan meningkatkan studi ke paket baterai yang lebih besar dapat memberikan wawasan berharga untuk aplikasi yang lebih luas di bidang sistem manajemen baterai untuk perkembangan industri energi dari baterai yang ada di Indonesia.	C. Mehta, A. V. Sant, and P. Sharma, "SVM-assisted ANN model with principal component analysis based dimensionality reduction for enhancing state-of-charge estimation in LiFePO4 batteries," <i>e-Prime - Adv. Electr. Eng. Electron. Energy</i> , 2024
12	LiFePO4	sekitar 90-160 Wh/kg,	2000 hingga 5000 siklus pengisian dan pengosongan	Arus maksimal 0.5C hingga 1C	Indonesia menunjukkan komitmen untuk mengembangkan dan memanfaatkan teknologi baterai LiFePO4 baik di sektor transportasi maupun energi terbarukan.	W. D. Toh, B. Xu, J. Jia, C. S. Chin, J. Chiew, and Z. Gao, "Lithium Iron Phosphate (LiFePO4) Battery Power System for Deepwater Emergency Operation," <i>Energy Procedia</i> , 2021
13	Nikel-Cadmium	100 hingga 200 Ampere-jam (Ah)	2000 hingga 5000 siklus pengisian dan pengosongan	10 hingga 20 jam.	Mengingat kondisi geografis dan iklim di Indonesia, di mana banyak daerah terpencil dan sulit dijangkau, penggunaan baterai Ni-Cd dapat menjadi pilihan yang baik. Daya tahan dan keandalan baterai Ni-Cd dalam kondisi lingkungan yang keras sangat sesuai untuk aplikasi di Indonesia.	S. Lansburg, J. M. Cocciantelli, and O. Vigerstol, "Performance of Ni-Cd batteries after five years of deployments in telecom networks worldwide," <i>INTELEC, Int. Telecommun. Energy Conf.</i> , 2022
14	Nikel-Cadmium	100 hingga 200 Ampere-jam (Ah)	2000 hingga 5000 siklus pengisian dan pengosongan	Proses pengisian dilakukan sesuai manual operasi.	Energi Terbarukan: Sistem penyimpanan energi berbasis baterai untuk pembangkit listrik tenaga surya atau angin.	D. Galushkin, Y. Astsaturov, and L. Tomilina, "A model describing the dependence of the capacity of nickel-cadmium batteries," <i>E3S Web Conf.</i> , 2023
15	Nikel-Cadmium	0.01275 kWh.	80% State of Charge (SOC) pada suhu 50°C siklus.	Membutuhkan sekitar 2 jam	Teknologi ini awalnya dirancang untuk aplikasi penerbangan. Indonesia dengan jaringan penerbangan yang luas dapat memanfaatkan teknologi ini untuk memastikan keandalan baterai cadangan dalam pesawat.	P. Kurzweil and W. Scheuerpflug, "State-of-charge monitoring and battery diagnosis of different lithium-ion chemistries using impedance spectroscopy," <i>Batteries</i> , 2021
16	Nikel-Cadmium	40-60 Wh/.	1000 siklus.	1,4 hingga 1,45 volt per sel,	Penggunaan NiCd pada tahun 1990-an dan awal 2000-an cukup luas, tetapi sejak 2010-an, penggunaan NiCd semakin terbatas akibat adanya baterai alternatif yang lebih unggul. Meskipun begitu, baterai NiCd masih digunakan dalam sektor tertentu yang membutuhkan ketahanan dan daya tahan di kondisi ekstrem.	K. Ramirez-Meyers, B. Rawn, and J. F. Whitacre, "A statistical assessment of the state-of-health of LiFePO4 cells harvested from a hybrid-electric vehicle battery pack," <i>J. Energy Storage</i> , 2023

No	Jenis Baterai	Kepadatan Energi	Daya Tahan	Charging	Perkembangan Indonesia	Daftar Pustaka
17	Nikel-Cadmium	40 hingga 60 Wh/kg.	Suhu yang digunakan selama pengujian.	8 jam.	Penekanan pada model baterai yang andal untuk berbagai aplikasi, termasuk kendaraan listrik dan sistem energi terbarukan, sangat relevan dengan minat yang berkembang di Indonesia.	N. N. Yazvinskaya, M. S. Lipkin, N. E. Galushkin, and D. N. Galushkin, "Dependence Study of Peukert's Statistical Equation Parameters on Temperature for Nickel-Cadmium Batteries," <i>Int. J. Electrochem.</i> , 2022
18	Nikel-Cadmium	kapasitas 14 Ah	Masa operasi dari 0 hingga 10 tahun.	Pengisian daya 3.8A saat ini	Pemanfaatan Hidrogen dalam perkembangan penggunaan baterai ini, pada pengisiannya, sekitar 7,8 Ah dihabiskan untuk penguraian H ₂ O	N. N. Yazvinskaya, N. E. Galushkin, D. N. Galushkin, and I. A. Galushkina, "Hydrogen amount estimation in electrodes of nickel-cadmium batteries depending on their operating life," <i>Int. J. Electrochem.</i> , 2021
19	Perak Oksida	300 Wh/kg.	25 siklus	Pelabuhan atau menggunakan generator	Dengan kepadatan energi yang tinggi dan daya tahan yang baik, baterai zinc-perak dapat diterapkan di Indonesia, terutama dalam konteks penyimpanan energi terbarukan, seperti solar dan angin	V. T. Nguyen, H. T. Nguyen, and N. H. Tran, "Synthesis of ZnO Nanorods and Its Application in Zinc-Silver Secondary Batteries," <i>Electrochem.</i> , 2023
20	Perak Oksida	130 hingga 200 Wh/kg,	daya tahan baterai hingga 10 jam.	Mendekati 5-6 jam.	Dengan populasi besar dan meningkatnya minat terhadap teknologi, baterai ini bisa diproduksi atau diimpor untuk mendukung perangkat elektronik kecil, robot edukasi, dan industri mainan pintar.	G. Caprari, K. O. Arras, and R. Siegwart, "The autonomous miniature robot Alice: From prototypes to applications," <i>IEEE Int. Conf. Intell. Robot. Syst.</i> , 2021
21	Perak Oksida	130-150 Wh/kg	bertahan 6 bulan - 1 tahun.	Tidak dapat diisi ulang	Baterai Perak Oksida memainkan peran penting dalam aplikasi kesehatan di Indonesia, terutama dalam perangkat medis yang memerlukan ukuran kecil, daya tahan lama, dan stabilitas tegangan.	V. Marassi <i>dkk.</i> , "Silver nanoparticles as a medical device in healthcare settings: A five-step approach for candidate screening of coating agents," <i>R. Soc.</i> 2021
22	Perak Oksida	1085 Wh/kg	216 siklus.	110 menit untuk mencapai potensi maksimum	Dengan kapasitas dan efisiensi yang tinggi dan Keunggulan dari desain sel yang dapat diskalakan dan modular juga mendukung penggunaan di berbagai skala, baik untuk aplikasi rumah tangga maupun industri.	"Energy Tech - 2023 - Genthe - Long-Term Performance of a Zinc Silver Air Hybrid Flow Battery with a.pdf."
23	Perak Oksida	1,8 W.h/kg	216 siklus.	Tegangan 100 mV offset 200 mV .	Penggunaan biochar menawarkan keuntungan lain bagi lingkungan: menggantikan bahan bakar fosil, mengurangi limbah dan menangkap karbon. Kualitas yang luar biasa ini memposisikan biochar sebagai kandidat yang menjanjikan untuk aplikasi penyimpanan energy	B. A. Bregadiolli <i>et al.</i> , "Synthesis of biochar and its metal oxide composites and application on next sustainable electrodes for energy storage devices," <i>Next Mater.</i> , 2025
24	Perak Oksida	300 Wh/kg	25 siklus.	Pelabuhan atau menggunakan generator	Dengan kepadatan energi yang tinggi dan daya tahan yang baik, baterai zinc-perak dapat diterapkan di Indonesia, terutama dalam konteks penyimpanan energi terbarukan, seperti solar dan angin	V. T. Nguyen, H. T. Nguyen, and N. H. Tran, "Synthesis of ZnO Nanorods and Its Application in Zinc-Silver Secondary Batteries," <i>Electrochem.</i> , 2023

Berdasarkan Tabel 5, masing-masing jenis baterai memiliki karakteristik dan potensi yang berbeda. Lithium-Ion dan LiFePO₄ menonjol karena kepadatan energi tinggi, daya tahan baik, dan efisiensi pengisian. Nikel-kadmium dan perak oksida masih digunakan dalam aplikasi khusus seperti perangkat medis, daerah terpencil, dan energi terbarukan. Pengembangan teknologi baterai di Indonesia sangat bergantung pada dukungan kebijakan, infrastruktur, dan pemanfaatan sumber daya lokal.



Gambar 5. Kepadatan Energi, Daya Tahan, Waktu Pengisian Baterai

Berdasarkan Pada Gambar 5, lithium-ion dan perak oksida memiliki kepadatan energi tinggi. Cocok untuk aplikasi yang membutuhkan perangkat ringan dan efisien, seperti kendaraan listrik atau perangkat portabel. LiFePO₄ menonjol dengan siklus hidup yang panjang dan stabilitas kapasitas, seperti penyimpanan energi di pembangkit listrik tenaga surya atau angin. Lithium-ion dan perak oksida memiliki waktu pengisian yang relatif singkat, penting untuk aplikasi dengan kebutuhan operasional cepat. LiFePO₄ bisa menjadi pilihan unggul, selain energi surya dan geothermal. LiFePO₄ lebih ramah lingkungan dibandingkan baterai seperti nikel-kadmium (Ni-Cd), yang berpotensi mencemari lingkungan.

3.5 Prospek Kedepan Baterai

Perkembangan teknologi baterai di Indonesia memiliki potensi besar untuk memimpin industri global, didukung sumber daya alam seperti nikel dan kobalt. Empat jenis baterai utama yang menonjol adalah lithium-ion (Li-ion), dengan kepadatan energi tinggi (100–250

Wh/kg) cocok untuk kendaraan listrik (EV) dan penyimpanan energi terbarukan, meski biaya produksinya masih tinggi (150–300 USD/unit). Lithium iron phosphate (LiFePO₄) menawarkan stabilitas dan umur siklus panjang (hingga 5.000 siklus), ideal untuk penyimpanan energi, namun dengan kepadatan energi lebih rendah (90–160 Wh/kg). Nikel-kadmium (NiCd) tahan di lingkungan ekstrem, tetapi penggunaan kadmium beracun membatasi penggunaannya. Perak oksida memiliki kepadatan energi tertinggi (130–300 Wh/kg), cocok untuk perangkat medis, meski biaya produksinya tinggi. Lithium-ion dan LiFePO₄ diproyeksikan menjadi tulang punggung industri EV dan energi terbarukan di Indonesia. Rekomendasi ke depan meliputi pengembangan baterai solid-state, peningkatan keamanan, dan pemanfaatan sumber daya lokal untuk mengurangi ketergantungan impor.

4. PENUTUP

Simpulan dan Saran

Pengembangan teknologi baterai berbasis nikel di Indonesia sangat relevan mengingat potensi sumber daya alam yang melimpah, terutama nikel dan kobalt. Baterai perak oksida menonjol dengan kepadatan energi tertinggi (hingga 300 Wh/kg), menjadikannya ideal untuk aplikasi kecil seperti perangkat medis, namun berpotensi dikembangkan untuk sistem penyimpanan energi skala besar. Dengan dukungan kebijakan, inovasi teknologi, dan kolaborasi internasional, Indonesia memiliki peluang besar untuk menjadi pemain utama dalam industri baterai global sekaligus mendukung transisi energi yang berkelanjutan. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengoptimalkan penggunaan baterai perak oksida dalam aplikasi yang lebih luas, serta mengembangkan teknologi baterai solid-state dan lithium-sulfur untuk meningkatkan kepadatan energi dan keamanan. Selain itu, pemerintah dan industri harus memprioritaskan pemanfaatan sumber daya lokal seperti nikel dan kobalt, serta membangun infrastruktur pengisian daya yang merata dan efisien untuk mendukung adopsi kendaraan listrik dan sistem penyimpanan energi terbarukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Antara News. (2023). Developments in Battery Technology in Indonesia. Diakses dari <https://www.antaranews.com>
- Amer, M., Masri, J., Dababat, A., Sajjad, U., & Hamid, K. (2024). Electric vehicles: Battery technologies, charging standards, AI communications, challenges, and future directions. *Energy Conversion and Management: X*, 24(10), 1–30. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2024.100751>

- Chang, C., & Wang, R. (2024). Experimental investigation of thermal runaway behaviour and inhibition strategies in large-capacity lithium iron phosphate (LiFePO₄) batteries for electric vehicles. *International Journal of Electrochemical Science*, 19(12), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.ijoes.2024.100877>
- Ding, D., & Wu, X. Y. (2024). Hydrogen fuel cell electric trains: Technologies, current status, and future. *Applications in Energy and Combustion Science*, 17(July 2023), 100255. <https://doi.org/10.1016/j.jaecs.2024.100255>
- Genthe, S., Arenas, L. F., Kunz, U., & Turek, T. (2023). Long-Term Performance of a Zinc–Silver/Air Hybrid Flow Battery with a Bifunctional Gas-Diffusion Electrode at High Current Density. *Energy Technology*, 11(9), 1–13. <https://doi.org/10.1002/ente.202300552>
- Hadouchi, M., Koketsu, T., Hu, Z., & Ma, J. (2022). The origin of fast-charging lithium iron phosphate for batteries. *Battery Energy*, 1(1), 1–19. <https://doi.org/10.1002/bte2.20210010>
- Kistner, L., Bensmann, A., & Hanke-Rauschenbach, R. (2024). Potentials and limitations of battery-electric container ship propulsion systems. *Energy Conversion and Management: X*, 21(10), 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2023.100507>
- Lansburg, S., Cocciantelli, J. M., & Vigerstol, O. (2022). Performance of Ni-Cd batteries after five years of deployments in telecom networks worldwide. *INTELEC, International Telecommunications Energy Conference (Proceedings)*, 16(2), 251–258. <https://doi.org/10.1109/INTLEC.2022.1048665>
- Marassi, V., Di Cristo, L., Smith, S. G. J., Ortelli, S., Blois, M., Costa, A. L., Reschiglian, P., Volkov, Y., & Prina-Mello, A. (2021). Silver nanoparticles as a medical device in healthcare settings: A five-step approach for candidate screening of coating agents. *Royal Society Open Science*, 5(1), 1–21. <https://doi.org/10.1098/rsos.171113>
- Nguyen, V. T., Nguyen, H. T., & Tran, N. H. (2023). Synthesis of ZnO Nanorods and Its Application in Zinc-Silver Secondary Batteries. *Electrochem*, 4(1), 70–83. <https://doi.org/10.3390/electrochem4010008>
- Oktavia Catsaros. (2023). *Lithium-Ion Battery Pack Prices Hit Record Low of \$139/kWh | BloombergNEF*. BloombergNEF. <https://about.bnef.com/blog/lithium-ion-battery-pack-prices-hit-record-low-of-139-kwh/>
- Olabi, A. G., Abbas, Q., Shinde, P. A., & Abdelkareem, M. A. (2023). Rechargeable batteries: Technological advancement, challenges, current and emerging applications. *Energy*, 266(2), 108. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.126408>
- Rahayu, Karmiadji, D. W., & Firman, L. O. M. (2023). Studi Kelayakan Jenis Baterai Kendaraan Listrik Roda Empat Dengan Metode Weigthed Objective Untuk Program Kendaraan Listrik Di Indonesia. *Teknobiz : Jurnal Ilmiah Program Studi Magister Teknik Mesin*, 13(2), 123–129. <https://doi.org/10.35814/teknobiz.v13i2.5292>

- Ramirez-Meyers, K., Rawn, B., & Whitacre, J. F. (2023). A statistical assessment of the state-of-health of LiFePO₄ cells harvested from a hybrid-electric vehicle battery pack. *Journal of Energy Storage*, 59(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.106472>
- Schmidt-Rohr, K. (2021). How Batteries Store and Release Energy: Explaining Basic Electrochemistry. *Journal of Chemical Education*, 95(10), 2101–2110. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00479>
- Vykhodtsev, A. V., Jang, D., Wang, Q., Zareipour, H., & Rosehart, W. D. (2021). A Review of Lithium-Ion Battery Models in Techno-economic Analyses of Power Systems. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112584>
- Yang, T. F., Chen, J. C., Yan, W. M., & Ghalambaz, M. (2020). Optimization of the zinc oxide reduction in the charging process of zinc-air flow batteries. *International Journal of Energy Research*, 44(11), 8399–8412. <https://doi.org/10.1002/er.5520>
- Yazvinskaya, N. N., Galushkin, N. E., Galushkin, D. N., & Galushkina, I. A. (2021). Hydrogen amount estimation in electrodes of nickel-cadmium batteries depending on their operating life. *International Journal of Electrochemical Science*, 11(9), 7843–7848. <https://doi.org/10.20964/2021.09.49>
- Global EV Outlook 2023: Accelerating ambitions despite the headwinds.* Diakses dari <https://www.iea.org>