

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Harga Baterai Kendaraan Listrik

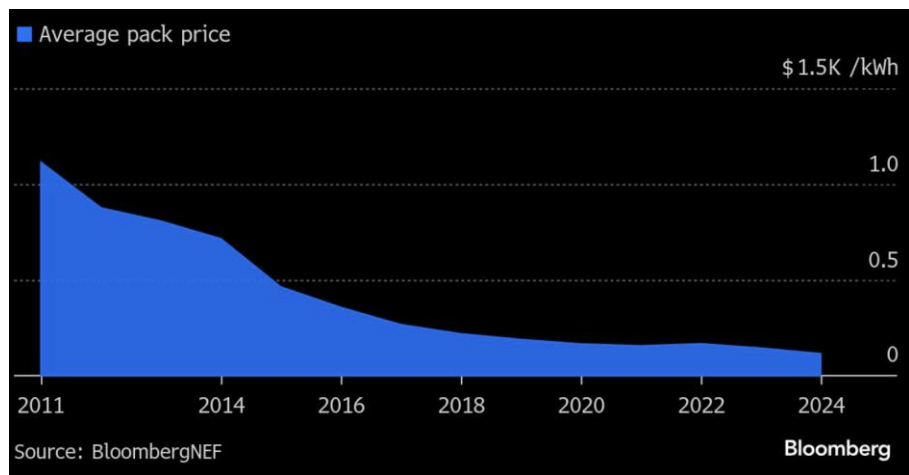
Baterai kendaraan listrik merupakan komponen paling mahal dan kritikal dalam sebuah kendaraan listrik, dengan kontribusi 30–40% terhadap total biaya produksi [4]. Oleh karena itu, inovasi teknologi baterai memiliki peran strategis dalam meningkatkan adopsi kendaraan listrik di berbagai negara, termasuk Indonesia. Baterai kendaraan listrik merupakan komponen kunci yang menentukan kinerja, jarak tempuh, biaya, dan umur pakai kendaraan. Secara umum, baterai kendaraan listrik berbasis teknologi lithium-ion memiliki sejumlah parameter teknis utama yang menjadi acuan dalam desain dan pemilihan teknologi, di antaranya kapasitas energi, densitas energi, densitas daya, efisiensi, siklus hidup (*cycle life*), kedalaman pengosongan (*Depth of Discharge*, DoD), *self-discharge rate*, tegangan nominal, rentang temperatur operasi, serta waktu pengisian. *Kilowatt-hour* (kWh) adalah unit pengukuran yang biasanya digunakan untuk menggambarkan total energi yang dapat disimpan dan digunakan oleh kendaraan. Kapasitas baterai menentukan jarak tempuh, dan baterai berkapasitas 60–100 kWh biasanya dapat menjalankan hingga 300–500 km (tergantung pada kendaraan dan kinerjanya). Densitas energi, yang ditunjukkan dalam watt-jam per kilogram (Wh/kg) atau watt-jam per liter (Wh/L), menunjukkan jumlah energi yang dapat disimpan dalam satuan massa atau volume. Parameter ini sangat penting untuk menyeimbangkan bobot kendaraan dan kapasitas energi yang dibawa.

Salah satu biaya terbesar dalam produksi kendaraan listrik (EV) adalah harga baterai. Menurut laporan *Bloomberg New Energy Finance* [4], biaya baterai dapat menyumbang sekitar 30–40% dari total harga kendaraan listrik. Hal ini menjadikan harga baterai sebagai faktor penentu utama dalam keterjangkauan EV di pasar global. [28] menegaskan bahwa penurunan harga baterai dalam dekade terakhir—yang didorong oleh kemajuan teknologi sel *lithium-ion*, skala produksi yang meningkat, serta efisiensi rantai pasok—telah secara signifikan mempercepat penetrasi EV di

pasar internasional. Dengan kata lain, tren penurunan harga baterai menjadi salah satu kunci tercapainya target adopsi EV secara masif. Penurunan harga baterai secara global terbukti berkontribusi terhadap peningkatan penetrasi kendaraan listrik [33]; [28]. Dalam konteks ekonomi perilaku, harga dipersepsikan sebagai bentuk pengorbanan finansial yang memengaruhi evaluasi nilai konsumen (Zeithaml, 1988). Biaya ini umumnya diukur dalam satuan dolar Amerika Serikat per kilowatt-jam (\$/kWh) dan mencakup seluruh tahapan mulai dari pembuatan sel hingga perakitan baterai menjadi suatu paket lengkap (*pack*). Dalam praktiknya, pelaporan biaya sering dibedakan antara level sel (*cell cost*) dan level paket (*pack cost*), di mana biaya di level sel hanya mencakup material aktif seperti katoda, anoda, elektrolit, separator, dan casing, sedangkan biaya di level paket meliputi tambahan komponen seperti *Battery Management System* (BMS), sistem pendingin atau pemanas (*thermal management*), struktur mekanik, dan konektor kelistrikan. Pada dekade 2010-an, harga baterai *lithium-ion* masih berada di kisaran USD 1.000 per kWh, namun berkat skala ekonomi dan kemajuan teknologi, harga ini turun drastis menjadi sekitar USD 130 per kWh pada tahun 2022 [4]. Penurunan harga ini menjadi faktor utama yang mempercepat adopsi EV di seluruh dunia.

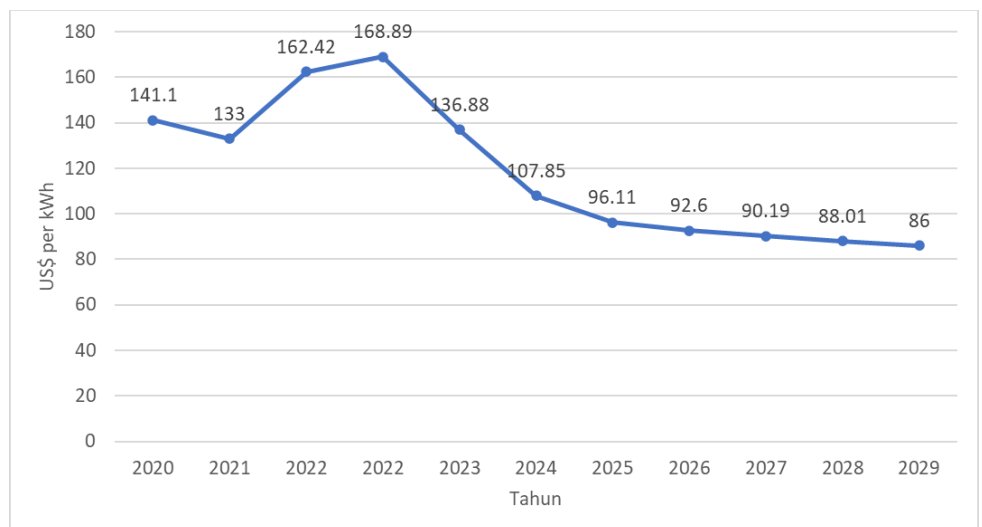
Studi terbaru menunjukkan bahwa biaya awal, atau biaya awal, masih menjadi penghalang utama bagi negara berkembang untuk mengadopsi EV [39]. [7] mengatakan bahwa keterjangkauan harga sangat penting untuk mendorong adopsi EV di Indonesia, terutama di awal transisi teknologi. Hal ini menunjukkan bahwa selain berdampak langsung pada keputusan pembelian pelanggan, harga baterai juga berdampak pada persepsi dan minat pelanggan.

Gejolak di pasar logam baterai menyebabkan biaya paket baterai Li-ion meningkat untuk pertama kalinya pada tahun 2022, dengan harga naik hingga 7% lebih tinggi dibandingkan tahun 2021. Namun, harga semua logam baterai utama turun selama tahun 2023, dengan harga kobalt, grafit, dan mangan turun hingga lebih rendah dari rata-rata harga tahun 2015-2020 pada akhir tahun 2023. Hal ini menyebabkan penurunan harga paket baterai hampir 14% antara tahun 2023 dan 2022, meskipun harga litium karbonat pada akhir tahun 2023 masih sekitar 50% lebih tinggi dibandingkan rata-rata harga tahun 2015-2020. Tahun terakhir harga baterai mengalami penurunan harga serupa adalah tahun 2020.



Gambar 2.1 Pergerakan Rata-rata Harga Baterai Kendaraan Listrik

Menurut Goldman Sachs, harga baterai kendaraan listrik (EV) rata-rata di seluruh dunia adalah US\$141,1 per *kilowatt-hour* (kWh) pada 2020. Harganya kemudian naik lagi sampai 2023, tetapi diproyeksikan akan turun lagi mulai 2024 hingga mencapai US\$86 per kilowatt-hour (kWh) pada 2030.



Gambar 2.2 Proyeksi Harga Baterai Kendaraan Listrik Global Rata-rata (2020–2030). Sumber: databoks

Struktur biaya produksi baterai EV dapat dianalisis secara hierarkis mulai dari sel, modul, hingga paket. Menurut data BloombergNEF tahun 2023, rata-rata biaya produksi baterai di level sel untuk kendaraan listrik berbasis baterai (BEV) adalah sekitar \$89/kWh, sedangkan di level paket mencapai \$128/kWh.



Gambar 2.3 Harga logam baterai tertentu (kiri) dan logam baterai Li-On (kanan) periode 2015-2024

Pada tahap sel, proporsi biaya terbesar berasal dari material aktif katoda yang mengandung logam bernilai tinggi seperti litium, nikel, dan kobalt. Studi *Argonne National Laboratory* (ANL) menunjukkan bahwa pada tahun 2024, material positif aktif (positive active material) menyumbang sekitar 53% dari total biaya material sel atau sekitar 30% dari total biaya paket untuk baterai tipe NMC811 berkapasitas 94 kWh (80 kWh usable).

Tahap modul mencakup perakitan sel menjadi unit yang lebih besar dengan penambahan konektor, sensor, dan pelindung mekanik, sedangkan tahap paket mencakup integrasi modul, penambahan BMS, *thermal management*, dan *housing* untuk memastikan kinerja dan keselamatan. Secara umum, material sel menyumbang sekitar 63% dari total biaya paket, komponen pembelian seperti konektor dan struktur mekanik sekitar 11%, proses manufaktur sekitar 22%, dan integrasi paket sekitar 4%.

Komponen biaya ini dapat dirumuskan secara konseptual sebagai penjumlahan biaya material, tenaga kerja, energi, *overhead variabel*, penyusutan investasi (CapEx), biaya operasional lainnya (OPEX), garansi, dan margin keuntungan, yang kemudian dibagi dengan kapasitas usable dalam kWh. Model perhitungan seperti BatPaC yang dikembangkan oleh ANL menghitung biaya tersebut secara *bottom-up* berdasarkan setiap langkah proses produksi mulai dari pencampuran *slurry*, pelapisan (*coating*), pengeringan, penyusunan (*stacking/winding*), hingga pembentukan (*formation cycling*), sambil memperhitungkan efisiensi atau *yield* pada tiap tahap. Peningkatan

yield, misalnya dari 85% menjadi 92%, dapat menurunkan biaya produksi secara signifikan karena mengurangi pemborosan material dan jam kerja mesin.

Faktor-faktor utama yang memengaruhi biaya produksi baterai EV antara lain adalah harga material aktif, skala dan utilisasi kapasitas pabrik, tingkat *yield* dan *scrap*, desain arsitektur paket, biaya energi dan tenaga kerja, serta kebijakan garansi dan margin produsen. Harga material aktif, terutama litium, nikel, dan kobalt, menjadi penentu utama biaya sel, sehingga fluktuasi harga komoditas tersebut berdampak langsung pada harga baterai. Misalnya, penurunan harga litium karbonat dan nikel pada 2023–2024 akibat kelebihan pasokan global berkontribusi pada turunnya biaya rata-rata industri. Dalam konteks Indonesia, keberlimpahan cadangan nikel menjadi keunggulan strategis, di mana pemerintah berupaya mengintegrasikan rantai pasok dari hulu ke hilir melalui *Indonesia Battery Corporation* (IBC). Dengan industrialisasi nikel, Indonesia dapat menekan biaya baterai sekaligus menjadi pemasok global untuk ekosistem EV.

Selain itu, peralihan sebagian produsen ke kimia baterai LFP (*Lithium Iron Phosphate*) yang tidak memerlukan nikel dan kobalt juga menekan biaya. Skala produksi juga memiliki pengaruh besar melalui efek *economies of scale*, di mana peningkatan volume produksi dapat menurunkan biaya tetap per kWh. Data McKinsey menunjukkan bahwa investasi pada peralatan manufaktur sel dapat mencapai 60% dari total investasi pabrik, sehingga utilisasi kapasitas yang tinggi menjadi penting untuk mengoptimalkan biaya. *Yield* produksi juga menjadi faktor kritis, karena pada fase awal beroperasinya *gigafactory*, tingkat *scrap* dapat mencapai hingga 30%, yang membuat biaya per unit produk meningkat secara signifikan. Seiring meningkatnya pengalaman operasional dan optimalisasi proses, *yield* biasanya membaik dan biaya pun menurun.

Perubahan desain juga dapat mengurangi biaya non-material. Pendekatan baru seperti *cell-to-pack* (CTP) atau *cell-to-chassis* (CTC) mengurangi jumlah komponen mekanik, menghilangkan kebutuhan modul terpisah, dan meningkatkan rasio energi terhadap berat (*energy density*) pada level paket. Hal ini meningkatkan efisiensi ruang serta biaya perakitan dan material pendukung.

Dari perspektif tren historis, biaya baterai *lithium-ion* telah mengalami penurunan signifikan selama satu dekade terakhir, mengikuti pola kurva pembelajaran (Wright's

Law). Setiap pelipatan produksi kumulatif menyebabkan penurunan biaya sekitar 14%–24% [33].

Menurut teori permintaan, penurunan harga produk akan meningkatkan permintaannya. Hal ini berlaku pula pada pasar EV, di mana konsumen di negara berkembang seperti Indonesia sangat sensitif terhadap harga. Adopsi teknologi energi baru di Indonesia menunjukkan bahwa harga mobil adalah faktor utama dalam keputusan pembelian [42]. Oleh sebab itu, harga baterai yang lebih murah tidak hanya menurunkan harga jual EV, tetapi juga memperbesar potensi penetrasi pasar.

Namun, faktor teknologi, geopolitik, dan pasokan bahan baku semuanya memengaruhi harga baterai. Ketersediaan nikel, kobalt, dan litium sebagai bahan utama baterai menghadapi risiko ketidakstabilan akibat persaingan global, regulasi lingkungan, dan ketidakpastian rantai pasok [52]. Faktor-faktor tersebut dapat memengaruhi fluktuasi harga baterai, yang pada gilirannya berdampak pada harga jual EV di pasar domestik maupun internasional.

Selain faktor eksternal, inovasi teknologi juga berperan penting dalam menurunkan harga baterai. Pengembangan teknologi baterai generasi baru, seperti solid-state battery, berpotensi menurunkan biaya produksi sekaligus meningkatkan densitas energi [27]. Hal ini membuka peluang bagi produsen untuk menghasilkan EV dengan harga lebih kompetitif tanpa mengorbankan kualitas dan keandalan. Dengan kata lain, investasi dalam penelitian dan pengembangan (R&D) teknologi baterai menjadi kunci dalam menjaga tren penurunan harga.

Dalam konteks Indonesia, penurunan harga baterai menjadi sangat strategis karena pasar otomotif nasional didominasi oleh konsumen yang sangat sensitif terhadap harga kendaraan. [36] Konsumen Indonesia cenderung menimbang faktor harga sebelum mempertimbangkan manfaat lingkungan atau aspek teknis lainnya. Oleh karena itu, strategi kebijakan pemerintah dalam mendorong industri baterai domestik, misalnya melalui pengolahan nikel dalam negeri dan insentif fiskal, diharapkan dapat menurunkan harga baterai EV secara signifikan. Jika strategi ini berhasil, maka harga kendaraan listrik dapat lebih kompetitif dibanding kendaraan berbahan bakar fosil, sehingga meningkatkan daya tarik pasar dan mempercepat adopsi EV di Indonesia. Secara teoritis hubungan antara harga dan adopsi, di mana

konsumen menilai manfaat relatif dibandingkan dengan biaya yang harus dikeluarkan [53].

2.1.2 Keandalan Baterai Kendaraan Listrik

Selain harga, keandalan baterai menjadi faktor yang memengaruhi kepercayaan konsumen terhadap EV. Kesuksesan adopsi kendaraan listrik sangat dipengaruhi oleh keandalan baterai. Keandalan baterai mencerminkan daya tahan, keamanan, stabilitas performa, dan umur pakai baterai kendaraan listrik. Dalam adopsi teknologi baru, persepsi risiko seringkali menjadi hambatan utama [6]. Ketidakpastian terkait performa baterai dapat mengurangi minat pembelian. Baterai yang andal tidak hanya terkait dengan kemampuan menyimpan energi dalam jangka panjang, tetapi juga mencakup aspek keamanan, performa stabil, serta daya tahan terhadap siklus pengisian dan penggunaan. Keandalan baterai sangat memengaruhi tingkat kepuasan konsumen, karena pengguna cenderung khawatir terhadap risiko degradasi daya yang cepat dan potensi kegagalan teknis [30]. Oleh sebab itu, persepsi masyarakat terhadap keandalan baterai menjadi variabel penting dalam mendorong keputusan pembelian EV.

Masalah teknis seperti daya tahan baterai dan infrastruktur pengisian terus menghambat adopsi EV di seluruh dunia [50]. Selain itu, [8] menunjukkan bahwa kepercayaan terhadap teknologi menjadi mekanisme penting dalam menjelaskan adopsi kendaraan listrik, di mana faktor teknis bekerja melalui pembentukan sikap dan niat.

Umur pakai baterai kendaraan listrik merupakan parameter kunci yang menentukan nilai ekonomis, kinerja jangka panjang, dan keberlanjutan sistem propulsi kendaraan. Umur pakai ini umumnya diukur dalam jumlah siklus pengisian-pengosongan (*cycle life*) atau dalam tahun penggunaan, tergantung pada kondisi operasional. Baterai *lithium-ion* yang menjadi teknologi dominan pada EV modern biasanya dirancang untuk mempertahankan kapasitas sebesar 70–80% dari kapasitas awal setelah mencapai 1.000 hingga 2.000 siklus penuh, yang dalam penggunaan normal setara dengan 8–15 tahun. Namun, performa baterai tidak hanya menurun akibat waktu penggunaan, melainkan juga dipengaruhi oleh berbagai mekanisme degradasi yang kompleks. Umur pakai baterai kendaraan listrik dipengaruhi oleh

berbagai faktor, termasuk jumlah siklus pengisian-pengosongan (*charge-discharge cycles*), suhu operasi, pola penggunaan, serta teknologi manajemen baterai (*Battery Management System/BMS*). Baterai *lithium-ion* rata-rata dapat bertahan antara 1.000 hingga 2.000 siklus pengisian [46], yang setara dengan 8–12 tahun pemakaian, tergantung pada pola penggunaan dan sistem manajemen baterai (*Battery Management System/BMS*). Sistem yang baik akan menjaga stabilitas temperatur, mencegah *overcharging*, serta mengatur distribusi energi, sehingga memperpanjang umur baterai.

Degradasi baterai terjadi seiring waktu akibat mekanisme kimiawi internal yang menurunkan kapasitas penyimpanan energi. Degradasi baterai yang cepat menurunkan nilai jual kembali kendaraan dan meningkatkan kekhawatiran konsumen [46]. Salah satu mekanisme degradasi adalah pembentukan *solid electrolyte interphase* (SEI) pada elektroda, yang mengurangi kemampuan ion *lithium* untuk bergerak bebas. Faktor eksternal seperti pengisian daya cepat (*fast charging*) secara berulang, pengoperasian pada suhu ekstrem, serta kebiasaan mengisi baterai hingga 100% atau mengosongkannya hingga 0% juga mempercepat degradasi.

Secara umum, degradasi baterai dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu degradasi kalender (*calendar aging*) dan degradasi siklus (*cycle aging*). Degradasi kalender adalah penurunan kapasitas yang terjadi meskipun baterai tidak digunakan secara aktif, terutama dipengaruhi oleh suhu penyimpanan dan tingkat pengisian daya (*state of charge*, SOC) yang tinggi. Pada kondisi suhu tinggi, reaksi kimia parasit seperti pembentukan lapisan *solid electrolyte interphase* (SEI) pada anoda dapat terjadi lebih cepat, mengonsumsi ion litium aktif dan meningkatkan resistansi internal.

Sementara itu, degradasi siklus terjadi akibat proses pengisian dan pengosongan berulang, yang menyebabkan perubahan struktur kristal pada material katoda dan anoda, retakan mekanis pada partikel elektrode, serta hilangnya material aktif yang dapat menyimpan ion litium.

Faktor suhu memainkan peran kritis dalam mempercepat degradasi. Studi menunjukkan bahwa operasi baterai pada suhu di atas 40°C secara signifikan meningkatkan laju pertumbuhan lapisan SEI dan mempercepat dekomposisi elektrolit, sementara suhu yang terlalu rendah dapat menurunkan konduktivitas ionik dan menyebabkan *lithium plating* pada anoda grafit saat pengisian cepat.

Fenomena *lithium plating* ini sangat merugikan karena litium logam yang terbentuk tidak dapat dengan mudah direversi, mengurangi jumlah litium yang dapat berpindah dalam siklus berikutnya, dan berpotensi menimbulkan risiko keselamatan seperti korsleting internal.

Selain suhu, kedalaman pengosongan (*depth of discharge*, DoD) dan kecepatan pengisian (*charge rate*) juga memengaruhi degradasi. Baterai yang dioperasikan pada DoD besar (misalnya 0–100% kapasitas) mengalami tegangan mekanis dan elektrokimia yang lebih tinggi pada material elektrode, sehingga umur siklusnya lebih pendek dibandingkan dengan pengoperasian pada DoD parsial (misalnya 20–80%). Demikian pula, pengisian cepat (*fast charging*) dengan arus tinggi dapat meningkatkan gradien konsentrasi ion di dalam elektrode, memicu pembentukan dendrit litium dan mempercepat kerusakan struktur elektrode.

Teknologi kimia baterai yang berbeda juga memiliki karakteristik degradasi yang bervariasi. Baterai NMC dan NCA umumnya memiliki densitas energi tinggi tetapi lebih sensitif terhadap suhu tinggi dan siklus penuh yang dalam, sedangkan baterai LFP cenderung lebih tahan terhadap degradasi siklus dan dapat mempertahankan umur pakai lebih panjang, meskipun dengan densitas energi yang lebih rendah.

Dalam beberapa studi, baterai LFP dilaporkan mampu mencapai lebih dari 3.000–5.000 siklus sebelum kapasitas turun di bawah 80%, sedangkan baterai NMC biasanya berada pada kisaran 1.000–2.000 siklus untuk kondisi penggunaan serupa.

Pabrikan EV umumnya menerapkan strategi *battery management system* (BMS) untuk memperlambat degradasi, seperti membatasi SOC maksimum, mengatur suhu melalui sistem pendingin aktif atau pasif, dan mengoptimalkan profil pengisian. Beberapa produsen juga membangun *buffer* kapasitas tersembunyi, di mana sebagian kapasitas sel tidak diakses pengguna untuk memperpanjang umur baterai. Misalnya, baterai dengan kapasitas fisik 80 kWh mungkin hanya memberikan kapasitas pakai sebesar 75 kWh, sehingga margin ini membantu menjaga kinerja dalam jangka panjang.

Dengan kemajuan teknologi material, riset sedang difokuskan pada pengembangan elektrolit stabil, aditif pelindung elektrode, dan material katoda yang lebih tahan terhadap degradasi struktural. Perkembangan baterai *solid-state* juga diharapkan dapat mengurangi laju degradasi melalui pengurangan reaksi samping dan

peningkatan stabilitas mekanis elektrode. Meskipun demikian, hingga teknologi tersebut matang, pengendalian kondisi operasi baterai tetap menjadi faktor utama untuk memaksimalkan umur pakai dan meminimalkan degradasi.

Untuk meminimalisasi degradasi, produsen mobil listrik kini mengembangkan sistem BMS yang canggih, yang mampu mengatur aliran listrik, menjaga suhu optimal, serta mencegah *overcharging* dan *over-discharging*. Selain itu, inovasi pada pendinginan baterai, baik dengan udara maupun cairan, semakin meningkatkan stabilitas termal baterai sehingga memperpanjang umur pakai.

Degradasi baterai memiliki implikasi finansial yang signifikan, karena penurunan kapasitas baterai akan menurunkan jarak tempuh kendaraan, yang dapat berpengaruh pada minat atau kecenderungan konsumen untuk membuat keputusan memiliki kendaraan listrik. Oleh karena itu, umur pakai baterai menjadi salah satu indikator penting dalam kajian teknis dan finansial mobil listrik.

Dalam konteks Indonesia, [40] aspek keandalan teknologi dan kesiapan ekosistem memiliki pengaruh terhadap pembentukan persepsi dan kesiapan pasar. Dengan demikian, keandalan baterai tidak selalu berdampak langsung terhadap peningkatan jumlah kendaraan listrik, tetapi dapat bekerja secara tidak langsung melalui pembentukan minat.

2.1.3 Persepsi Konsumen

Persepsi konsumen adalah representasi konsumen memandang manfaat, risiko, dan nilai dari suatu produk. Persepsi konsumen mencakup evaluasi terhadap manfaat ekonomi, manfaat lingkungan, serta citra inovasi kendaraan listrik. Dalam *Theory of Planned Behavior* [1], respon suatu tingkah laku memengaruhi keinginan untuk melakukan perilaku tersebut. Menurut teori *Technology Acceptance Model* (TAM), persepsi konsumen tentang kegunaan dan kemudahan teknologi baru akan memengaruhi penerimaannya. Persepsi nilai hijau berdampak besar pada keinginan untuk membeli kendaraan listrik [54]. Penelitian lain [34] menemukan bahwa persepsi konsumen tentang manfaat dan risiko secara bersamaan memengaruhi keinginannya untuk membeli kendaraan listrik. Persepsi konsumen adalah komponen psikologis yang memengaruhi sikap mereka dan keputusan mereka untuk membeli kendaraan listrik. Di Asia, [16] dua faktor utama yang memengaruhi keinginan pelanggan untuk

menggunakan kendaraan listrik adalah kesadaran tentang manfaat ekonomi dan kesadaran lingkungan. Oleh karena itu, persepsi konsumen dalam penelitian ini berfungsi sebagai konstruk psikologis yang memengaruhi minat dan peningkatan adopsi kendaraan listrik. Dalam konteks kendaraan listrik, persepsi konsumen sangat erat kaitannya dengan keyakinan mereka terhadap keandalan, keamanan, biaya, serta ketersediaan infrastruktur pendukung. Persepsi terbentuk melalui pengalaman langsung maupun informasi yang diperoleh dari media, komunitas, atau pihak produsen [25]. Dalam kasus baterai kendaraan listrik, persepsi positif dapat meningkatkan minat beli, sedangkan persepsi negatif—misalnya terkait mahalnnya harga baterai atau keterbatasan jarak tempuh—dapat menjadi hambatan signifikan terhadap adopsi pasar.

Persepsi konsumen sering kali tidak sejalan dengan fakta teknis. Meskipun teknologi baterai kendaraan listrik modern telah mampu memberikan daya tahan hingga lebih dari 300 km sekali pengisian, banyak konsumen masih meragukan kemampuan jarak tempuh tersebut [28]. Kecemasan jarak tempuh, adalah salah satu hambatan utama untuk menggunakan kendaraan listrik. Oleh karena itu, elemen edukasi dan keterbukaan informasi sangat penting untuk menciptakan persepsi yang lebih realistis dan positif di kalangan masyarakat.

Selain jarak tempuh, aspek biaya penggantian baterai juga memengaruhi persepsi konsumen. Sebagian besar konsumen menganggap harga baterai kendaraan listrik masih terlalu mahal [2], meskipun tren biaya global menunjukkan penurunan signifikan dalam sepuluh tahun terakhir. Persepsi bahwa baterai cepat rusak dan akan membebani biaya perawatan juga memperkuat keraguan konsumen terhadap investasi jangka panjang dalam kendaraan listrik. Oleh karena itu, kebijakan produsen yang memberikan garansi panjang untuk baterai (misalnya 8–10 tahun) terbukti dapat meningkatkan persepsi positif konsumen terhadap kepemilikan kendaraan listrik.

Di samping faktor biaya dan keandalan teknis, persepsi konsumen juga dipengaruhi oleh norma sosial dan tren keberlanjutan. Konsumen dengan kesadaran lingkungan yang tinggi lebih sering menilai baterai EV sebagai solusi energi bersih yang berkontribusi pada pengurangan emisi karbon [32]. Namun, pada negara berkembang seperti Indonesia, [36] persepsi lingkungan sering kali masih kalah kuat dibandingkan dengan pertimbangan biaya dan kenyamanan. Hal ini menunjukkan

adanya perbedaan konteks budaya dan ekonomi dalam pembentukan persepsi konsumen terhadap baterai kendaraan listrik.

Persepsi masyarakat terhadap kepraktisan penggunaan kendaraan listrik meningkat ketika terdapat jaringan pengisian daya (*charging station*) yang memadai dan insentif fiskal yang jelas [46]. Sebaliknya, keterbatasan infrastruktur dapat memperburuk persepsi negatif, meskipun spesifikasi teknis kendaraan sudah baik. Oleh karena itu, memperbaiki persepsi konsumen memerlukan pendekatan holistik yang melibatkan aspek edukasi, jaminan teknis, insentif finansial, serta pembangunan ekosistem pendukung.

2.1.4 Minat sebagai Variabel Mediasi

Menurut Theory of Planned Behavior [1], niat adalah prediksi langsung dari perilaku yang sebenarnya terjadi. Dalam hal kendaraan listrik, minat menunjukkan kesiapan pelanggan untuk membeli atau mengubah kendaraan listrik.

Persepsi kontrol perilaku, norma sosial, dan sikap memengaruhi niat untuk membeli kendaraan listrik [47]. Mereka juga berfungsi sebagai penghubung antara keputusan pembelian dan elemen eksternal. Elemen psikologis, seperti kesadaran dan pengetahuan, mengatur hubungan antara elemen eksternal dan niat untuk menggunakan EV [14].

Temuan-temuan tersebut memperkuat posisi minat dalam penelitian ini sebagai variabel mediasi antara harga baterai, keandalan baterai, dan persepsi konsumen terhadap peningkatan jumlah kendaraan listrik.

2.1.5 Mobil Listrik

Dalam dua dekade terakhir, mobil listrik atau mobil listrik telah menjadi salah satu solusi utama untuk mengubah energi menuju sistem transportasi berkelanjutan di seluruh dunia. Peningkatan kesadaran akan masalah lingkungan di seluruh dunia telah mendorong pertumbuhan ini [21], dengan penekanan khusus pada dampak emisi karbon dari sektor transportasi, yang menyumbang 23% dari emisi gas rumah kaca global. Laporan dari International Energy Agency [21] menunjukkan bahwa jumlah kendaraan listrik di seluruh dunia mencapai lebih dari 26 juta unit pada tahun 2022, peningkatan yang signifikan dari hanya sekitar 120 ribu unit pada tahun 2012. Negara-

negara maju seperti Norwegia, Tiongkok, Amerika Serikat, dan Uni Eropa telah mengambil langkah-langkah untuk mendorong adopsi kendaraan listrik. Mereka telah melakukan ini dengan memberikan insentif moneter, membangun infrastruktur untuk mengisi kendaraan, dan menetapkan tujuan untuk menghentikan penjualan kendaraan berbahan bakar fosil. Misalnya, Norwegia menjadi pemimpin dunia dalam penetrasi mobil listrik, dengan lebih dari 80% penjualan mobil listrik pada tahun 2022 [45].

Tiongkok memegang peranan penting dalam dominasi pasar kendaraan listrik dunia, baik dari sisi produksi maupun konsumsi. Negara ini menguasai lebih dari 50% penjualan mobil listrik global, berkat dukungan kuat dari pemerintah dalam bentuk subsidi, insentif pajak, dan pengembangan ekosistem industri baterai. Tesla dari Amerika Serikat juga menjadi ikon perkembangan mobil listrik dengan inovasi teknologi baterai, perangkat lunak, dan jaringan supercharger global yang mempercepat popularitas EV. Sementara itu, Uni Eropa melalui *European Green Deal* menargetkan *net-zero emission* pada tahun 2050 dan rencana penghentian kendaraan berbahan bakar fosil mulai tahun 2035 sehingga mendorong regulasi ketat terhadap kendaraan konvensional dan memperkuat peran mobil listrik dalam sistem transportasi.

Meskipun fenomena yang masih sangat baru dalam mengadopsi mobil listrik, tren positif menunjukkan peningkatan. Perpres No. 55/2019 pemerintah memungkinkan pengembangan kendaraan bermotor listrik berbasis baterai di seluruh negara. Dengan insentif pajak, bea masuk, dan subsidi untuk kendaraan listrik, dukungan ini diperkuat. Menurut data Kementerian Perhubungan, jumlah mobil listrik berbasis baterai (BEV) di Indonesia telah meningkat pesat. Dari hanya ratusan unit pada tahun 2020 menjadi lebih dari 17.000 unit pada tahun 2023 [10]. Meskipun angka ini relatif kecil dibandingkan dengan populasi kendaraan bermotor di Indonesia, yang mencapai lebih dari 150 juta, kemajuan ini menandai awal transformasi sistem transportasi menuju energi bersih.

Indonesia memiliki keunggulan strategis dalam pengembangan EV karena kekayaan sumber daya mineral, terutama nikel, yang merupakan bahan baku utama katoda baterai lithium-ion. Melalui pembentukan *Indonesia Battery Corporation* (IBC), pemerintah menargetkan integrasi rantai pasok baterai dari hulu ke hilir,

menjadikan Indonesia sebagai produsen dan konsumen utama dalam industri kendaraan listrik di seluruh dunia.

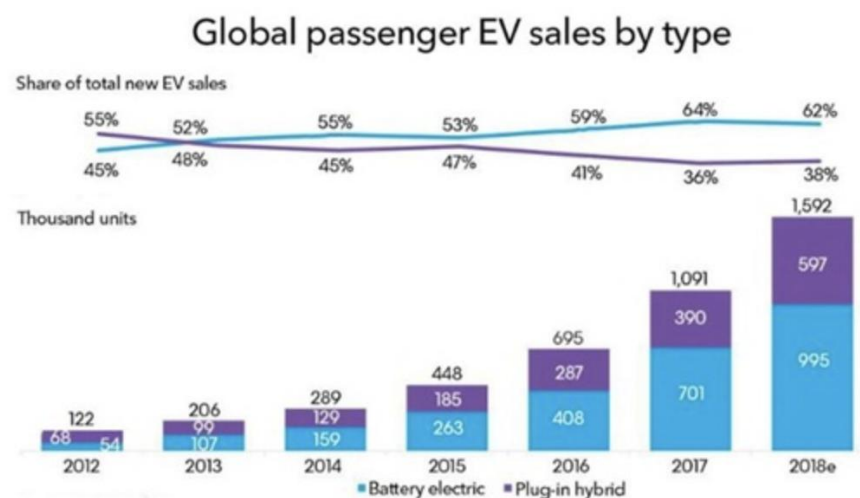
2.1.5.1 Perkembangan Teknologi Mobil Listrik

Fokus perkembangan teknologi mobil listrik adalah empat elemen utama: baterai, motor listrik, sistem manajemen energi, dan integrasi digital. Kemajuan ini didorong oleh inovasi dalam sistem penyimpanan energi (baterai), motor listrik, sistem kendali daya, dan integrasi teknologi digital. Mobil listrik masih terbatas pada tahap awal pengembangan karena memiliki kapasitas baterai yang rendah, waktu pengisian yang lama, dan biaya produksi yang tinggi. Namun, baterai lithium-ion telah menjadi standar utama bagi kendaraan listrik dalam dua dekade terakhir. Jika dibandingkan dengan teknologi baterai sebelumnya seperti *lead-acid* atau *nickel-metal hydride* (NiMH), baterai jenis ini memiliki kepadatan energi yang tinggi, siklus hidup yang panjang, dan efisiensi pengisian daya yang lebih baik.

Perkembangan lebih lanjut diarahkan pada teknologi solid-state battery yang menjanjikan kepadatan energi lebih tinggi, waktu pengisian lebih singkat, dan tingkat keamanan lebih baik dibandingkan lithium-ion konvensional. Produsen besar seperti Toyota, Samsung, dan CATL tengah berinvestasi besar dalam pengembangan baterai jenis ini, yang diperkirakan mulai komersial pada 2030. Selain itu, terdapat riset pada penggunaan baterai berbasis lithium ferro phosphate (LFP) yang lebih murah dan memiliki daya tahan lebih baik meskipun dengan kepadatan energi yang lebih rendah.

Mobil listrik secara bertahap menjadi lebih populer di masyarakat. Melalui kerjasama dengan PLN, pemerintah membantu perkembangan mobil listrik. Sebuah proyeksi yang dibuat oleh *Bloomberg New Energy Finance* (BNEF) menunjukkan bahwa mobil listrik akan menduduki 55% pasar global pada tahun 2040. Ini berarti bahwa jumlah total mobil listrik akan mencapai 55% dari penjualan mobil di seluruh dunia, atau sekitar 60 juta unit. Artinya, dengan infrastruktur yang memadai, mobil listrik akan menjadi lebih mudah diakses dalam dua puluh tahun ke depan.

Saat ini, banyak pabrikan mobil di seluruh dunia bersaing untuk mengembangkan mobil bertenaga listrik. Dalam perspektif bisnis, pabrikan saat ini sibuk memproduksi dan memasarkan mobil listrik di berbagai negara. Bahkan beberapa pabrikan mulai berani menyatakan bahwa mereka akan beralih sepenuhnya ke mobil bertenaga mesin tenaga listrik dan beralih sepenuhnya ke mobil bertenaga mesin tenaga listrik. Contohnya adalah Changan di China, yang mengikuti jejak Tesla di Amerika Serikat, yang berfokus pada penjualan dan produksi mobil listrik murni.



Gambar 2.4 Penjualan Kendaraan Listrik Secara Global

Selain itu, perkembangan teknologi mobil listrik tidak terlepas dari integrasi dengan sistem digital dan *Internet of Things* (IoT). Banyak produsen kini mengembangkan kendaraan listrik yang terhubung dengan sistem cloud untuk optimasi rute, pemantauan kondisi baterai secara *real-time*, serta pembaruan perangkat lunak *over-the-air* (OTA). Tesla misalnya, telah memelopori pendekatan kendaraan pintar (*smart EV*) dengan sistem autopilot yang mengandalkan kombinasi sensor, radar, dan kecerdasan buatan.

Secara global, arah perkembangan teknologi mobil listrik juga semakin erat kaitannya dengan energi terbarukan dan smart grid. Konsep *Vehicle-to-Grid* (V2G) memungkinkan mobil listrik untuk berfungsi sebagai konsumen dan penyedia energi cadangan yang dapat disalurkan kembali ke jaringan listrik. Dengan demikian, kendaraan listrik berperan penting dalam mendukung stabilitas

sistem kelistrikan berbasis energi terbarukan seperti PLTS dan PLTB yang bersifat *intermittent*.

Dalam konteks Indonesia, perkembangan teknologi kendaraan listrik mulai diadaptasi oleh beberapa produsen otomotif yang masuk ke pasar nasional, seperti Hyundai dengan Ioniq dan Kona EV, serta Wuling dengan Air EV yang menawarkan harga lebih terjangkau. Perkembangan teknologi baterai di Indonesia juga diperkuat dengan berdirinya konsorsium *Indonesia Battery Corporation* (IBC) yang fokus pada pengembangan ekosistem industri baterai, mulai dari penambangan nikel hingga produksi sel baterai dan daur ulangnya.

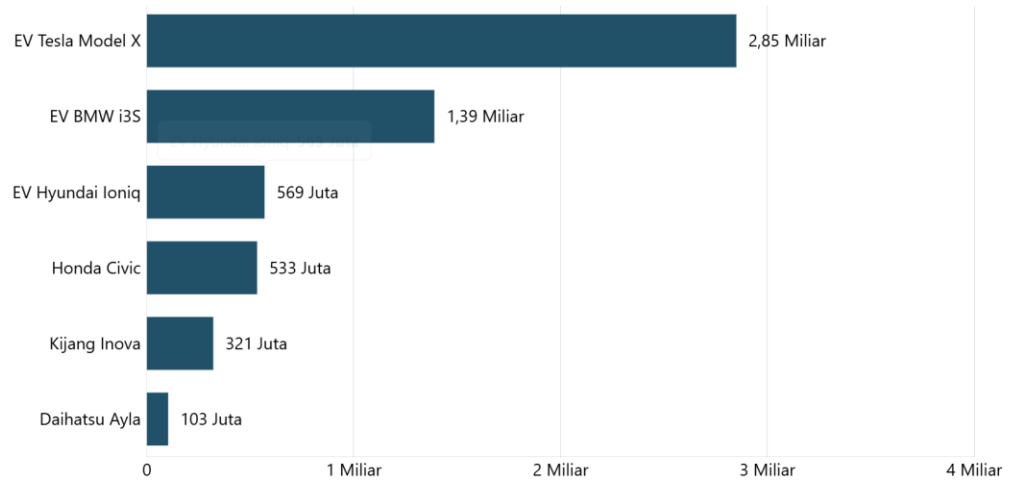
Dilihat dari perspektif ekonomi konsumen, biaya operasional mobil listrik jauh lebih rendah daripada kendaraan berbahan bakar fosil karena faktor-faktor seperti biaya baterai yang lebih rendah dan harga listrik per kilometer yang lebih rendah daripada bensin. Oleh karena itu, masalah utama dengan mobil listrik saat ini adalah harga awal pembelian. Oleh karena itu, upaya untuk menurunkan biaya baterai dan menyediakan insentif pemerintah adalah langkah penting untuk meningkatkan persaingan mobil listrik di pasar.

2.1.5.2 Harga Mobil Listrik

Menurut laporan *Global EV Outlook 2025* dari IEA, tren penurunan harga mobil listrik semakin nyata. Di banyak negara berkembang, terutama yang kembali mengimpor BEV (*Battery Electric Vehicle*) dari Tiongkok, harga rata-rata BEV kini lebih dari 60% lebih rendah dibanding BEV dari produsen non-Tiongkok. Contohnya di Indonesia, BEV impor Tiongkok pada tahun 2024 dihargai rata-rata sekitar 50% lebih murah daripada BEV non-Tiongkok, menurunkan semula gap premium (dahulu BEV dua kali lebih mahal dari ICE) menjadi sekitar 50% lebih mahal daripada ICE.

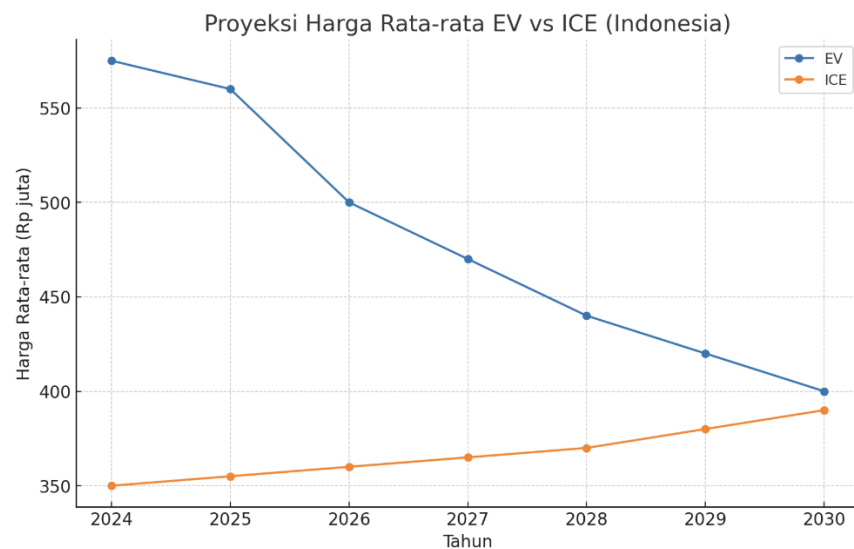
Secara global, penurunan harga ini juga terjadi di negara lain seperti Brasil—di mana *gap* premium BEV vs ICE turun menjadi kurang dari 40% untuk model kecil/menengah. Di Meksiko dan India, kondisi serupa terjadi, khususnya untuk segmen kecil—BEV premium tercatat di bawah 15–25% di atas ICE. Selain itu, harga salah satu BEV entry-level di Tiongkok (BYD Dolphin) tercatat di

kisaran USD 26.500 (sekitar Rp 400-425 juta)—yang menurut *Financial Times* setara setengah harga rata-rata global untuk mobil listrik.



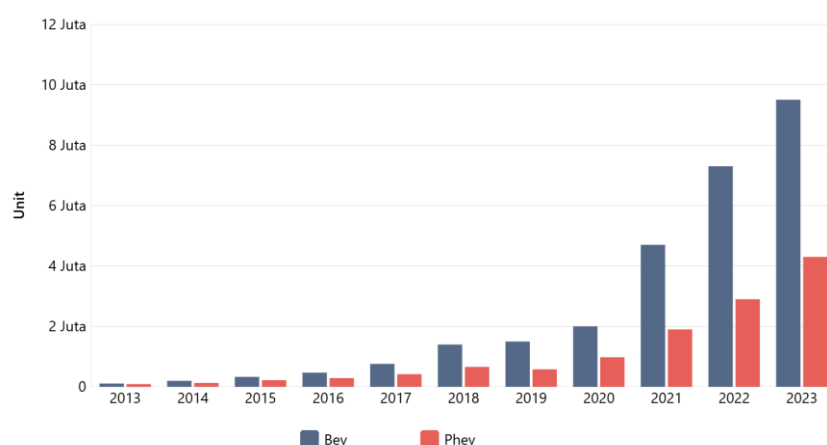
Gambar 2.5 Perbandingan Harga Mobil Konvensional dan Listrik per Juni 2021 (Rp). Sumber : databoks

Secara umum, rata-rata harga mobil listrik di Indonesia berkisar antara Rp 550–600 juta, meski ada banyak model *entry-level* maupun premium. Faktor penyebab tingginya harga BEV di Indonesia antara lain adalah biaya impor, pajak tinggi untuk CBU (*Completely Built Up*), serta insentif yang belum merata. Data pengguna Reddit menunjukkan bahwa total pajak impor BEV bisa mendekati 90%, mencakup bea masuk, VAT, PPnBM, dan pajak lainnya .



Gambar 2.6 Proyeksi perbandingan rata-rata harga mobil konvensional dan mobil listrik di Indonesia

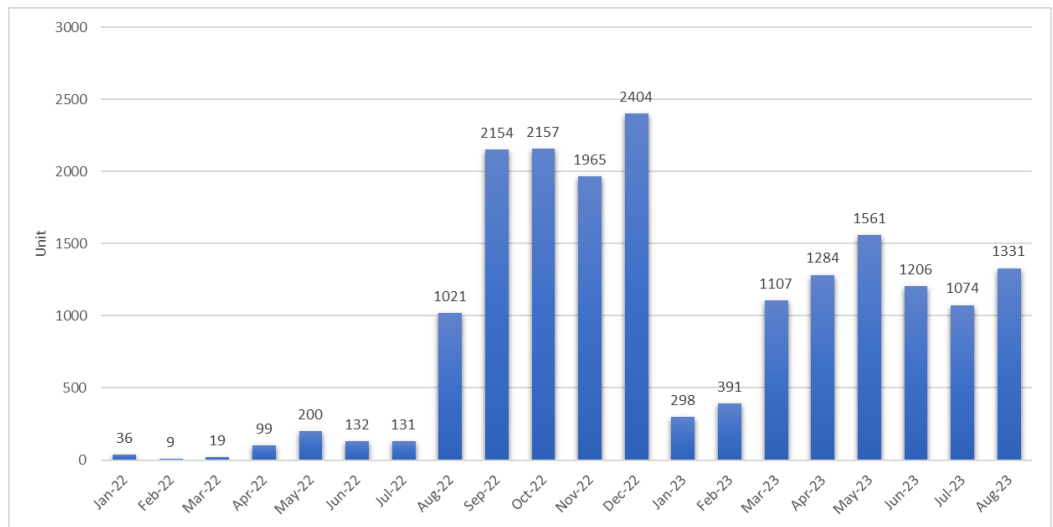
International Energy Agency (IEA) memberikan informasi laporan yang menunjukkan peningkatan penjualan dan penggunaan mobil listrik dalam beberapa tahun terakhir. IEA menggabungkan penjualan mobil listrik dari kelompok mobil listrik bertenaga listrik (BEV) dan mobil listrik plug-in hybrid (PHEV) yang merupakan mobil listrik dengan mesin baterai. Kedua jenis mobil listrik itu diperkirakan akan menjual 13,8 juta unit pada tahun 2023. Penjualan mobil listrik meningkat pesat sejak 2020, dengan total penjualan 2,98 juta unit, termasuk 2 juta BEV dan 980 ribu PHEV dan pada tahun 2021 mengalami kelonjakan sekitar 121% dengan angka penjualan 6,6 juta unit (BEV sebesar 4,7 juta unit serta PHEV sebanyak 1,9 juta unit). Dalam rentang 10 tahun, penurunan hanya terjadi pada jenis PHEV di 2019. Di tahun 2019, unit mengalami penurunan sekitar 80 ribu unit dibanding tahun sebelumnya.



Gambar 2.7 Volume Penjualan Mobil Listrik di Seluruh Dunia Menurut Jenis (2013-2023). Sumber: databoks

Menurut data Gaikindo, volume penjualan mobil listrik berbasis baterai atau mobil listrik berbasis baterai (BEV) di Indonesia pada Agustus 2023 mencapai 1.331 unit. Ini adalah peningkatan 24% dari bulan ke bulan/mom dan 30% dari bulan ke tahun/yoy.

Pada Januari hingga Agustus 2023, terjadi penjualan wholesale mobil listrik BEV di dalam negeri sekitar 8,2 ribu unit. Dimana hal ini terjadi kenaikan 500% pada periode Januari hingga Agustus 2022, yang mana saat itu angka penjualan di 1,6 ribu unit. Sehingga tren membuktikan bahwa di Indonesia pada di tahun 2023 mengalami peningkatan dengan cepat dibandingkan tahun sebelumnya.



Gambar 2.8 Volume Penjualan Wholesale Bulanan Mobil Listrik BEV di Indonesia (Januari 2022-Agustus 2023). Sumber : Gaikindo

2.2 Penelitian yang Relevan

Dengan mempertimbangkan penelitian sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa ada sejumlah variabel yang memengaruhi adopsi kendaraan listrik: aspek keuangan, teknis, dan psikologis. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa insentif moneter dan harga adalah faktor utama dalam meningkatkan penetrasi EV [42]; [24]. Selain itu, hal-hal teknis seperti keandalan baterai telah ditunjukkan memengaruhi keinginan pelanggan untuk menggunakan teknologi kendaraan listrik [9], [49]. Namun, menurut *Theory of Planned Behavior*, persepsi atau sikap seseorang terhadap suatu objek membentuk niat, yang pada gilirannya memengaruhi perilaku aktual [1]. Oleh karena itu, penelitian menunjukkan bahwa elemen teknis dan ekonomi memengaruhi mekanisme psikologis sebelum menghasilkan keputusan adopsi.

Sebaliknya, beberapa kesenjangan penelitian atau *gap* penelitian diidentifikasi. Penelitian terdahulu meneliti harga kendaraan listrik secara umum, belum secara spesifik memfokuskan pada harga baterai sebagai komponen biaya terbesar dan paling strategis dalam struktur harga kendaraan listrik. Kedua, penelitian sebelumnya mengacu pada faktor teknis, ekonomi, atau psikologis secara terpisah, dan tidak banyak yang menggabungkan ketiganya ke dalam model struktural yang lebih luas. Ketiga, peran minat sebagai variabel mediasi antara faktor eksternal (harga dan keandalan) dan perilaku

aktual (peningkatan jumlah kendaraan listrik) masih sangat sedikit, terutama di negara berkembang seperti Indonesia.

Berdasarkan *gap* tersebut, penelitian ini mengusulkan suatu kerangka kerja konseptual yang mengintegrasikan harga baterai sebagai faktor ekonomi utama, keandalan baterai sebagai faktor teknis, serta persepsi konsumen sebagai faktor psikologis, dengan minat sebagai variabel mediasi yang menghubungkan antara faktor-faktor tersebut dengan peningkatan jumlah kendaraan listrik. Kerangka kerja ini didasarkan pada integrasi *Diffusion of Innovation Theory* [38], *Theory of Planned Behavior* [1], serta teori nilai yang dipersepsikan [53], sehingga menghasilkan model yang lebih komprehensif dalam menjelaskan mekanisme adopsi kendaraan listrik.

Berdasarkan kerangka konseptual tersebut, penelitian ini merumuskan dua belas hipotesis yang menguji pengaruh langsung (*direct effect*) antar variabel, serta pengaruh tidak langsung (*indirect effect*) melalui mediasi minat. Hipotesis H1 hingga H9 menguji hubungan langsung antar konstruk dalam model, sedangkan hipotesis H10 hingga H12 menguji peran mediasi minat dalam menjembatani hubungan antara variabel independen dan peningkatan jumlah kendaraan listrik. Dengan demikian, pengujian hipotesis H1–H12 diharapkan mampu memberikan penjelasan yang rinci terkait mekanisme struktural yang memengaruhi peningkatan jumlah kendaraan listrik di Indonesia.

Menurut teori konsep *price–quality inference* dan *perceived value*, di mana konsumen kerap menggunakan “kualitas/keandalan” sebagai acuan kewajaran harga, semakin tinggi kualitas yang dirasakan, semakin besar toleransi konsumen terhadap harga yang lebih tinggi [53]. Dalam konteks baterai kendaraan listrik, peningkatan kualitas teknis umumnya menuntut teknologi material/manufaktur yang lebih maju dan dapat tercermin dalam struktur biaya [33]. **H1: Keandalan Baterai berpengaruh positif terhadap Harga Baterai.**

Keandalan baterai merupakan atribut teknis yang kuat dalam membentuk persepsi konsumen terhadap kendaraan listrik, terutama karena baterai berhubungan langsung dengan risiko kinerja dan keselamatan. Studi tentang adopsi kendaraan listrik menunjukkan bahwa kekhawatiran terkait baterai (misalnya jarak tempuh, degradasi, dan biaya penggantian) menjadi hambatan persepsi yang penting [6]. Saat keandalan dipersepsikan tinggi, persepsi risiko menurun dan persepsi manfaat meningkat, sehingga konsumen lebih memandang kendaraan listrik sebagai inovasi yang layak dipakai dalam

jangka panjang [37]. Dengan demikian, keandalan baterai diperkirakan memperbaiki persepsi konsumen dan menciptakan kondisi psikologis yang lebih kondusif untuk pertumbuhan penjualan kendaraan listrik. **H2: Keandalan baterai berpengaruh positif terhadap persepsi konsumen.**

Minat (*intention*) untuk mengadopsi kendaraan listrik sangat dipengaruhi oleh keyakinan konsumen bahwa produk mampu berfungsi dengan baik dan aman. Literatur adopsi kendaraan listrik menegaskan bahwa persepsi risiko kinerja dan ketidakpastian teknologi dapat menekan minat [6]. Sebaliknya, jika baterai dipandang andal, konsumen akan lebih percaya diri sehingga intensi meningkat, sejalan dengan temuan review yang menempatkan faktor teknis (*range, reliability, battery concerns*) sebagai determinan intensi dan penerimaan kendaraan listrik [37]. Oleh karena itu, keandalan baterai dihipotesiskan meningkatkan minat masyarakat yang kemudian mendorong peningkatan penjualan kendaraan listrik. **H3: Keandalan baterai berpengaruh positif terhadap minat menggunakan kendaraan listrik.**

Dalam kerangka *perceived value*, semakin tinggi pengorbanan finansial, kecenderungan minat membeli dapat menurun apabila manfaat tidak dianggap sepadan [53]. Penelitian tentang kendaraan listrik juga konsisten menunjukkan bahwa biaya awal dan harga kendaraan menjadi hambatan besar yang menurunkan niat adopsi, bahkan ketika konsumen menyadari manfaat lingkungan [5]. Karena harga baterai berkontribusi besar pada harga kendaraan listrik, maka secara teoritis harga baterai yang lebih tinggi akan menekan minat masyarakat, sedangkan penurunan harga dapat meningkatkan minat dan memperbesar potensi penjualan. **H4: Harga Baterai berpengaruh positif terhadap minat menggunakan kendaraan listrik.**

Ajzen (1991) menyatakan bahwa sikap atau persepsi terhadap suatu perilaku merupakan faktor utama yang menentukan niat. Persepsi manfaat berpengaruh besar terhadap niat untuk menggunakan EV [5]. **H5: Persepsi konsumen berpengaruh positif terhadap minat menggunakan kendaraan listrik.**

Diffusion of Innovation Theory [38] menyatakan bahwa atribut inovasi seperti *reliability* memengaruhi adopsi. Meskipun faktor teknis sering bekerja melalui niat, keandalan tetap berpotensi memengaruhi keputusan langsung. **H6: Keandalan baterai berpengaruh positif terhadap peningkatan jumlah kendaraan listrik.**

Faktor finansial berpengaruh langsung terhadap tingkat adopsi kendaraan listrik [43]. Keterjangkauan menjadi kunci penetrasi EV [22]. Kelayakan finansial pembangunan SPKLU sangat dipengaruhi oleh biaya investasi awal, tingkat utilisasi, serta struktur tarif listrik [26]. Temuan ini relevan dengan variabel harga baterai dalam model penelitian ini, karena struktur biaya dan keekonomian infrastruktur pengisian secara langsung membentuk persepsi masyarakat mengenai keterjangkauan kendaraan listrik. Ketika biaya terkait kendaraan listrik (termasuk baterai dan pengisian) dipersepsikan lebih ekonomis, maka kecenderungan minat masyarakat untuk mengadopsi kendaraan listrik meningkat. **H7: Harga baterai berpengaruh positif terhadap peningkatan jumlah kendaraan listrik.**

Sikap positif terhadap produk hijau dapat memengaruhi perilaku pembelian aktual [35]. Dengan demikian, persepsi konsumen terhadap EV berpotensi mendorong peningkatan adopsi. **H8: Persepsi konsumen berpengaruh positif terhadap peningkatan jumlah kendaraan listrik.**

Niat adalah prediktor langsung perilaku aktual. Oleh karena itu, minat diharapkan memengaruhi peningkatan jumlah kendaraan listrik [1]. Memiliki model bisnis yang berkelanjutan dan infrastruktur yang siap akan meningkatkan kepercayaan pasar terhadap kendaraan listrik [44]. Kekhawatiran konsumen seperti kecemasan rentang, yang secara teoritis terkait dengan persepsi konsumen, dikurangi dengan ketersediaan dan keberlanjutan infrastruktur pengisian. Dalam model penelitian ini, semakin positif persepsi konsumen terhadap ekosistem kendaraan listrik, semakin besar minat masyarakat, yang pada gilirannya menghasilkan adopsi dan penjualan yang lebih tinggi. **H9: Minat berpengaruh positif terhadap peningkatan jumlah kendaraan listrik.**

Faktor eksternal memengaruhi perilaku melalui niat [1]. Jika harga baterai memengaruhi minat, dan minat memengaruhi peningkatan EV, maka minat berperan sebagai mediator. **H10: Minat memediasi pengaruh harga baterai terhadap peningkatan jumlah kendaraan listrik.**

Sikap memengaruhi niat, dan niat memengaruhi perilaku [1]. Oleh karena itu, persepsi konsumen diperkirakan memengaruhi peningkatan EV melalui minat. **H11: Minat memediasi pengaruh persepsi konsumen terhadap peningkatan jumlah kendaraan listrik.**

Faktor teknis memengaruhi niat adopsi, yang kemudian memengaruhi perilaku [49]. Oleh karena itu, minat diperkirakan memediasi hubungan keandalan dan peningkatan EV.

H12: Minat memediasi pengaruh keandalan baterai terhadap peningkatan jumlah kendaraan listrik.

Berikut ini adalah rangkuman penelitian sebelumnya yang relevan dengan penelitian ini:

No	Judul	Peneliti & Tahun	Metode dan Hasil Utama	Kesenjangan dengan Penelitian Ini	Relevansi dengan Penelitian Ini
1	<i>Technological Reliability and Adoption of EVs: A Case Study of Europe</i>	Müller & Hoffmann (2019)	Metode: Kualitatif (wawancara industri & konsumen) Hasil Utama : Keandalan baterai menjadi faktor kunci bagi konsumen fleet dan individu	Studi kualitatif, belum ada pengukuran kuantitatif, serta terbatas pada pasar Eropa	Menguatkan dimensi keandalan teknis
2	<i>Battery Reliability and Consumer Trust in Electric Vehicle Adoption</i>	Sun et al. (2020)	Metode: Survei konsumen + SEM Hasil Utama : Keandalan baterai (umur pakai, degradasi, jarak tempuh) sangat memengaruhi niat konsumen membeli EV	Tidak mengaitkan dengan faktor harga; studi terbatas pada pasar Tiongkok	Memberi basis teknis mengenai keandalan; perlu dikaitkan perilaku konsumen di Indonesia
3	<i>Pengaruh Harga dan Infrastruktur terhadap Niat Beli Mobil Listrik di Indonesia</i>	Setiawan (2020) – Tesis Magister	Metode: Kuantitatif (regresi) Hasil Utama : Harga menjadi hambatan utama niat beli, infrastruktur SPKLU juga berpengaruh	Belum memasukkan variabel keandalan baterai maupun persepsi konsumen	Memberi basis konteks pasar Indonesia

4	<i>The Impact of Battery Cost Reduction on Electric Vehicle Adoption: Evidence from Global Market Trends</i>	Li et al. (2021)	Metode: Kuantitatif (analisis data pasar global) Hasil Utama : Penurunan harga baterai berkontribusi signifikan terhadap peningkatan daya saing EV dibanding kendaraan ICE	Tidak membahas konteks negara berkembang seperti Indonesia; hanya fokus pada aspek ekonomi	Menambah dimensi harga baterai sebagai driver struktural, perlu diuji relevansi lokal dan psikologis
5	<i>Consumers' Intention to Purchase Electric Vehicles: Influences of User Attitude and Perception</i>	Lashari, Ko & Jang (2021)	Metode: Survei (1.500 responden, Korea Selatan), SEM Hasil Utama: Hasil penelitian menunjukkan bahwa sikap positif konsumen terhadap manfaat lingkungan dan efisiensi biaya berkontribusi pada peningkatan niat membeli kendaraan listrik. Namun, kekhawatiran mengenai teknologi dan keterbatasan infrastruktur menjadi faktor penghambat signifikan.	Belum membahas pengaruh harga baterai secara spesifik dan faktor teknis keandalan baterai.	Menguatkan pentingnya pentingnya keandalan baterai

6	<i>Consumer Perceptions and Government Incentives for EV Adoption in Emerging Markets</i>	Prasetyo & Hidayat (2022)	Metode: Kuantitatif (survei + regresi) Hasil Utama : Persepsi positif (ramah lingkungan, efisiensi) dan insentif pemerintah meningkatkan minat beli EV	Tidak mengkaji faktor teknis (keandalan baterai) dan faktor harga baterai	Relevan untuk konteks Indonesia, perlu diperluas termasuk variabel teknis dan harga baterai
7	<i>Electric Vehicle Owners' Perception of Remanufactured Batteries: An Empirical Study in China</i>	Chinen et al. (2022)	Penelitian ini menyimpulkan bahwa niat membeli baterai hasil remanufaktur dipengaruhi oleh kesadaran konsumen terhadap manfaat biaya dan nilai ekonomisnya. Namun, kekhawatiran terkait risiko kualitas dapat diminimalisasi apabila konsumen memperoleh informasi yang memadai.	Fokus pada baterai bekas/remanufaktur, bukan harga & keandalan baterai baru untuk EV.	Menyoroti persepsi konsumen terhadap baterai remanufaktur, yang menegaskan bahwa konsumen lebih menerima baterai jika dipersepsikan hemat biaya

8	<i>Business Design of Public Electric Vehicle Charging Stations for Trans Java Cikampek– Surabaya Toll with the Dynamic System Approach</i>	Siregar & Prabowo (2023)	Metode: Kuantitatif – Pendekatan sistem dinamik dan analisis investasi. Hasil Utama: Perancangan model bisnis SPKLU di koridor strategis. Model bisnis dan kesiapan infrastruktur memperkuat keberlanjutan ekosistem kendaraan listrik	Tidak menguji hubungan persepsi konsumen dan keputusan adopsi kendaraan listrik secara empiris	Menguji secara empiris pengaruh persepsi konsumen terhadap minat masyarakat dalam konteks peningkatan penjualan kendaraan listrik
9	<i>Sustainable Mobility and Electric Vehicle Adoption: A Study on the Impact of Perceived Benefits and Risks</i>	Yildiz & Meidutė-Kavaliauskienė (2024)	Metode: <i>Structural Equation Modeling</i> (SEM) berbasis survei konsumen Hasil Utama: Temuan penelitian mengungkapkan bahwa manfaat yang dirasakan, seperti efisiensi dan kontribusi terhadap lingkungan, berpengaruh positif terhadap niat membeli kendaraan listrik. Sebaliknya, risiko finansial dan risiko performa kendaraan terbukti menurunkan niat pembelian.	Tidak mengintegrasikan faktor harga dan keandalan baterai sebagai variabel teknis utama.	Relevan untuk variabel informasi/persepsi

10	<i>Environmental Concern and Price Value in Electric Vehicle Adoption: Examining Intentions of Indian Consumers</i>	Hasan, Kirmani, Zaidi & Rehman - Luminous Insights (2024)	Metode: <i>Extended Theory of Planned Behavior</i> (TPB), survei konsumen. Hasil Utama: Studi ini menunjukkan bahwa kepedulian terhadap lingkungan serta persepsi nilai harga memiliki pengaruh signifikan terhadap niat konsumen dalam mengadopsi kendaraan listrik. Hal ini menegaskan bahwa faktor harga dan kesadaran lingkungan menjadi pertimbangan utama.	Tidak memasukkan variabel keandalan baterai sebagai faktor yang memengaruhi niat beli.	Mendukung argumen pentingnya pentingnya biaya baterai
----	---	---	--	--	---

11	<i>Some Critical Thinking on Electric Vehicle Battery Reliability: From Enhancement to Optimization</i>	Jing & Silfvenius (2025)	Metode: Review konseptual, analisis model keandalan baterai. Hasil Utama: Penelitian ini menekankan pentingnya konsep Zero-Life Reliability sebagai pendekatan baru untuk menilai keandalan baterai sejak awal masa pakai. Hasil studi menunjukkan bahwa optimasi sistem baterai diperlukan agar kendaraan listrik memiliki tingkat keandalan yang berkelanjutan.	Belum mengaitkan keandalan baterai dengan persepsi konsumen dan dampaknya terhadap penjualan EV.	Memberi dasar variabel persepsi konsumen
12	Studi Kelayakan Pemasangan Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU) di Wilayah Kota Makassar	Jaenuddin, Prabowo, & Jaenuddin (2025)	Metode: Kuantitatif – Analisis kelayakan investasi (NPV, IRR, Payback Period) Hasil Utama: Kelayakan investasi dipengaruhi biaya awal, tingkat utilisasi, dan tarif listrik	Fokus pada aspek finansial dan infrastruktur, belum mengkaji faktor psikologis dan perilaku konsumen	Penelitian ini menambahkan perspektif perilaku konsumen dengan menguji pengaruh harga baterai terhadap minat dan peningkatan penjualan kendaraan listrik