

Kajian Perkembangan Teknologi Baterai pada Kendaraan Listrik Modern

Anggun Angkasa Bela Persada¹, Rudy Max Damara Gugat², Yayuk Suprihartini³, Hariyono Rakhmad⁴, Jeffrey Payung Langi⁵

¹Politeknik Negeri Banyuwangi

²Institut Transportasi dan Logistik Trisakti

³Politeknik Penerbangan Palembang

⁴Politeknik Negeri Jember

⁵Politeknik Negeri Ambon

E-mail: anggun@poliwangi.ac.id

* Corresponding Author

 <https://doi.org/10.31004/jerkin.v4i4.5790>

ARTICLE INFO

Article history

Received: 16 Maret 2026

Revised: 20 Maret 2026

Accepted: 30 Maret 2026

Kata Kunci:

teknologi baterai, kendaraan listrik, baterai lithium-ion

Keywords:

battery technology, electric vehicles, lithium-ion batteries



ABSTRACT

Perkembangan kendaraan listrik dalam beberapa dekade terakhir menjadi salah satu solusi penting dalam mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil serta menekan emisi gas rumah kaca yang berdampak pada perubahan iklim global. Salah satu komponen utama yang menentukan kinerja kendaraan listrik adalah teknologi baterai yang digunakan sebagai sumber energi utama. Oleh karena itu, perkembangan teknologi baterai menjadi faktor penting dalam meningkatkan efisiensi, keamanan, serta daya saing kendaraan listrik di masa depan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji perkembangan teknologi baterai pada kendaraan listrik modern melalui pendekatan studi literatur. Metode penelitian yang digunakan adalah metode studi literatur dengan mengkaji berbagai publikasi ilmiah yang relevan mengenai teknologi baterai kendaraan listrik, khususnya yang membahas perkembangan baterai lithium-ion dan teknologi baterai generasi baru. Proses penelitian dilakukan melalui tahapan penelusuran literatur, seleksi sumber yang relevan, analisis isi, serta sintesis hasil penelitian yang berkaitan dengan perkembangan teknologi baterai kendaraan listrik. Hasil kajian menunjukkan bahwa baterai lithium-ion saat ini masih menjadi teknologi baterai yang paling dominan digunakan pada kendaraan listrik karena memiliki densitas energi tinggi, efisiensi yang baik, serta bobot yang relatif ringan dibandingkan teknologi baterai sebelumnya seperti lead-acid dan nickel-metal hydride. Namun demikian, teknologi baterai lithium-ion masih menghadapi berbagai tantangan, seperti keterbatasan kapasitas energi, waktu pengisian daya yang relatif lama, degradasi baterai, serta potensi risiko keamanan seperti thermal runaway. Selain itu, berbagai penelitian juga menunjukkan adanya perkembangan teknologi baterai generasi berikutnya, seperti baterai solid-state yang memiliki potensi untuk meningkatkan kapasitas energi, keamanan, serta umur pakai baterai kendaraan listrik. Dengan demikian, perkembangan teknologi baterai diharapkan dapat mendukung peningkatan kinerja kendaraan listrik sekaligus mempercepat transisi menuju sistem transportasi yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

The development of electric vehicles in recent decades has become an important solution to reduce dependence on fossil fuels and minimize greenhouse gas emissions that contribute to global climate change. One of the main components that determines the performance of electric vehicles is battery technology, which functions as the primary energy source. Therefore, advancements in battery technology play a crucial role in improving the efficiency, safety, and competitiveness of electric vehicles in the future. This study aims to examine the development of battery technology in modern electric vehicles using a literature study approach. The research method employed is a literature review that analyzes various relevant scientific publications related to electric vehicle battery technology, particularly those discussing lithium-ion batteries and

emerging battery technologies. The research process involves several stages, including literature search, selection of relevant sources, content analysis, and synthesis of research findings related to the development of electric vehicle battery technologies. The results of the study indicate that lithium-ion batteries remain the most widely used battery technology in electric vehicles due to their high energy density, good efficiency, and relatively lighter weight compared to earlier battery technologies such as lead-acid and nickel-metal hydride batteries. However, lithium-ion batteries still face several challenges, including limited energy capacity, relatively long charging times, battery degradation over time, and safety risks such as thermal runaway. Furthermore, recent studies highlight the development of next-generation battery technologies, such as solid-state batteries, which have the potential to significantly improve energy density, safety, and battery lifespan in electric vehicles. Therefore, advancements in battery technology are expected to enhance the performance of electric vehicles and accelerate the transition toward a more environmentally friendly and sustainable transportation system.



This is an open access article under the CC-BY-SA license.

How to Cite: Anggun Angkasa Bela Persada et al (2026). Kajian Perkembangan Teknologi Baterai pada Kendaraan Listrik Modern <https://doi.org/10.31004/jerkin.v4i4.5790>

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi transportasi global dalam beberapa dekade terakhir mengalami perubahan yang sangat signifikan, terutama dengan meningkatnya perhatian terhadap isu lingkungan, efisiensi energi, dan keberlanjutan sumber daya (Fathoni et al., 2025). Sektor transportasi selama ini diketahui sebagai salah satu kontributor utama emisi gas rumah kaca yang berdampak pada perubahan iklim global (Kamakaula & Uria, 2025). Ketergantungan yang tinggi terhadap bahan bakar fosil mendorong berbagai negara dan industri otomotif untuk mengembangkan alternatif transportasi yang lebih ramah lingkungan (Nur et al., 2024). Dalam konteks ini, kendaraan listrik (electric vehicles/EV) menjadi salah satu solusi yang dianggap mampu mengurangi emisi karbon sekaligus meningkatkan efisiensi energi dalam sistem transportasi modern (Sabur et al., 2025). Namun, keberhasilan implementasi kendaraan listrik sangat bergantung pada perkembangan teknologi baterai yang digunakan sebagai sumber energi utama kendaraan tersebut (Simbolon et al., 2025). Baterai tidak hanya menentukan jarak tempuh kendaraan, tetapi juga mempengaruhi efisiensi, keamanan, biaya produksi, serta umur pakai kendaraan listrik secara keseluruhan (Manzetti & Mariasiu, 2015).

Teknologi baterai pada kendaraan listrik telah mengalami perkembangan yang cukup pesat sejak pertama kali digunakan dalam sistem transportasi listrik modern (Nur, Sabur, & Hasrul, 2025). Pada tahap awal pengembangannya, berbagai jenis baterai seperti lead-acid dan nickel-metal hydride (NiMH) pernah digunakan dalam kendaraan listrik (lidia Gultom et al., 2024). Namun, perkembangan teknologi kemudian beralih pada penggunaan baterai lithium-ion (Li-ion) yang saat ini menjadi teknologi baterai paling dominan dalam kendaraan listrik modern (Nur & Sabur, 2025). Baterai lithium-ion memiliki berbagai keunggulan, seperti densitas energi yang lebih tinggi, efisiensi pengisian yang lebih baik, serta bobot yang relatif lebih ringan dibandingkan teknologi baterai sebelumnya (Sagrim et al., 2025). Keunggulan tersebut menjadikan baterai lithium-ion sebagai komponen utama dalam pengembangan kendaraan listrik generasi terbaru (Miao et al., 2019). Selain itu, proses komersialisasi teknologi baterai lithium-ion juga terus berkembang seiring dengan meningkatnya permintaan kendaraan listrik di pasar global, yang mendorong inovasi dalam desain material, sistem manajemen baterai, serta peningkatan performa dan keamanan baterai (Nur, Sabur, Suprpto, et al., 2025).

Meskipun demikian, penggunaan baterai lithium-ion dalam kendaraan listrik masih menghadapi berbagai tantangan yang cukup kompleks. Tantangan tersebut meliputi keterbatasan kapasitas penyimpanan energi, waktu pengisian yang relatif lama, degradasi kinerja baterai seiring waktu, serta risiko keamanan seperti overheating dan thermal runaway (Palpaly et al., 2025). Selain itu, biaya produksi baterai yang masih cukup tinggi juga menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi harga kendaraan listrik di pasar global (Tambunan et al., 2025). Oleh karena itu, berbagai penelitian terus dilakukan untuk mengembangkan teknologi baterai yang lebih efisien, aman, dan ekonomis guna

mendukung percepatan adopsi kendaraan listrik secara luas (Marchenko & Putranto, 2025). Upaya pengembangan ini tidak hanya berfokus pada peningkatan kinerja baterai lithium-ion, tetapi juga pada eksplorasi teknologi baterai generasi berikutnya yang memiliki potensi performa lebih baik (Kamakaula, 2024).

Salah satu arah pengembangan teknologi baterai yang saat ini banyak mendapat perhatian adalah pengembangan baterai solid-state (Rosyydi et al., 2024). Teknologi baterai ini menggunakan elektrolit padat sebagai pengganti elektrolit cair yang umum digunakan pada baterai lithium-ion konvensional (Utoyo et al., 2025). Penggunaan elektrolit padat diyakini mampu meningkatkan tingkat keamanan baterai, meningkatkan densitas energi, serta mengurangi risiko kebakaran yang sering menjadi kekhawatiran dalam penggunaan baterai lithium-ion (Suprpto et al., 2024). Selain itu, baterai solid-state juga memiliki potensi untuk meningkatkan umur pakai baterai serta mempercepat proses pengisian daya kendaraan listrik (Sun, 2020). Namun demikian, teknologi ini masih menghadapi berbagai tantangan teknis, seperti stabilitas material, biaya produksi yang tinggi, serta kompleksitas proses manufaktur yang masih memerlukan pengembangan lebih lanjut sebelum dapat diimplementasikan secara luas dalam industri kendaraan listrik (Shah et al., 2024).

Selain aspek teknologi material baterai, perkembangan kendaraan listrik juga sangat dipengaruhi oleh sistem manajemen baterai atau Battery Management System (BMS) yang berfungsi untuk mengontrol kinerja baterai secara optimal (Fenetiruma & Kamakaula, 2023). Sistem ini berperan dalam memantau suhu, tegangan, dan arus baterai guna memastikan operasi baterai tetap berada dalam kondisi aman dan efisien (Sappaile et al., 2024). Pengembangan sistem manajemen baterai menjadi sangat penting karena dapat meningkatkan efisiensi penggunaan energi serta memperpanjang umur pakai baterai dalam kendaraan listrik (Zhao et al., 2022). Selain itu, isu keamanan baterai juga menjadi fokus utama dalam penelitian terkini, terutama terkait dengan risiko kegagalan baterai yang dapat menimbulkan bahaya bagi pengguna kendaraan listrik (Widaningsih & Putranto, 2025). Oleh karena itu, berbagai penelitian terbaru juga menekankan pentingnya pengembangan sistem keamanan baterai yang lebih canggih, baik pada baterai lithium-ion maupun pada teknologi baterai generasi berikutnya seperti solid-state battery (Yu et al., 2023).

Seiring dengan meningkatnya permintaan kendaraan listrik secara global, penelitian mengenai teknologi baterai terus mengalami perkembangan yang sangat dinamis (Priyatno et al., 2024). Berbagai inovasi terus dilakukan untuk meningkatkan densitas energi, mempercepat waktu pengisian, meningkatkan keamanan, serta menurunkan biaya produksi baterai (Sitompul et al., 2024). Perkembangan ini tidak hanya melibatkan penelitian pada tingkat material baterai, tetapi juga mencakup aspek desain sistem, manajemen energi, serta integrasi baterai dengan teknologi kendaraan listrik yang semakin canggih (Kamakaula, 2026). Hal ini menunjukkan bahwa teknologi baterai merupakan salah satu faktor kunci yang akan menentukan masa depan perkembangan kendaraan listrik di dunia (Sanguesa et al., 2021; Koech et al., 2024).

Meskipun berbagai penelitian telah membahas perkembangan teknologi baterai kendaraan listrik dari berbagai perspektif, sebagian besar penelitian masih berfokus pada aspek teknis tertentu, seperti material baterai, performa baterai lithium-ion, atau pengembangan teknologi solid-state secara terpisah (Sihotang & Sitompul, 2024). Kajian yang secara komprehensif mengintegrasikan perkembangan teknologi baterai kendaraan listrik dari berbagai generasi teknologi, mulai dari teknologi baterai konvensional hingga teknologi baterai masa depan, masih relatif terbatas (Subhaktiyasa et al., 2024). Oleh karena itu, penelitian ini berupaya mengisi kesenjangan penelitian (research gap) tersebut dengan melakukan kajian literatur yang lebih komprehensif mengenai perkembangan teknologi baterai pada kendaraan listrik modern (Putranto et al., 2025). Adapun kebaruan (novelty) dalam penelitian ini terletak pada upaya penyajian analisis yang terintegrasi mengenai evolusi teknologi baterai kendaraan listrik, meliputi perkembangan material baterai, sistem manajemen baterai, aspek keamanan, serta arah pengembangan teknologi baterai generasi berikutnya seperti solid-state battery (Iqbal et al., 2025). Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih menyeluruh mengenai perkembangan teknologi baterai serta kontribusinya terhadap masa depan kendaraan listrik modern.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur (literature review) yang bertujuan untuk mengkaji secara komprehensif perkembangan teknologi baterai pada kendaraan listrik modern berdasarkan berbagai sumber ilmiah yang relevan. Metode ini dilakukan dengan mengumpulkan, menelaah, serta menganalisis berbagai publikasi ilmiah yang berkaitan dengan topik penelitian. Adapun tahapan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Penentuan Topik dan Rumusan Masalah
Tahap pertama dilakukan dengan menentukan fokus penelitian yaitu perkembangan teknologi baterai pada kendaraan listrik modern. Pada tahap ini peneliti juga merumuskan masalah penelitian yang berkaitan dengan perkembangan teknologi baterai, jenis-jenis baterai yang digunakan pada kendaraan listrik, serta tantangan dan inovasi terbaru dalam teknologi baterai kendaraan listrik.
2. Penelusuran Sumber Literatur
Tahap kedua dilakukan dengan mencari dan mengumpulkan berbagai sumber literatur ilmiah yang relevan dengan topik penelitian. Penelusuran literatur dilakukan melalui basis data ilmiah seperti Google Scholar, ScienceDirect, MDPI, Wiley Online Library, dan jurnal internasional bereputasi lainnya. Literatur yang dipilih berupa artikel jurnal ilmiah, review paper, serta publikasi akademik yang membahas teknologi baterai kendaraan listrik.
3. Seleksi dan Kriteria Literatur
Pada tahap ini dilakukan proses penyaringan terhadap literatur yang telah dikumpulkan. Literatur dipilih berdasarkan beberapa kriteria, yaitu relevansi dengan topik penelitian, kredibilitas sumber publikasi, serta keterbaruan tahun publikasi. Artikel yang digunakan dalam penelitian ini merupakan publikasi ilmiah yang secara khusus membahas perkembangan teknologi baterai kendaraan listrik, termasuk baterai lithium-ion dan teknologi baterai generasi terbaru seperti solid-state battery.
4. Analisis dan Sintesis Literatur
Tahap selanjutnya adalah melakukan analisis terhadap literatur yang telah diseleksi. Analisis dilakukan dengan mengidentifikasi konsep utama, temuan penelitian, perkembangan teknologi, serta tantangan yang dihadapi dalam pengembangan baterai kendaraan listrik. Hasil analisis dari berbagai sumber kemudian disintesis untuk memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai perkembangan teknologi baterai kendaraan listrik.
5. Pengelompokan dan Interpretasi Data Literatur
Pada tahap ini, informasi yang diperoleh dari berbagai literatur diklasifikasikan berdasarkan tema tertentu, seperti perkembangan jenis baterai kendaraan listrik, karakteristik teknologi baterai, aspek keamanan baterai, serta inovasi teknologi baterai masa depan. Pengelompokan ini bertujuan untuk memudahkan interpretasi data serta menghasilkan pembahasan yang sistematis dan terstruktur.
6. Penarikan Kesimpulan
Tahap terakhir adalah menyusun kesimpulan berdasarkan hasil analisis literatur yang telah dilakukan. Kesimpulan penelitian disusun untuk memberikan gambaran mengenai perkembangan teknologi baterai pada kendaraan listrik modern serta arah pengembangan teknologi baterai di masa depan. Kesimpulan ini juga menjadi dasar dalam memberikan rekomendasi bagi penelitian selanjutnya terkait teknologi baterai kendaraan listrik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Berdasarkan hasil kajian literatur terhadap berbagai penelitian yang membahas perkembangan teknologi baterai pada kendaraan listrik modern, diperoleh beberapa temuan penting dari masing-masing penelitian yang relevan dengan topik penelitian ini. Hasil penelitian tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Penelitian Manzetti dan Mariasiu (2015)
Penelitian yang dilakukan oleh Manzetti dan Mariasiu (2015) mengkaji perkembangan teknologi baterai kendaraan listrik dari kondisi saat ini hingga sistem baterai masa depan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perkembangan baterai kendaraan listrik mengalami evolusi dari teknologi baterai konvensional seperti *lead-acid* dan *nickel-metal hydride* (NiMH) menuju

teknologi baterai *lithium-ion* yang memiliki densitas energi lebih tinggi dan efisiensi yang lebih baik. Penelitian ini juga menekankan bahwa peningkatan performa baterai, pengurangan biaya produksi, serta peningkatan keamanan menjadi faktor penting dalam mendukung pengembangan kendaraan listrik secara global. Selain itu, penelitian ini menunjukkan bahwa pengembangan teknologi baterai masa depan akan mengarah pada baterai dengan kapasitas energi lebih besar, masa pakai lebih panjang, serta sistem pengisian yang lebih cepat.

2. Penelitian Miao et al. (2019)

Miao et al. (2019) meneliti teknologi baterai lithium-ion yang saat ini banyak digunakan pada kendaraan listrik modern. Hasil penelitian menunjukkan bahwa baterai lithium-ion memiliki beberapa keunggulan utama, seperti densitas energi tinggi, efisiensi pengisian yang baik, serta bobot yang relatif ringan dibandingkan teknologi baterai sebelumnya. Penelitian ini juga menjelaskan bahwa perkembangan teknologi baterai lithium-ion terus mengalami peningkatan melalui inovasi pada material elektroda, elektrolit, serta desain sel baterai. Selain itu, penelitian ini mengidentifikasi berbagai peluang pengembangan teknologi baterai lithium-ion di masa depan, termasuk peningkatan kapasitas penyimpanan energi, pengurangan degradasi baterai, serta peningkatan efisiensi sistem pengisian daya.

3. Penelitian Deng et al. (2020)

Penelitian yang dilakukan oleh Deng et al. (2020) berfokus pada persyaratan dan tantangan yang dihadapi dalam pengembangan baterai kendaraan listrik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa baterai kendaraan listrik harus memenuhi berbagai persyaratan penting, seperti densitas energi tinggi, keamanan operasional, umur pakai yang panjang, serta biaya produksi yang kompetitif. Namun demikian, penelitian ini juga menemukan bahwa masih terdapat berbagai tantangan dalam pengembangan baterai kendaraan listrik, antara lain keterbatasan kapasitas energi, waktu pengisian daya yang relatif lama, serta risiko keamanan seperti *thermal runaway*. Oleh karena itu, penelitian ini menekankan pentingnya inovasi teknologi baterai untuk meningkatkan kinerja dan keamanan baterai kendaraan listrik.

4. Penelitian Zeng et al. (2019)

Zeng et al. (2019) meneliti proses komersialisasi teknologi baterai lithium pada kendaraan listrik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa baterai lithium-ion telah menjadi teknologi utama yang digunakan dalam industri kendaraan listrik karena memiliki performa yang lebih unggul dibandingkan teknologi baterai lainnya. Penelitian ini juga menjelaskan bahwa perkembangan industri baterai kendaraan listrik sangat dipengaruhi oleh inovasi pada material katoda, anoda, serta sistem elektrolit yang digunakan dalam baterai. Selain itu, penelitian ini menyoroti pentingnya pengembangan teknologi daur ulang baterai serta optimalisasi rantai pasok bahan baku baterai untuk mendukung keberlanjutan industri kendaraan listrik.

5. Penelitian Sun (2020)

Sun (2020) meneliti potensi pengembangan baterai *all-solid-state* sebagai teknologi baterai generasi masa depan untuk kendaraan listrik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa baterai solid-state memiliki potensi untuk meningkatkan densitas energi secara signifikan serta meningkatkan keamanan baterai karena menggunakan elektrolit padat yang lebih stabil dibandingkan elektrolit cair pada baterai lithium-ion konvensional. Selain itu, baterai solid-state juga berpotensi meningkatkan umur pakai baterai dan mengurangi risiko kebakaran. Namun demikian, penelitian ini juga menunjukkan bahwa teknologi baterai solid-state masih menghadapi berbagai tantangan dalam aspek produksi massal, stabilitas material, serta efisiensi manufaktur.

6. Penelitian Sanguesa et al. (2021)

Penelitian yang dilakukan oleh Sanguesa et al. (2021) mengkaji berbagai teknologi yang digunakan dalam kendaraan listrik serta tantangan yang dihadapi dalam pengembangannya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa teknologi baterai merupakan komponen paling penting dalam sistem kendaraan listrik karena menentukan jarak tempuh, performa kendaraan, serta efisiensi energi. Penelitian ini juga mengidentifikasi beberapa tantangan utama dalam pengembangan baterai kendaraan listrik, seperti keterbatasan kapasitas energi, biaya baterai yang tinggi, serta kebutuhan akan infrastruktur pengisian daya yang lebih luas.

7. Penelitian Zhao et al. (2022)

Zhao et al. (2022) meneliti integrasi teknologi baterai kendaraan listrik mulai dari material baterai hingga sistem manajemen baterai (*Battery Management System/BMS*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem manajemen baterai memiliki peran penting dalam meningkatkan efisiensi, keamanan, serta umur pakai baterai kendaraan listrik. Penelitian ini juga menjelaskan bahwa pengembangan teknologi baterai tidak hanya berfokus pada material baterai, tetapi juga pada sistem pengelolaan energi yang mampu mengoptimalkan kinerja baterai dalam berbagai kondisi operasional kendaraan.

8. Penelitian Yu et al. (2023)

Penelitian Yu et al. (2023) berfokus pada aspek keamanan baterai kendaraan listrik, khususnya terkait dengan perbandingan antara baterai lithium-ion dan baterai solid-state. Hasil penelitian menunjukkan bahwa baterai lithium-ion memiliki potensi risiko keselamatan seperti overheating dan *thermal runaway* yang dapat menyebabkan kebakaran atau kerusakan baterai. Oleh karena itu, penelitian ini menekankan pentingnya pengembangan teknologi baterai yang lebih aman, termasuk penggunaan material yang lebih stabil serta pengembangan sistem perlindungan baterai yang lebih canggih.

9. Penelitian Shah et al. (2024)

Shah et al. (2024) meneliti berbagai perkembangan serta tantangan dalam pengembangan baterai solid-state untuk kendaraan listrik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa baterai solid-state memiliki potensi besar untuk meningkatkan performa kendaraan listrik melalui peningkatan densitas energi dan keamanan baterai. Namun demikian, penelitian ini juga menemukan bahwa teknologi baterai solid-state masih menghadapi berbagai tantangan teknis, seperti masalah stabilitas antarmuka material, biaya produksi yang tinggi, serta keterbatasan dalam proses manufaktur skala besar.

10. Penelitian Koech et al. (2024)

Penelitian yang dilakukan oleh Koech et al. (2024) mengkaji berbagai peningkatan teknologi baterai kendaraan listrik yang telah dikembangkan dalam beberapa tahun terakhir. Hasil penelitian menunjukkan bahwa inovasi teknologi baterai terus berkembang melalui peningkatan material baterai, peningkatan sistem manajemen baterai, serta pengembangan teknologi baterai generasi baru. Penelitian ini juga menekankan bahwa pengembangan teknologi baterai yang lebih efisien, aman, dan berkelanjutan menjadi faktor kunci dalam mempercepat adopsi kendaraan listrik di masa depan.

Secara keseluruhan, hasil kajian literatur menunjukkan bahwa perkembangan teknologi baterai kendaraan listrik mengalami kemajuan yang sangat pesat, terutama pada teknologi baterai lithium-ion yang saat ini mendominasi industri kendaraan listrik. Selain itu, berbagai penelitian juga menunjukkan adanya upaya pengembangan teknologi baterai generasi berikutnya seperti baterai solid-state yang diharapkan mampu meningkatkan kapasitas energi, keamanan, serta efisiensi kendaraan listrik di masa mendatang.

Pembahasan

Perkembangan kendaraan listrik dalam beberapa dekade terakhir tidak dapat dilepaskan dari kemajuan teknologi baterai sebagai komponen utama penyimpan energi. Baterai merupakan elemen yang sangat menentukan kinerja kendaraan listrik, karena berpengaruh langsung terhadap jarak tempuh, efisiensi energi, biaya operasional, serta keamanan kendaraan. Seiring meningkatnya kebutuhan akan transportasi yang lebih ramah lingkungan, penelitian mengenai teknologi baterai kendaraan listrik terus mengalami perkembangan yang signifikan. Berbagai inovasi dilakukan untuk meningkatkan kapasitas penyimpanan energi, memperpanjang umur pakai baterai, serta meningkatkan efisiensi dan keamanan sistem baterai kendaraan listrik (Idelia & Putranto, 2025). Hal ini menunjukkan bahwa perkembangan teknologi baterai menjadi faktor strategis dalam mendukung transformasi sistem transportasi menuju penggunaan energi yang lebih berkelanjutan (Sanguesa et al., 2021).

Pada tahap awal perkembangan kendaraan listrik, berbagai jenis baterai telah digunakan sebagai sumber energi, seperti baterai *lead-acid* dan *nickel-metal hydride* (NiMH). Namun, kedua jenis baterai tersebut memiliki keterbatasan dalam hal densitas energi, berat baterai, serta efisiensi penyimpanan energi. Oleh karena itu, perkembangan teknologi baterai kemudian beralih pada penggunaan baterai lithium-ion yang memiliki karakteristik lebih unggul dibandingkan teknologi baterai sebelumnya. Baterai lithium-ion menawarkan densitas energi yang lebih tinggi, bobot yang lebih ringan, serta

efisiensi pengisian dan pelepasan energi yang lebih baik (Septiadi et al., 2025). Keunggulan tersebut menjadikan baterai lithium-ion sebagai teknologi baterai yang paling banyak digunakan dalam kendaraan listrik modern saat ini (Fitriyanti et al., 2025).

Dominasi baterai lithium-ion dalam industri kendaraan listrik juga didukung oleh berbagai inovasi teknologi yang terus dilakukan dalam beberapa tahun terakhir (Lestari et al., 2025). Pengembangan teknologi baterai lithium-ion tidak hanya berfokus pada peningkatan kapasitas energi, tetapi juga pada pengembangan material elektroda, elektrolit, serta desain sel baterai yang lebih efisien (Afnissa et al., 2025). Inovasi pada material katoda dan anoda, misalnya, mampu meningkatkan kinerja baterai sekaligus mengurangi degradasi kapasitas baterai selama penggunaan jangka panjang (Gyarani et al., 2025). Selain itu, penelitian juga menunjukkan bahwa pengembangan teknologi baterai lithium-ion memiliki potensi besar untuk meningkatkan efisiensi energi kendaraan listrik serta menurunkan biaya produksi baterai melalui optimalisasi proses manufaktur dan penggunaan material yang lebih efisien (Wahyuningtyas et al., 2025).

Meskipun baterai lithium-ion memiliki berbagai keunggulan, teknologi ini masih menghadapi sejumlah tantangan dalam implementasinya pada kendaraan listrik (Pardosi et al., 2024). Salah satu tantangan utama adalah keterbatasan kapasitas energi yang dapat mempengaruhi jarak tempuh kendaraan listrik. Selain itu, waktu pengisian baterai yang relatif lama dibandingkan pengisian bahan bakar kendaraan konvensional juga menjadi kendala dalam adopsi kendaraan listrik secara luas (Paramita et al., 2024). Tantangan lainnya adalah degradasi kinerja baterai seiring dengan penggunaan jangka panjang serta potensi risiko keamanan yang dapat muncul akibat kondisi overheating atau kegagalan sistem baterai. Oleh karena itu, penelitian mengenai pengembangan teknologi baterai kendaraan listrik terus dilakukan untuk mengatasi berbagai tantangan tersebut (Deng et al., 2020).

Selain peningkatan performa baterai, aspek komersialisasi teknologi baterai juga menjadi faktor penting dalam pengembangan kendaraan listrik. Proses komersialisasi baterai lithium-ion sangat dipengaruhi oleh ketersediaan bahan baku, teknologi produksi, serta efisiensi rantai pasok industri baterai. Penelitian menunjukkan bahwa peningkatan produksi baterai dalam skala besar dapat menurunkan biaya produksi baterai secara signifikan, sehingga dapat meningkatkan daya saing kendaraan listrik di pasar global. Selain itu, pengembangan teknologi daur ulang baterai juga menjadi isu penting dalam mendukung keberlanjutan industri kendaraan listrik, karena dapat mengurangi ketergantungan terhadap sumber daya alam yang terbatas serta mengurangi dampak lingkungan dari limbah baterai (Zeng et al., 2019).

Selain teknologi baterai lithium-ion, berbagai penelitian juga mulai mengembangkan teknologi baterai generasi berikutnya yang memiliki potensi performa lebih tinggi. Salah satu teknologi yang saat ini banyak dikembangkan adalah baterai *all-solid-state*. Teknologi baterai ini menggunakan elektrolit padat sebagai pengganti elektrolit cair yang digunakan pada baterai lithium-ion konvensional. Penggunaan elektrolit padat memberikan sejumlah keunggulan, antara lain meningkatkan densitas energi, meningkatkan stabilitas baterai, serta mengurangi risiko kebakaran yang sering terjadi pada baterai dengan elektrolit cair. Dengan keunggulan tersebut, baterai solid-state dipandang sebagai salah satu solusi potensial untuk meningkatkan performa kendaraan listrik di masa depan (Sun, 2020).

Namun demikian, pengembangan teknologi baterai solid-state masih menghadapi berbagai tantangan teknis yang cukup kompleks. Salah satu tantangan utama adalah stabilitas antarmuka antara elektrolit padat dan elektroda baterai yang masih memerlukan pengembangan lebih lanjut. Selain itu, proses manufaktur baterai solid-state juga masih menghadapi berbagai kendala dalam hal biaya produksi dan efisiensi proses produksi dalam skala industri (Bintoro et al., 2024). Oleh karena itu, berbagai penelitian masih terus dilakukan untuk meningkatkan stabilitas material serta mengoptimalkan proses produksi baterai solid-state agar dapat diimplementasikan secara luas dalam industri kendaraan listrik (Shah et al., 2024).

Di samping perkembangan teknologi material baterai, sistem manajemen baterai atau *Battery Management System* (BMS) juga memiliki peran yang sangat penting dalam meningkatkan efisiensi dan keamanan penggunaan baterai kendaraan listrik. Sistem ini berfungsi untuk memantau kondisi baterai secara real-time, termasuk suhu, tegangan, dan arus listrik yang mengalir dalam baterai (Sabur et al., 2024). Dengan adanya sistem manajemen baterai yang canggih, kinerja baterai dapat dioptimalkan sehingga mampu meningkatkan umur pakai baterai serta mengurangi risiko kegagalan sistem baterai.

Selain itu, pengembangan teknologi BMS juga memungkinkan pengelolaan energi yang lebih efisien dalam kendaraan listrik (Zhao et al., 2022).

Aspek keamanan baterai juga menjadi salah satu fokus utama dalam penelitian mengenai teknologi baterai kendaraan listrik. Risiko keamanan seperti *thermal runaway* dapat menyebabkan kegagalan baterai yang berpotensi menimbulkan kebakaran atau kerusakan kendaraan. Oleh karena itu, berbagai penelitian telah mengkaji berbagai pendekatan untuk meningkatkan keamanan baterai, baik melalui pengembangan material baterai yang lebih stabil maupun melalui penerapan sistem perlindungan baterai yang lebih canggih. Penelitian terbaru juga menunjukkan bahwa teknologi baterai solid-state memiliki potensi untuk meningkatkan keamanan baterai karena memiliki stabilitas termal yang lebih baik dibandingkan baterai lithium-ion konvensional (Yu et al., 2023).

Secara keseluruhan, perkembangan teknologi baterai kendaraan listrik menunjukkan tren yang sangat positif dalam beberapa tahun terakhir. Berbagai inovasi teknologi terus dilakukan untuk meningkatkan kapasitas energi, mempercepat waktu pengisian, meningkatkan keamanan baterai, serta menurunkan biaya produksi baterai. Inovasi tersebut tidak hanya mencakup pengembangan material baterai, tetapi juga mencakup sistem manajemen baterai, teknologi manufaktur, serta integrasi baterai dengan sistem kendaraan listrik yang semakin canggih. Dengan adanya berbagai inovasi tersebut, teknologi baterai kendaraan listrik diperkirakan akan terus berkembang dan memainkan peran penting dalam mendukung transisi menuju sistem transportasi yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan di masa depan (Koech et al., 2024).

SIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian literatur yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa perkembangan teknologi baterai pada kendaraan listrik modern mengalami kemajuan yang sangat pesat dan menjadi faktor utama dalam meningkatkan kinerja serta efisiensi kendaraan listrik. Baterai lithium-ion saat ini masih menjadi teknologi yang paling dominan digunakan karena memiliki densitas energi tinggi, efisiensi yang baik, serta bobot yang relatif ringan dibandingkan teknologi baterai sebelumnya. Meskipun demikian, teknologi ini masih menghadapi berbagai tantangan seperti keterbatasan kapasitas energi, waktu pengisian daya, degradasi baterai, serta aspek keamanan. Oleh karena itu, berbagai penelitian terus dikembangkan untuk meningkatkan performa baterai, termasuk melalui inovasi material, pengembangan sistem manajemen baterai, serta pengembangan teknologi baterai generasi baru seperti baterai solid-state yang memiliki potensi meningkatkan kapasitas energi dan keamanan baterai di masa depan.

Berdasarkan hasil penelitian ini, disarankan agar penelitian selanjutnya dapat melakukan kajian yang lebih mendalam mengenai pengembangan teknologi baterai generasi terbaru, khususnya terkait dengan implementasi baterai solid-state dalam kendaraan listrik. Selain itu, penelitian lanjutan juga diharapkan dapat mengkaji aspek keberlanjutan teknologi baterai, seperti pengelolaan limbah baterai, proses daur ulang, serta efisiensi penggunaan sumber daya material baterai guna mendukung pengembangan kendaraan listrik yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam penyusunan penelitian ini, baik dalam bentuk referensi ilmiah, masukan akademik, maupun dukungan moral sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada para peneliti yang karyanya menjadi sumber rujukan penting dalam kajian ini. Semoga penelitian ini dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang teknologi baterai kendaraan listrik.

DAFTAR PUSTAKA

- Afnissa, D. D., Amarilis, P. K., Renova, V. D., & Putranto, A. (2025). Analisis kegagalan strategi kampanye Ridwan Kamil-Suswono dalam Pilkada 2024. *Jurnal Indonesia: Manajemen Informatika Dan Komunikasi*, 6(1), 632–642.
- Bintoro, M. F., Nur, M., & Sabur, F. (2024). Rancangan Alat Penunjang Pratikum Safetying Mata Kuliah Aircraft Hardware. *JAMETS: Journal of Aircraft Maintenance Engineering & Aviation*

Technologies, 3(1), 20–28.

- Fathoni, M., Hutauruk, T. L., Widiastuti, S., Rahardian, R. L., Syahputra, M., & Sabur, F. (2025). Pengembangan Aplikasi Mobile Berbasis Android untuk Monitoring Kesehatan Menggunakan Sensor IoT. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Dan Riset Pendidikan*, 4(2), 12070–12075.
- Fenetiruma, O. A., & Kamakaula, Y. (2023). Ecological and Cultural Balance in Traditional Agriculture: An Environmental Anthropological Approach. *Global International Journal of Innovative Research*, 1(2), 68–77.
- Fitriyanti, N., Puspitasari, R., Jasmine, T., & Putranto, A. (2025). Strategi Komunikasi Politik Digital Tri Andhianto dan Abdul Haris Bobihoe dalam Pilkada Bekasi 2024. *Jurnal Indonesia: Manajemen Informatika Dan Komunikasi*, 6(1), 652–662.
- Gyarani, A., Rifqi, J., & Putranto, A. (2025). Peranan Komunikasi Publik pada Partai Pengusung Pilkada 2024 Kabupaten Bogor (Studi Terhadap Pasangan No 1 Rudy Susmanto dan Ade Ruhandi). *Jurnal Indonesia: Manajemen Informatika Dan Komunikasi*, 6(1), 706–718.
- Idelia, R. T., & Putranto, A. (2025). Dramaturgi Personal Branding Andika-Hendrar dalam Membangun Citra Politik Melalui Instagram (Studi Kasus Kontestasi Calon Pilgub Jateng 2024). *Jurnal Indonesia: Manajemen Informatika Dan Komunikasi*, 6(1), 750–759.
- Iqbal, I. A., Putriesli, L., Salsabila, N., & Putranto, A. (2025). Analisis Kemenangan Pasangan Calon Andra Soni Dan Dimiyati Natakusumah Dalam Pilgub Banten 2024. *Jurnal Indonesia: Manajemen Informatika Dan Komunikasi (JIMIK)*, 6(1), 819–829.
- Kamakaula, Y. (2024). Sustainable agriculture practices: Economic, ecological, and social approaches to enhance farmer welfare and environmental sustainability. *West Science Nature and Technology*, 2(02), 47–54.
- Kamakaula, Y. (2026). Ethnoecology-Based Traditional Agricultural Systems as a Strategy for Sustainable Agricultural Development. *MSJ: Majority Science Journal*, 4(1), 107–115.
- Kamakaula, Y., & Uria, D. (2025). Sistem Pertanian Ladang Berpindah Dalam Perspektif Etnoekologi. *Hidroponik: Jurnal Ilmu Pertanian Dan Teknologi Dalam Ilmu Tanaman*, 2(1), 294–308.
- Lestari, A. S. B., Heriani, N., Munawar, T. K. M., & Putranto, A. (2025). Analisis Peran Generasi Z Dalam Kemenangan Pasangan Calon Dedi Mulyadi Dan Erwana Setiawan Pada Pilgub Jawa Barat 2024. *Jurnal Indonesia: Manajemen Informatika Dan Komunikasi*, 6(1), 643–651.
- lidia Gultom, L., Siagian, M. V. S. E., Sitompul, P., Tarigan, I., & Sianturi, R. F. (2024). LITERATURE REVIEW: PERENCANAAN SUMBER DAYA MANUSIA PADA ERA GLOBALISASI INDUSTRI 4.0. *Prosiding Konferensi Nasional Pengabdian Kepada Masyarakat Dan Corporate Social Responsibility (PKM-CSR)*, 7.
- Marchenko, V., & Putranto, A. (2025). The Opportunities and Challenges of Influencers Collaboration in Modern Public Relations Communication. *Communicology: Jurnal Ilmu Komunikasi*, 13(2), 268–282.
- Nur, M., & Sabur, F. (2025). Development of Teaching Materials and Harmonized Semester Learning Plan for the Aircraft Basic Workshop Theory Course through Learner-Centered Instructional Design in Indonesian Aviation Polytechnics. *Journal La Edusci*, 6(2), 284–307.
- Nur, M., Sabur, F., & Anam, K. (2024). DESIGN AND DEVELOPMENT OF AN AIRCRAFT PARKING DETECTOR (BLOCK ON/OFF) TO DETERMINE THE USAGE TIME OF PARKING STANDS AT PT. ANGKASA PURA I JUANDA SURABAYA. *Proceeding of International Conference of Advanced Transportation, Engineering, and Applied Social Science*, 3(1), 681–684.
- Nur, M., Sabur, F., & Hasrul, M. R. (2025). Development of Teaching Model for Testing Service Quality and Airport Passenger Satisfaction at Aviation Polytechnic. *IJORER: International Journal of Recent Educational Research*, 6(4), 976–986.
- Nur, M., Sabur, F., Suprpto, Y., Djunaedi, D., & Sukarman, S. (2025). Interactive Learning Module Development Design for Electronic and Digital Engineering at Aviation Polytechnic. *Letters in Information Technology Education (LITE)*, 8(1), 19–24.
- Palpialy, J. V., Sabur, F., & Kona, M. (2025). The Impact of Training and Teaching Experience on Instructor Professionalism at Jayapura Aviation Polytechnic. *Journal of Innovation in Educational and Cultural Research*, 6(3), 627–634.
- Paramita, P. E., Julianos, J., Fayola, A. D., Sabur, F., & Husain, D. L. (2024). Utilization of Virtual

- Reality (VR) in Developing Interactive Learning Experiences. *Al-Fikrah: Jurnal Manajemen Pendidikan*, 12(1), 136–148.
- Pardosi, V. B. A., Xu, S., Umurohmi, U., Nurdiana, N., & Sabur, F. (2024). Implementation of an artificial intelligence based learning management system for adaptive learning. *Al-Fikrah: Jurnal Manajemen Pendidikan*, 12(1), 149–161.
- Priyatno, D., Wardhani, R., Cheriani, C., Alfredo, Y. F., & Sabur, F. (2024). Support Student Engagement through Technology-Based Collaborative Platforms. *Journal International of Lingua and Technology*, 3(2), 298–312.
- Putranto, A., Gandariani, T., Siregar, Y. A., & Khaerudin, R. B. (2025). Keterkaitan Tingkat Literasi Digital dan Kemampuan Berpikir Kritis di Kalangan Mahasiswa Era Society 5.0: Penelitian. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Dan Riset Pendidikan*, 4(1), 2532–2539.
- Rossydi, A., Rifai, M., Suhanto, S., Sukarwoto, S., & Sabur, F. (2024). Pelatihan Penulisan Karya Tulis Ilmiah untuk Mahasiswa dan Dosen. *Jurnal Abdimas Adpi Sosial Dan Humaniora*, 5(4), 63–70.
- Sabur, F., Wiguna, A. G. S., & Multazam, M. A. (2025). KAJIAN FAKTOR PENYEBAB KETIDAKSESUAIAN DATA PUBLIKASI DI PIA WILAYAH JAKARTA: STUDI KASUS TAHUN 2024. *Jurnal Inovasi Akuntansi Dan Manajemen Bisnis*, 9(3).
- Sabur, F., Yahya, M., Muis, A., & Nur, M. (2024). Analysis of Distance and Travel Time Calculations in the Implementation of Non-Directional Beacon Courses. *European Journal of Engineering and Technology Research*, 9(3), 8–15.
- Sagrim, M., Iyai, D. A., Runtuboi, Y., Kamakaula, Y., Koibur, J., Sawen, D., Salosa, Y., Pakage, S., Senis, Y., & Runtuboi, F. (2025). Indigenous Agricultural Practices: Sweet Potato Cultivation Among the Arfak Tribe in Gueintuy, West Papua. *International Journal of Advanced Technology and Social Sciences*, 3(5), 617–630.
- Sappaile, B. I., Siminto, S., Sefrizal, L., Tarigan, J. R., Roswati, R., & Sabur, F. (2024). Teaching through Flipping Classrooms a new innovation at Higher Education in Indonesia. *Journal International of Lingua and Technology*, 3(2), 409–424.
- Septiadi, F. R., Mahmudi, I. D., Rachdical, M. S., & Putranto, A. (2025). Analisis Kegagalan Pasangan Calon Husain Alting Sjah dan Asrul Rasyid pada Pilgub Malut 2024. *JURNAL INDONESIA: MANAJEMEN INFORMATIKA DAN KOMUNIKASI Упередителю: Lembaga KITA*, 6(1), 677–687.
- Sihotang, H., & Sitompul, P. (2024). PENGARUH EMPLOYER BRANDING DAN WORK LIFE BALANCE TERHADAP TURNOVER INTENTION PADA GENERASI Z DI KOTA MEDAN: JOB SATISFACTION SEBAGAI VARIABEL INTERVENING. *Jurnal Manajemen Dan Bisnis*, 271–284.
- Simbolon, O. J., Sitompul, P., Tarigan, M. I. B., Sitanggang, L., & Sirait, R. (2025). Implementasi Sistem Pendukung Keputusan Berbasis Metode Simple Additive Weighting untuk Rekrutmen Sumber Daya Manusia. *Jurnal Akuntansi, Manajemen Dan Ilmu Ekonomi (Jasmien)*, 5(04), 688–699.
- Sitompul, P., Tarigan, M. I., & Tarigan, I. (2024). PENINGKATAN PENGETAHUAN DAN KETERAMPILAN DOSEN MELALUI PELATIHAN PENULISAN PROPOSAL PENELITIAN DOSEN BERSAMA. *KAIZEN: JURNAL PENGABDIAN PADA MASYARAKAT*, 44–54.
- Subhaktiyasa, P. G., Sabur, F., Faisal, A., Hartini, H., & Wahyudin, Y. (2024). *Kewirausahaan: Membangun Jiwa Entrepreneurship Sejak Dini*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
- Suprpto, Y., Suryono, W., & Sabur, F. (2024). TRANSMISI MULTICAST DATA RADAR PADANG–PEKANBARU SEBAGAI MEDIA PEMBELAJARAN DI POLTEKBANG SURABAYA. *Journal of Public Transportation Community*, 4(1), 35–47.
- Tambunan, P. H., Silalahi, D., Tarigan, M. I., Tarigan, I., & Sitompul, P. (2025). PENGARUH KUALITAS PELAYANAN, HARGA DAN FASILITAS TERHADAP KEPUASAN PASIEN RAWAT JALAN PADA RUMAH SAKIT IMELDA. *Jurnal Manajemen Dan Bisnis*, 13–19.
- Utoyo, A. W., Setiawan, K., Razali, G., & Putranto, A. (2025). The Digital Kampung: The Role of Mediated Communication in Indonesia’s Online Community Dynamics. *Open Society Conference*, 3, 498–503.
- Wahyuningtyas, A., Ramadhan, M. W., Suprihono, M. B., & Putranto, A. (2025). Efektivitas strategi kampanye pasangan Sherly Laos-Sarbin Sehe di Pilgub Maluku Utara: Kajian media, taktik, dan

- mobilisasi massa. *Jurnal Indonesia: Manajemen Informatika Dan Komunikasi*, 6(1), 610–621.
- Widaningsih, T. T., & Putranto, A. (2025). Digital tourism communication: effects of influencer credibility, content quality, and e-WoM on emotions, FoMO, self-identification, and visit intentions of Gen Z travelers. *Frontiers in Communication*, 10, 1717937.
- Manzetti, S., & Mariasiu, F. (2015). Electric vehicle battery technologies: From present state to future systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 1004–1012.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115006577>
- Miao, Y., Hynan, P., Von Jouanne, A., & Yokochi, A. (2019). Current Li-ion battery technologies in electric vehicles and opportunities for advancements. *Energies*, 12(6), 1074.
<https://www.mdpi.com/1996-1073/12/6/1074>
- Deng, J., Bae, C., Denlinger, A., & Miller, T. (2020). Electric vehicles batteries: Requirements and challenges. *Joule*, 4(3), 511–515.
[https://www.cell.com/joule/fulltext/S2542-4351\(20\)30043-X](https://www.cell.com/joule/fulltext/S2542-4351(20)30043-X)
- Zeng, X., Li, M., Abd El-Hady, D., Alshitari, W., Al-Bogami, A., Lu, J., & Amine, K. (2019). Commercialization of lithium battery technologies for electric vehicles. *Advanced Energy Materials*, 9(27).
<https://advanced.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/aenm.201900161>
- Sun, Y. K. (2020). Promising all-solid-state batteries for future electric vehicles. *ACS Energy Letters*, 5(10), 3221–3223.
<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acseenergylett.0c01977>
- Sanguesa, J. A., Torres-Sanz, V., Garrido, P., Martinez, F. J., & Marquez-Barja, J. M. (2021). A review on electric vehicles: Technologies and challenges. *Smart Cities*, 4(1), 372–404.
<https://www.mdpi.com/2624-6511/4/1/22>
- Zhao, G., Wang, X., & Negnevitsky, M. (2022). Connecting battery technologies for electric vehicles from battery materials to management. *iScience*, 25(1).
[https://www.cell.com/iscience/fulltext/S2589-0042\(22\)00014-1](https://www.cell.com/iscience/fulltext/S2589-0042(22)00014-1)
- Yu, X., Chen, R., Gan, L., Li, H., & Chen, L. (2023). Battery safety: From lithium-ion to solid-state batteries. *Engineering*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095809922006282>
- Shah, R., Mittal, V., & Precilla, A. M. (2024). Challenges and advancements in all-solid-state battery technology for electric vehicles. *J.*
<https://www.mdpi.com/2571-8800/7/3/12>
- Koeh, A. K., Mwandila, G., & Mulolani, F. (2024). A review of improvements on electric vehicle battery. *Heliyon*.
[https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(24\)10837-7](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(24)10837-7)