EV Paradox

Transisi Kendaraan Listrik dalam Perspektif Ekonomi Sirkular



Nanang Taufik Syarifudin, Gerry Hendiansa, Hafizhuddin Ali , Dian Dwi Laksani,
Dina Kurniasari, JB Borsak P Sitanggang, Ari Satria, Suriaty Paramінta Putri,
Mohamad Rizan, Darma Rika Swaramarinda, Indra Fahrizal

The EV Paradox

Transisi Kendaraan Listrik dalam Perspektif Ekonomi Sirkular

Nanang Taufik Syarifudin, Gerry Hendiansa, Hafizhuddin Ali, Dian Dwi Laksani,
Dina Kurniasari, JB Borsak P Sitanggang, Ari Satria, Suriaty Paraminta Putri,
Mohamad Rizan, Darma Rika Swaramarinda, Indra Fahrizal

Penerbit widina

THE EV PARADOX
Transisi Kendaraan Listrik dalam Persepektif Ekonomi Sirkular

Penulis:
Nanang Taufik Syarifudin, Gerry Hendiansa, Hafizhuddin Ali, Dian Dwi Laksani, Dina Kurniasari, JB Borsak P Sitanggang, Ari Satria, Suriaty Paraminta Putri, Mohamad Rizan, Darma Rika Swaramarinda, Indra Fahrizal

Desain Cover:
Helmaria Ulfa

Sumber Ilustrasi:
www.freepik.com

Tata Letak:
Handarini Rohana

Editor:
Neneng Sri Wahyuni

ISBN:
978-634-317-477-6

Cetakan Pertama:
Oktober, 2026

Hak Cipta Dilindungi Oleh Undang-Undang
by Penerbit Widina Media Utama

Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit.

PENERBIT:
WIDINA MEDIA UTAMA
Komplek Puri Melia Asri Blok C3 No. 17 Desa Bojong Emas
Kec. Solokan Jeruk Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat

Anggota IKAPI No. 519/JBA/2025
Website: www.penerbitwidina.com
Instagram: @penerbitwidina
Telepon (022) 87355370

DISCLAIMER
PENGGUNAAN KECERDASAN BUATAN (AI)

Dalam proses penyusunan buku The EV Paradox: Transisi Kendaraan Listrik dalam Perspektif Ekonomi Sirkular, teknologi kecerdasan buatan (Artificial Intelligence/AI) digunakan sebagai alat bantu pendukung penyusunan naskah. Pemanfaatannya tidak dimaksudkan untuk menggantikan peran, pertimbangan, maupun tanggung jawab akademik para penulis.

Seluruh gagasan, substansi pembahasan, interpretasi, data, kutipan, dan referensi yang disajikan dalam buku ini tetap menjadi tanggung jawab para penulis. Materi yang dibantu oleh teknologi AI ditelaah dan diverifikasi kembali oleh penulis sebelum digunakan dalam naskah. Penulis bertanggung jawab atas ketepatan informasi, keaslian karya, serta kepatuhan terhadap prinsip etika dan integritas akademik.

Teknologi AI tidak dicantumkan sebagai penulis dan tidak menggantikan kewajiban penulis untuk memastikan bahwa seluruh isi buku dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas tersusunnya buku ini, yang membahas transformasi menuju ekonomi sirkular dalam industri baterai kendaraan listrik (electric vehicle/EV), dengan menempatkan keberlanjutan lingkungan, efisiensi ekonomi, tata kelola industri, dan keadilan sosial sebagai bagian penting dari transisi energi. Perkembangan kendaraan listrik membuka peluang besar bagi pengurangan emisi dan transformasi sistem transportasi. Namun, perubahan tersebut juga menghadirkan tantangan baru, terutama terkait kebutuhan bahan baku mineral, dampak lingkungan kegiatan pertambangan, pengelolaan baterai setelah masa pakainya berakhir, serta distribusi manfaat dan risiko di sepanjang rantai nilai industri.

Buku ini menguraikan bahwa transisi menuju industri baterai yang berkelanjutan tidak cukup hanya mengandalkan peningkatan produksi kendaraan listrik dan penggunaan energi rendah karbon. Diperlukan perubahan mendasar dalam cara sumber daya dikelola, produk dirancang, material dimanfaatkan kembali, dan limbah ditangani. Dalam kerangka ekonomi sirkular, baterai tidak semata-mata dipandang sebagai produk yang memiliki masa pakai terbatas, melainkan sebagai sumber daya yang masih berpotensi memberikan nilai ekonomi melalui perbaikan, penggunaan kembali untuk kebutuhan lain (*second-life*), remanufaktur, dan daur ulang. Pendekatan ini menekankan pentingnya memperpanjang masa manfaat produk, mengurangi ketergantungan terhadap bahan baku perawan, serta menekan tekanan terhadap lingkungan.

Pembahasan dalam buku ini juga menyoroti berbagai persoalan tata kelola yang memengaruhi keberhasilan ekonomi sirkular, termasuk asimetri informasi, hubungan antara pelaku dalam rantai pasok, dan kebutuhan akan mekanisme transparansi serta akuntabilitas. Instrumen seperti *Battery-as-a-Service*, desain baterai yang memudahkan pembongkaran (*Design for Disassembly*), pengukuran sirkularitas material, penilaian daur hidup produk (*Life Cycle Assessment*), dan *Digital Battery Passport* menjadi bagian dari pembahasan mengenai peluang penguatan sistem pengelolaan baterai. Berbagai pendekatan tersebut memperlihatkan bahwa inovasi teknologi perlu disertai dengan sistem informasi, kelembagaan, dan regulasi yang mampu mendukung pemanfaatan sumber daya secara lebih bertanggung jawab.

Lebih jauh, buku ini menempatkan transisi energi sebagai proses perubahan yang tidak hanya berkaitan dengan teknologi dan pertumbuhan ekonomi, tetapi juga dengan keadilan dalam pembagian manfaat, perlindungan kelompok rentan, dan keterlibatan masyarakat yang terdampak. Konsep *Circular Just Transition* menjadi perspektif penting untuk memastikan bahwa penerapan ekonomi sirkular tidak sekadar meningkatkan efisiensi penggunaan material, tetapi juga memperhatikan kondisi pekerja, masyarakat di sekitar wilayah pertambangan dan industri, serta pelaku usaha yang terlibat dalam pengelolaan baterai bekas. Dengan demikian, keberhasilan transisi menuju ekonomi sirkular perlu dinilai berdasarkan keterpaduan antara manfaat ekonomi, perlindungan lingkungan, dan keadilan sosial.

Secara keseluruhan, buku ini diharapkan dapat menjadi bahan bacaan dan rujukan bagi akademisi, pembuat kebijakan, pelaku industri otomotif dan baterai, serta berbagai pihak yang memiliki perhatian terhadap transisi energi dan pembangunan berkelanjutan. Melalui pendekatan teoretis, pembahasan kebijakan, dan contoh penerapan, buku ini berupaya memperluas pemahaman mengenai tantangan sekaligus peluang pengembangan ekonomi sirkular dalam industri baterai kendaraan listrik. Harapannya, gagasan yang disajikan dapat mendukung pengembangan kebijakan dan praktik industri yang tidak hanya berorientasi pada pertumbuhan, tetapi juga pada efisiensi sumber daya, tanggung jawab lingkungan, transparansi tata kelola, dan kesejahteraan masyarakat.

Jakarta, November 2026

Dekan Fakultas Ekonomi dan Bisnis
Universitas Negeri Jakarta
Prof. Dr. Mohamad Rizan, S.E, M.M.

DAFTAR ISI

DISCLAIMER AI ..... **iii**
KATA PENGANTAR ..... **iv**
DAFTAR ISI ..... **vi**
BAB 1 PARADOKS KENDARAAN LISTRIK **1**
A. Paradoks Hijau Dalam Transisi Kendaraan Listrik: Konteks dan Urgensi 1
B. Ekonomi Sirkular 4
C. Sintesis Alur Argumen 7
D. Kerangka Konseptual Orisinal Dalam Buku Ini 16
E. Arahan Manajerial, Kebijakan, dan Akademik 17
F. Struktur Dan Peta Baca Buku 20
G. Penutup 20
BAB 2 DEKONSTRUKSI "THE EV PARADOX": 25
A. Pendahuluan 25
B. The Ev Paradox 27
C. Permasalahan dan Kesenjangan 30
D. Solusi dan Inovasi Model Bisnis/Kebijakan 33
E. Arahan Manajerial dan Kebijakan 36
F. Rangkuman 37
BAB 3 KEADILAN SOSIAL DAN JUST TRANSITION DI SEKTOR HULU 41
A. Pendahuluan 41
B. Transisi Energi Berkeadilan 45
C. Keadilan Sosial Dalam Industri Kendaraan Listrik 50
D. Solusi dan Inovasi Business Model/Kebijakan 55
E. Rangkuman 59
BAB 4 INOVASI DESIGN FOR DISASSEMBLY (DFD) DALAM MANUFAKTUR BATERAI 65
A. Pendahuluan 65
B. Design For Disassembly Pada Baterai Kendaraan Listrik 66
C. Kajian Paradoks: Ketika Inovasi Manufaktur Mengunci Sirkularitas 68
D. Solusi dan Inovasi: Panduan Manajerial Untuk Mengadopsi DFD 70
E. Arah Manajerial dan Kebijakan 73
F. Rangkuman 74

BAB 5 TRANSFORMASI EV (ELECTRIC VEHICLE) MENUJU PRODUCT-SERVICE SYSTEMS (PSS) DAN BATTERY-AS-A-SERVICE (BAAS): KAJIAN TEKNO-EKONOMI DAN BENCHMARKING GLOBAL 79
A. Pendahuluan 79
B. Battery-As-A-Service dan Ekonomi Sirkular 82
C. Evaluasi Kritis Terhadap Regulasi/Praktik Saat Ini 90
D. Solusi dan Inovasi Model Bisnis 95
E. Arahan Manajerial dan Kebijakan 103
F. Rangkuman 107
BAB 6 TRANSPARANSI RANTAI PASOK BERBASIS DIGITAL BATTERY PASSPORT (DBP) DAN BLOCKCHAIN: MENGATASI ASIMETRI INFORMASI UNTUK EKONOMI SIRKULAR BATERAI EV 115
A. Pendahuluan 115
B. Digital Battery Passport 116
C. Asimetri Informasi dan Tata Kelola Baterai Kendaraan Listrik 119
D. Digital Battery Passport 124
E. Arahan Manajerial dan Kebijakan 129
F. Rangkuman 131
BAB 7 MODEL BISNIS SECOND-LIFE BATERAI EV UNTUK SISTEM PENYIMPANAN ENERGI/BESS 135
A. Pendahuluan 135
B. Second-Life Battery 136
C. Permasalahan dan Kesenjangan 139
D. Solusi dan Inovasi Model Bisnis 143
E. Arahan Manajerial dan Kebijakan 154
F. Rangkuman 157
BAB 8 INSTRUMEN FISKAL DAN PEMBIAYAAN BERKELANJUTAN UNTUK EKOSISTEM SIRKULAR 161
A. Pendahuluan 162
B. Internalisasi Biaya Lingkungan dan Instrumen Kebijakan Fiskal 162
C. Permasalahan dan Kesenjangan: Mengapa Bahan Perawan (Virgin Material) Selalu Menang? 165
D. Solusi dan Inovasi: Bauran Kebijakan Fiskal Yang Agresif dan Instrumen Pembiayaan Berkelanjutan 167
E. Arahan Manajerial dan Kebijakan 170
F. Rangkuman 171
PENUTUP 175

BAB 1

PARADOKS KENDARAAN LISTRIK

A. PARADOKS HIJAU DALAM TRANSISI KENDARAAN LISTRIK: KONTEKS DAN URGENSI

Transisi menuju kendaraan listrik (electric vehicle/EV) telah menjadi salah satu pilar utama agenda dekarbonisasi transportasi global. Pada tahun 2050, diperkirakan pangsa pasar EV dapat mencapai 65–75 persen dari total penjualan mobil global, seiring dengan target net zero emission dan memperketat regulasi emisi kendaraan bermotor konvensional (World Economic Forum, 2026). Namun, di balik narasi hijau yang melekat pada kendaraan listrik, tersembunyi sebuah kontradiksi struktural yang oleh buku ini disebut sebagai "The EV Paradox: Transisi Kendaraan Listrik dalam Perspektif Ekonomi Sirkular", di mana upaya mendekarbonisasi sektor transportasi melalui elektrifikasi justru dapat menciptakan tekanan intensif terhadap ekstraksi sumber daya alam di hulu rantai nilai, sekaligus memunculkan ancaman limbah baterai berskala masif di titik akhir masa pakai.

Sebuah kendaraan listrik umumnya mengandung lebih dari 200 kilogram mineral kritis, atau sekitar enam kali lebih banyak dibandingkan mobil konvensional dengan konsentrasi nilai terbesar berada pada baterainya (World Economic Forum, 2026). Permintaan terhadap litium, nikel, kobalt, dan grafit diproyeksikan meningkat tajam seiring pertumbuhan pasar EV, sementara pasokan sejumlah mineral tersebut diperkirakan mengalami defisit signifikan pada pertengahan dekade 2030-an (Ellen MacArthur Foundation, 2026). Ironisnya, sistem baterai EV saat ini masih beroperasi dalam logika linier "ambil, buat, buang" yang rentan terhadap gejolak harga, disrupsi rantai pasok, dan pemborosan sumber daya strategis yang sesungguhnya masih tersimpan dalam baterai-baterai yang telah "pensiun" dari kendaraan (Ellen MacArthur Foundation, 2026).

DAFTAR PUSTAKA

AllianceBernstein. (2026, 2 April). Blended finance: Bridging the sustainability funding gap. https://www.alliancebernstein.com/corporate/en/insights/investment-insights/blended-finance-bridging-the-sustainability-funding-gap.html

Bocken, N. M. P., de Pauw, I., Bakker, C., & van der Grinten, B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. Journal of Industrial and Production Engineering, 33(5), 308–320. https://doi.org/10.1080/21681015.2016.1172124

Business & Human Rights Resource Centre. (2025). Powering electric vehicles: Human rights impacts of Indonesia's nickel rush. https://www.business-humanrights.org/en/from-us/briefings/powering-electric-vehicles-human-rights-in-indonesias-nickel-supply-chains/

Chen, Z., Sarkis, J., & Yildizbasi, A. (2025). Digital transformation for safer circular lithium-ion battery supply chains: A blockchain ecosystem-data perspective. International Journal of Production Research, 63(5), 1585–1606. https://doi.org/10.1080/00207543.2024.2381224

Cheng, M., Sun, H., Wei, G., Zhou, G., & Zhang, X. (2022). A sustainable framework for the second-life battery ecosystem based on blockchain. eTransportation, 12, 100206. https://doi.org/10.1016/j.etran.2022.100206

Chigbu, B. I. (2024). Advancing sustainable development through circular economy and skill development in EV lithium-ion battery recycling: A comprehensive review. Frontiers in Sustainability, 5, 1409498. https://doi.org/10.3389/frsus.2024.1409498

Conformi. (2026). Regulation (EU) 2023/1542 — Battery passport & end-of-life. https://conformi.eu/en/knowledge/32023R1542

Ellen MacArthur Foundation. (2026, 20 Januari). Circular EV battery economy turns industry risk into reward [Siaran pers]. https://www.ellenmacarthurfoundation.org/press-release-circular-ev-battery-economy-turns-industry-risk-into-reward

Eva Daily. (2026, 7 Mei). Indonesia's nickel mining boom exacts a heavy environmental toll. https://www.evadaily.com/article/indonesia-nickel-mining-environmental-toll

Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The circular economy – A new sustainability paradigm? Journal of Cleaner Production, 143, 757–768. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048

Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. Journal of Cleaner Production, 114, 11–32. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007

International Finance Corporation. (t.t.). Green bonds. Diakses Juni 2026, dari https://www.ifc.org/en/about/investor-relations/green-bonds

Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. Resources, Conservation and Recycling, 127, 221–232. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005

Lindhqvist, T. (2000). Extended producer responsibility in cleaner production: Policy principle to promote environmental improvements of product systems [Disertasi doktoral, Lund University].

Regulation (EU) 2023/1542 of the European Parliament and of the Council of 12 July 2023 concerning batteries and waste batteries, amending Directive 2008/98/EC and Regulation (EU) 2019/1020 and repealing Directive 2006/66/EC. (2023). Official Journal of the European Union, L191, 1–117. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1542/oj/eng

Shen, D., Liu, Q., & Cudjoe, D. (2024). Competing manufacturers adopt blockchain for tracing power batteries: Is there a win-win zone? Energies, 17(12), 2868. https://doi.org/10.3390/en17122868

Toorajipour, R. (2024). Implementing circular business models for the second-life battery of electric vehicles: Challenges and enablers from an ecosystem perspective. Business Strategy and the Environment. https://doi.org/10.1002/bse.3941

Tukker, A. (2004). Eight types of product–service system: Eight ways to sustainability? Experiences from SusProNet. Business Strategy and the Environment, 13(4), 246–260. https://doi.org/10.1002/bse.414

UL Solutions. (2025). Industry insights into EU Battery Regulation 2023/1542. https://www.ul.com/insights/industry-insights-eu-battery-regulation-20231542

World Economic Forum. (2026, 29 Mei). Why we need a circular economy for EV batteries and critical minerals. https://www.weforum.org/stories/2026/05/why-we-need-a-circular-economy-for-ev-batteries-and-critical-minerals/

BAB 2

DEKONSTRUKSI "*THE EV PARADOX*":

Lanskap Regulasi dan Tanggung Jawab Eksternalitas Produsen
(*Extended Producer Responsibility – EPR*)

A. PENDAHULUAN

Transisi kendaraan listrik atau *electric vehicle* (EV) diposisikan sebagai pilar dekarbonisasi sektor transportasi global. Namun, di balik narasi optimisme tersebut, tumbuh sebuah paradoks yang semakin nyata: manfaat penurunan emisi pada fase penggunaan kendaraan dapat diimbangi, bahkan dalam konteks tertentu dikompromikan, oleh jejak material, energi, dan limbah yang muncul pada fase ekstraksi mineral kritis, manufaktur baterai, serta pengelolaan akhir masa pakai. Paradoks ini memperlihatkan bahwa percepatan adopsi EV tidak otomatis identik dengan keberlanjutan apabila sistem industrinya tetap mengikuti logika linear "*take-make-dispose*". Dengan kata lain, jika kendaraan listrik hanya memindahkan titik pencemaran dari knalpot ke tambang, pabrik, dan *landfill* limbah berbahaya, maka proyek dekarbonisasi berisiko menjadi sekadar relokasi eksternalitas, bukan transformasi sistemik (IEA, 2024; European Union, 2023).

Fenomena tersebut semakin relevan karena pertumbuhan permintaan baterai berlangsung sangat cepat. *International Energy Agency* (IEA) melaporkan bahwa permintaan baterai untuk sektor energi telah menembus 1 TWh pada 2024, dengan baterai EV menyumbang lebih dari 950 GWh atau meningkat sekitar 25% dibandingkan 2023. Pada saat yang sama, kebutuhan mineral kritis seperti litium, nikel, kobalt, grafit, dan tembaga menjadi semakin strategis, sehingga rantai nilai EV makin bergantung pada ketersediaan sumber daya primer, kapasitas pengolahan, dan infrastruktur daur ulang (IEA, 2025a; IEA, 2024). Tekanan ini membuat model linear menjadi semakin rapuh karena ketergantungan terhadap ekstraksi primer bukan hanya meningkatkan dampak ekologis, tetapi juga

DAFTAR PUSTAKA

Anari, F. P., Hargaden, V., Papakostas, N., & Ghadimi, P. (2025). A systematic literature review of methodologies for assessing the circularity of electric vehicles. Applied Sciences, 15(19), 10622. https://doi.org/10.3390/app151910622

Bappenas. (2024). Peta jalan dan rencana aksi nasional ekonomi sirkular Indonesia 2025–2045. Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/Bappenas.

European Commission. (2026). Batteries. https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/batteries_en

European Union. (2023). Regulation (EU) 2023/1542 of the European Parliament and of the Council of 12 July 2023 concerning batteries and waste batteries. Official Journal of the European Union. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1542/oj/eng

Global Battery Alliance. (2026). Establishing a sustainable and responsible battery value chain. https://www.globalbattery.org/

Habiburrahman, M., Setyoko, A. T., Nurcahyo, R., Daulay, H., & Natsuda, K. (2025). Circular economy strategy for waste management companies of electric vehicle batteries in Indonesia. International Journal of Productivity and Performance Management, 74(11), 21–45. https://doi.org/10.1108/IJPPM-01-2024-0015

IEA. (2024). EV battery supply chain sustainability: Life cycle impacts and the role of recycling. International Energy Agency. https://www.iea.org/reports/ev-battery-supply-chain-sustainability

IEA. (2025a). Global EV Outlook 2025: Electric vehicle batteries. International Energy Agency. https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2025/electric-vehicle-batteries

IEA. (2025b). EU sustainable batteries regulation. International Energy Agency. https://www.iea.org/policies/16763-eu-sustainable-batteries-regulation

ITU. (2026). Indonesia country page: E-waste and extended producer responsibility. International Telecommunication Union. https://www.itu.int/en/ITU-D/Environment/Pages/Priority-Areas/E-waste/Country%20Pages/Indonesia.aspx

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2021). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 2021 tentang Baku Mutu Emisi Daur Ulang Baterai Lithium.

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2024). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 9 Tahun 2024 tentang Pengelolaan Sampah yang Mengandung Bahan Berbahaya dan Beracun dan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun.

OECD. (2024). Extended producer responsibility. Organisation for Economic Co-operation and Development. https://www.oecd.org/en/publications/extended-producer-responsibility_67587b0b-en.html

Picatoste, A., Schulz-Mönninghoff, M., Niero, M., Justel, D., & Mendoza, J. M. F. (2024). Comparing the circularity and life cycle environmental performance of batteries for electric vehicles. Resources, Conservation and Recycling, 210, 107833. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107833

Pemerintah Republik Indonesia. (2019). Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 55 Tahun 2019 tentang Percepatan Program Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai (Battery Electric Vehicle) untuk Transportasi Jalan.

Pemerintah Republik Indonesia. (2020). Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 27 Tahun 2020 tentang Pengelolaan Sampah Spesifik.

Pemerintah Republik Indonesia. (2023). Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 79 Tahun 2023 tentang Perubahan atas Peraturan Presiden Nomor 55 Tahun 2019 tentang Percepatan Program Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai (Battery Electric Vehicle) untuk Transportasi Jalan.

Schrijvers, D., Schaubroeck, T., Vidinha, M. V. M., Saidani, M. S., Poncelet, A. C., Amaral, M., Entrena Barbero, E., Gallego Fernández, M., Rydberg, T., & Adibi, N. (2026). Interim tandems of life cycle assessment methods and circularity indicators—elaboration for the circular bio-economy. Frontiers in Sustainability, 7, 1766353. https://doi.org/10.3389/frsus.2026.1766353

BAB 3

KEADILAN SOSIAL DAN JUST TRANSITION DI SEKTOR HULU

A. PENDAHULUAN

Perubahan iklim telah menjadi tantangan global yang mendorong negara-negara di seluruh dunia untuk mempercepat transformasi menuju ekonomi rendah karbon. Salah satu sektor yang menjadi fokus utama dalam upaya dekarbonisasi adalah sektor transportasi, yang selama ini berkontribusi signifikan terhadap emisi gas rumah kaca. Dalam konteks tersebut, kendaraan listrik (*Electric Vehicle* atau EV) dipromosikan sebagai solusi strategis untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dan menekan emisi karbon pada sektor transportasi

Dalam satu dekade terakhir, pertumbuhan pasar kendaraan listrik meningkat secara signifikan. China, Amerika Serikat, dan negara-negara Eropa menerapkan berbagai kebijakan insentif, mulai dari subsidi pembelian, pengembangan infrastruktur pengisian daya, hingga regulasi emisi kendaraan. Menurut International Energy Agency (2023), penjualan kendaraan listrik global terus meningkat dan menjadi salah satu pendorong utama transformasi industri otomotif dunia.

Pertumbuhan pasar kendaraan listrik menunjukkan tren yang sangat positif dalam beberapa tahun terakhir. Negara-negara seperti China, Amerika Serikat, dan berbagai negara di Eropa telah menerapkan berbagai kebijakan insentif untuk mempercepat adopsi EV. Menurut laporan McKinsey (2025), sekitar 50% penjualan kendaraan baru di China telah didominasi oleh kendaraan listrik, sementara pasar Eropa dan Amerika Serikat terus mengalami pertumbuhan yang signifikan. Menurut International Energy Agency (2023), penjualan kendaraan listrik global terus meningkat dan menjadi salah satu pendorong utama transformasi industri otomotif dunia.

DAFTAR PUSTAKA

BCG. (2020). *The case for a circular economy in electric vehicle batteries*. Boston Consulting Group.

Bell, K. (2024). International solidarity for a de-colonised just transition: Electric vehicles and lithium in Mexico and Europe. *Contemporary Social Science, 19*(1), 1–17. https://doi.org/10.1080/21582041.2024.2302615

Boateng, K., & Klopp, J. M. (2024). The electric vehicle transition: A blessing or a curse for improving extractive industries and mineral supply chains? *Energy Research & Social Science, 110*, 103452. https://doi.org/10.1016/j.erss.2024.103452

Boston Consulting Group. (2026). *Ecosystems are the missing link in critical minerals supply chains*. Boston Consulting Group.

Dodd, M., & Barandiarán, J. (2023). Green extractivism and the global energy transition: Lithium, nickel, and cobalt in the Global South. *The Extractive Industries and Society, 13*, 101210.

Ellen MacArthur Foundation. (2026). *Circular economy could prevent an EV battery minerals bottleneck*. *Forbes*.

Freeman, R. E. (1984). *Strategic management: A stakeholder approach*. Pitman.

Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy: A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production, 143*, 757–768.

Grantham Research Institute. (2026). *Just transition and global supply chains*. London School of Economics and Political Science.

Harvard Business Review. (2023). *The critical minerals challenge behind the clean energy transition*. Harvard Business Review Press.

Haryadi, H., & Widodo, T. (2023). Indonesia's nickel downstream policy and the global electric vehicle supply chain. *Resources Policy, 82*, 103467.

Heffron, R. J., & McCauley, D. (2018). *The concept of energy justice across the disciplines*. Palgrave Macmillan.

International Energy Agency. (2021). *The role of critical minerals in clean energy transitions*. IEA Publishing.

International Energy Agency. (2023). *Global EV outlook 2023: Catching up with climate ambitions*. IEA Publishing.

International Renewable Energy Agency. (2023). *Geopolitics of the energy transformation: Critical materials*. IRENA.

Jenkins, K., McCauley, D., Heffron, R., Stephan, H., & Rehner, R. (2016). Energy justice: A conceptual review. In *Energy justice across borders* (pp. 27–58). Springer.

Lèbre, É., Owen, J. R., Corder, G., Kemp, D., Stringer, M., & Valenta, R. (2020). The social and environmental complexities of extracting energy transition metals. *Nature Communications, 11*(1), 4823. https://doi.org/10.1038/s41467-020-18661-9

McKinsey & Company. (2023). *The net-zero materials transition: Implications for global supply chains*. McKinsey Global Institute.

McKinsey & Company. (2024). *Securing critical minerals for the energy transition*. McKinsey Sustainability.

McKinsey & Company. (2025). *New twists in the electric vehicle market: A consumer perspective*. McKinsey Center for Future Mobility.

MIT Sloan Management Review. (2023). *Building sustainable and ethical battery supply chains*. MIT Sloan Management Review.

Newell, P., & Mulvaney, D. (2013). The political economy of the just transition. In J. P. Meadowcroft, O. Langhelle, & A. Ruud (Eds.), *Governance, transition and sustainable development* (pp. 132–148). Edward Elgar Publishing.

Organisation for Economic Co-operation and Development. (2023). *OECD due diligence guidance for responsible supply chains of minerals from conflict-affected and high-risk areas* (3rd ed.). OECD Publishing.

Rouhana, K., Kothari, A., & Singh, N. (2024). Ensuring a just transition: The electric vehicle revolution from a human rights perspective. *Journal of Cleaner Production, 451*, 141972. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141972

Saito, K. (2024). *Slow down: The degrowth manifesto*. Weidenfeld & Nicolson.

Schlosberg, D. (2007). *Defining environmental justice: Theories, movements, and nature*. Oxford University Press.

Sovacool, B. K., & Dworkin, M. H. (2015). *Global energy justice: Problems, principles, and practices*. Cambridge University Press.

Sovacool, B. K., Hook, A., Martiskainen, M., & Brock, A. (2020). The decarbonisation divide: Contextualizing landscapes of low-carbon exploitation and toxicity in Africa. *Global Environmental Change, 60*, 102028. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2019.102028

Sovacool, B. K., Hook, A., Martiskainen, M., Brock, A., & Turnheim, B. (2022). Low-carbon technologies and just energy transition: Prospects for electric vehicles. *Energy Conversion and Management: X, 15*, 100262. https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2022.100262

Springer. (2024). *Beyond the just transition: Critical inquiries from the pluriverse*. Springer Nature.

United Nations Development Programme. (2024). *Critical minerals for energy transition: Ensuring equitable and sustainable development*. UNDP.

United Nations Environment Programme. (2024). *Global resources outlook 2024: Bend the trend*. UNEP.

World Bank. (2020). *Minerals for climate action: The mineral intensity of the clean energy transition*. World Bank Group.

World Economic Forum. (2023). *Securing minerals for the energy transition*. World Economic Forum.

Zhou, Y., Wang, M., Hao, H., Johnson, L., Wang, H., & Hao, H. (2021). Plug-in electric vehicle market penetration and incentives: A global review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 26*(2), 1–24. https://doi.org/10.1007/s11027-021-09958-7

BAB 4

INOVASI *DESIGN FOR DISASSEMBLY* (DFD) DALAM MANUFAKTUR BATERAI

A. PENDAHULUAN

Coba kita renungkan skenarionya di mana seorang insinyur otomotif sukses menciptakan baterai dengan efisiensi tertinggi: berbobot ringan, berdimensi ringkas, hemat biaya produksi, dan memiliki kapasitas energi yang jauh melampaui generasi pendahulunya. Inovasi semacam ini tentu akan mendapat apresiasi luar biasa dari industri. Namun, satu dekade kemudian, ketika baterai tersebut memasuki masa purnapakai, tidak ada satu pun teknisi yang memahami prosedur pembongkarannya secara aman, dan fasilitas daur ulang kesulitan memprosesnya secara efisien. Situasi ini merepresentasikan wujud nyata dari paradoks kendaraan listrik (**EV Paradox**) yang menjadi diskursus utama dalam karya ini (IEA, 2024).

Transisi global menuju kendaraan listrik (*Electric Vehicle*/EV) berlangsung dengan sangat cepat. Namun, di balik narasi besar tentang dekarbonisasi transportasi, tersimpan sebuah ironi yang belum banyak dibahas secara serius, yaitu baterai lithium-ion yang menjadi jantung kendaraan listrik dirancang hampir sepenuhnya untuk performa maksimal di fase penggunaan, tanpa mempertimbangkan apa yang akan terjadi saat baterai itu pensiun. Akibatnya, jutaan ton baterai bekas berpotensi menjadi limbah beracun yang tidak bisa dikelola secara sirkular.

Bab ini mengkaji titik temu antara rekayasa manufaktur dan tanggung jawab ekologis melalui penerapan prinsip *Design for Disassembly* (DfD) pada baterai EV. DfD merupakan paradigma perancangan yang secara proaktif mengintegrasikan kemudahan pembongkaran produk pada akhir siklus hidupnya, sehingga seluruh komponen dapat diperbaiki, direkondisi, dimanfaatkan kembali (second-life), atau didaur ulang secara presisi (Kong et al., 2022). Sejalan dengan esensi Bab 1, DfD bukan sekadar preferensi teknis, melainkan prasyarat absolut untuk mendisrupsi model ekonomi

DAFTAR PUSTAKA

Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). (2022). Strategi Nasional Pengelolaan Baterai Kendaraan Listrik. Jakarta: BPPT.

Ellen MacArthur Foundation. (2015). Towards a Circular Economy: Business Rationale for an Accelerated Transition. Isle of Wight: Ellen MacArthur Foundation.

Ellen MacArthur Foundation & Granta Design. (2019). Circularity Indicators: An Approach to Measuring Circularity (Version 1.3). Isle of Wight: Ellen MacArthur Foundation.

European Parliament. (2023). Regulation (EU) 2023/1542 on Batteries and Waste Batteries. Official Journal of the European Union L 191.

Harper, G., Sommerville, R., Kendrick, E., Driscoll, L., Slater, P., Stolkin, R., Walton, A., Christensen, P., Heidrich, O., Lambert, S., Abbott, A., Ryder, K., Gaines, L., & Anderson, P. (2019). Recycling Lithium-Ion Batteries from Electric Vehicles. Nature, 575, 75–86. doi:10.1038/s41586-019-1682-5

International Energy Agency (IEA). (2024). Global EV Outlook 2024. Paris: IEA.

Kementerian Perindustrian RI. (2023). Peta Jalan Industri Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai. Jakarta: Kemenperin.

Kong, G., Zhou, Z., Pecht, M., & Wen, C. (2022). Design for Disassembly: Approaches for Enhancing Recyclability of Lithium-Ion Batteries. iScience, 25(12), 105428. doi:10.1016/j.isci.2022.105428

Lamp, P., Eulitz, C., Gerl, B., & Sturm, J. (2022). Cell-to-Pack Technology: Promises and Challenges for Recycling. Journal of Power Sources, 542, 231790.

Lindahl, J., & Nordelöf, A. (2023). Modular Battery Design for Second-Life Applications: A Techno-Economic Analysis. Resources, Conservation and Recycling, 190, 106845.

Lindhqvist, T. (2000). Extended Producer Responsibility in Cleaner Production. Lund: IIIEE Lund University.

Morales Ibarra, R., Behrens, A., Espinoza, L. A. T., & Tuma, A. (2022). End-of-Life Lithium-Ion Battery Management: Regulatory Landscape and Technical Challenges. Journal of Cleaner Production, 335, 130365.

Peraturan Pemerintah No. 74 Tahun 2021 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun.

Renault Group. (2022). Re-Factory Flins: Europe's First Circular Economy Factory for Mobility. Flins: Renault Group.

Romare, M., & Dahllöf, L. (2017). The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries. Stockholm: IVL Swedish Environmental Research Institute.

Stahel, W. R. (2019). The Circular Economy: A User's Guide. London: Routledge.

Stellantis NV. (2023). Sustainability and Circular Economy Report 2023. Amsterdam: Stellantis.

Tesla Inc. (2023). 2023 Impact Report: Battery and Powertrain. Palo Alto: Tesla.

Volkswagen AG. (2023). Salzgitter Battery Recycling Plant: Technical and Economic Report 2023. Wolfsburg: VW.

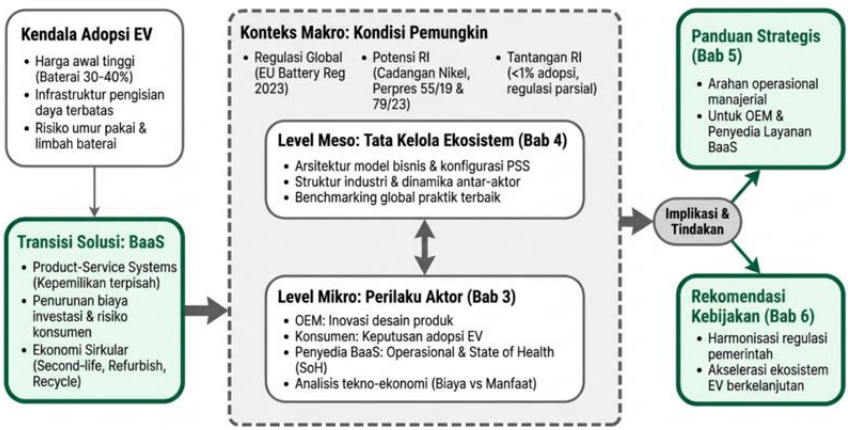
Volvo Cars. (2023). Circular Economy Report 2023: Battery Reuse and Disassembly. Gothenburg: Volvo Cars.

Zhao, X., Iyer, L. M., Pecht, M., & Bhatt, D. (2022). Battery Disassembly Cost Modeling: Impact of Design Choices on End-of-Life Economics. Applied Energy, 310, 118549.

BAB 5

TRANSFORMASI EV (ELECTRIC VEHICLE) MENUJU PRODUCT-SERVICE SYSTEMS (PSS) DAN BATTERY-AS-A-SERVICE (BAAS): KAJIAN TEKNO-EKONOMI DAN BENCHMARKING GLOBAL

A. PENDAHULUAN



Peralihan global menuju sistem mobilitas yang berkelanjutan telah menjadikan kendaraan listrik *(Electric Vehicle/EV)* sebagai salah satu alternatif strategis untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Namun, penerapan EV secara luas masih terkendala oleh sejumlah faktor, terutama biaya pembelian awal yang relatif tinggi, belum memadainya infrastruktur pengisian daya, serta kekhawatiran mengenai masa pakai dan pengelolaan baterai setelah tidak lagi digunakan. Sebagai komponen dengan nilai tertinggi, baterai lithium-ion menyumbang sekitar 30–40% dari total biaya kendaraan sehingga

DAFTAR PUSTAKA

Adams, R., et al. (2022). Regulatory challenges for product-service systems. *Journal of Cleaner Production*, 340, 130-145.

Adzhani, et al. (2025). Electric vehicle adoption barriers in Indonesia: Consumer perspective analysis. *Transportation Research*, 12(3), 45-67.

Ahuja, et al. (2020). Battery-as-a-Service: Economic and environmental implications for electric vehicle adoption. *Energy Policy*, 145, 111-128.

Akkermans, et al. (t.t.). *Product-Service Systems and circular economy: A conceptual framework*. Working Paper.

Albertsen, L. (2020). Second-life batteries for stationary energy storage: Environmental and economic assessment. *Journal of Industrial Ecology*, 24(5), 1020-1035.

Baars, J., et al. (2021). Circular economy strategies for electric vehicle batteries. *Resources, Conservation and Recycling*, 168, 105-119.

Bocken, N. M. P., de Pauw, I., Bakker, C., & van der Grinten, B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 33(5), 308-320.

Bohnsack, R., et al. (2014). Business models for sustainable technologies: Exploring business model evolution in the case of electric vehicles. *Research Policy*, 43(2), 284-300.

Bonsu, N. O. (2021). Consumer acceptance of electric vehicles and battery-as-a-service models. *Energy Research & Social Science*, 72, 101-115.

Burzelli, et al. (2025). NIO's *BaaS* model: Market analysis and consumer adoption patterns. *International Journal of Electric Vehicle Research*, 8(1), 23-41.

Chew, et al. (2016). Infrastructure investment for battery swapping stations. *Transportation Research Part D*, 48, 178-196.

Chirumalla, K., et al. (t.t.). *Second-life battery applications: Technical and economic feasibility*. Working Paper.

Damanik, et al. (2024). Indonesia's EV policy implementation: Challenges and opportunities. *Asian Development Review*, 41(2), 89-112.

Dong, et al. (2025). *EU Battery Regulation 2023*: Implications for global supply chains. *Environmental Science & Policy*, 155, 78-95.

Electric Vehicle Adoption Factors and an Ecosystem Conceptual Model. (2023). *Journal of Sustainable Transportation*, 15(4), 201-225.

Ellen MacArthur Foundation & Granta Design. (2015). *Circulytics - Measuring company circularity.* Ellen MacArthur Foundation.

Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The circular economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757-768.

Gugat, et al. (2025). Fragmented EV policy in emerging markets: Indonesia case study. *Energy Policy*, 180, 113-128.

Habiburrahman, et al. (2025). Battery waste management in Indonesia: Gaps and opportunities. *Waste Management*, 145, 234-251.

Halder, et al. (t.t.). *Product-Service Systems for electric vehicles: A systematic review*. Working Paper.

Hasan, et al. (t.t.). *IoT-enabled battery management systems for BaaS models*. Working Paper.

Jiao, et al. (2016). Second-life battery economics: Value chain analysis. *Applied Energy*, 183, 1104-1115.

Kwak, et al. (2025). Digital Battery Passport: Implementation framework and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 398, 136-152.

Lidicker, J., et al. (2011). Hybrid pricing models for electric vehicle services. *Transportation Research Record*, 2252, 1-8.

Mahboubi, et al. (2025). Typology of product-service systems in the automotive sector. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 36(2), 145-163.

Meyer, I., et al. (2024). Economic assessment of second-life batteries: A systematic review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 192, 114-132.

Mohanty, et al. (2025). Techno-economic analysis of Battery-as-a-Service models. *Energy*, 290, 130-148.

Moro, et al. (2023). Sharing economy in transportation: Environmental and social impacts. *Transportation Research Part A*, 168, 103-119.

Nasution, et al. (2024). Presidential Regulation 79/2023: Strengthening Indonesia's EV ecosystem. *Indonesian Journal of Energy Policy*, 12(1), 34-52.

Neubauer, J., et al. (2013). The ability of battery second use strategies to impact plug-in electric vehicle prices and serve utility energy storage applications. *Journal of Power Sources*, 221, 139-149.

O'Keefe, M., et al. (2010). *Prospects for battery swapping and leasing in electric vehicles*. National Renewable Energy Laboratory Technical Report.

Olsson, L., et al. (2018). Circular economy in the automotive sector: Barriers and opportunities. *Journal of Cleaner Production*, 197, 1340-1352.

Patel, et al. (2024). Dynamic pricing strategies for *BaaS* providers: Lessons from NIO and Gogoro. *Energy Economics*, 132, 107-124.

Rudijanto, et al. (2024). Battery safety standards and testing infrastructure in Indonesia. *Indonesian Journal of Standards*, 5(1), 12-28.

Rudijanto, et al. (2025). Harmonization of Indonesian battery standards with international frameworks. *Standardization Research*, 9(2), 45-63.

Sasongko, et al. (2025). Fiscal incentives for EV adoption in Indonesia: Effectiveness assessment. *Public Finance Review*, 53(4), 789-812.

Shi, J., et al. (2024). Flexible battery leasing in Battery-as-a-Service models. *Applied Energy*, 358, 122-138.

Sopha, B. M., et al. (2022). Circular economy for lithium-ion batteries: Barriers and enablers. *Resources, Conservation and Recycling*, 181, 106-122.

Tahara, K., et al. (2020). Optimization of battery utilization in *BaaS* systems. *Journal of Energy Storage*, 32, 101-115.

Toorajipour, R., et al. (2024). Battery-as-a-Service as extended producer responsibility: Market mechanisms and sustainability implications. *Journal of Business Research*, 178, 114-132.

Truby, J., et al. (t.t.). *The Brussels Effect and global battery regulation*. Working Paper.

Tukker, A. (2004). Eight types of product-service system: Eight ways to sustainability? *Business Strategy and the Environment*, 13(4), 246-260.

Utomo, et al. (2025). Comparative analysis of EU Battery Regulation and Indonesian EV policy. *Environmental Policy and Governance*, 35(2), 123-141.

Vural, C. A., et al. (2024). Integrating *PSS*, *BaaS,* and circular economy: A holistic framework. *Journal of Industrial Ecology*, 28(3), 567-585.

Wells, P., et al. (2023). Circular vertical integration in the automotive industry: *OEM* strategies for battery lifecycle management. *Journal of Cleaner Production*, 415, 137-153.

BAB 6

TRANSPARANSI RANTAI PASOK BERBASIS DIGITAL BATTERY PASSPORT (DBP) DAN BLOCKCHAIN: MENGATASI ASIMETRI INFORMASI UNTUK EKONOMI SIRKULAR BATERAI EV

A. PENDAHULUAN

Transisi menuju kendaraan listrik (EV) telah menjadi narasi dominan dalam strategi dekarbonisasi sektor transportasi di berbagai negara, termasuk Indonesia. Pemerintah Indonesia telah menetapkan target bahwa pada tahun 2030, setidaknya 13 juta unit sepeda motor listrik dan 2,2 juta unit mobil listrik akan beroperasi di dalam negeri (Kementerian ESDM, 2024). Di balik target ambisius tersebut, tersembunyi sebuah paradoks yang tidak kalah krusial dibandingkan paradoks hulu (eksploitasi nikel) dan hilir (limbah beracun), yaitu paradoks informasi. Paradoks ini dapat dirumuskan sebagai berikut: semakin masif adopsi EV, semakin besar volume baterai yang mencapai akhir masa pakainya, namun semakin sedikit informasi yang tersedia tentang kondisi riil baterai tersebut untuk tujuan rekondisi, penggunaan kembali (second life), atau daur ulang yang efisien.

Baterai lithium-ion (LIB) yang menjadi komponen utama EV memiliki siklus hidup tipikal 5 hingga 8 tahun di dalam kendaraan, dengan batas akhir pakai ketika State of Health (SoH) turun di bawah 70-80% dari kapasitas awal. Pada titik ini, baterai sebenarnya masih memiliki nilai ekonomi yang signifikan untuk aplikasi yang tidak terlalu menuntut, seperti energy storage system (ESS) skala rumah tangga, uninterruptible power supply (UPS) untuk pusat data, atau bahkan untuk stasiun pengisian daya EV itu sendiri. Namun, nilai ekonomi tersebut hanya dapat direalisasikan jika terdapat informasi yang andal tentang SoH, riwayat pemakaian (suhu ekstrem, kedalaman pengosongan, jumlah siklus fast charging), serta komposisi kimia internal baterai.

DAFTAR PUSTAKA

Akerlof, G. A. (1970). The market for "lemons": Quality uncertainty and the market mechanism. The Quarterly Journal of Economics, 84(3), 488–500.

Dai, Q., Spangenberger, J., & Gaines, L. (2022). Life cycle analysis of lithium-ion battery recycling with and without prior sorting. Argonne National Laboratory, ANL-22/05.

Goldwasser, S., Micali, S., & Rackoff, C. (1985). The knowledge complexity of interactive proof systems. Proceedings of the 17th Annual ACM Symposium on Theory of Computing, 291–304.

Rothschild, M., & Stiglitz, J. E. (1976). Equilibrium in competitive insurance markets: An essay on the economics of imperfect information. The Quarterly Journal of Economics, 90(4), 629–649.

Bell, K., et al. (2023). Digital Battery Passports: Enabling circularity in the EV battery value chain. Ellen MacArthur Foundation.

Dai, Q., Spangenberger, J., & Gaines, L. (2022). Life cycle analysis of lithium-ion battery recycling with and without prior sorting. Argonne National Laboratory, ANL-22/05.

McKinsey & Company. (2025). Battery circularity: The $100 billion opportunity in second-life batteries. McKinsey Sustainability Report.

National Renewable Energy Laboratory (NREL). (2023). *Fast charging effects on lithium-ion battery degradation: A 500-cycle study. NREL Technical Report TP-5400-82345.=;nil; Foundation. (2024). Zero-knowledge proofs for battery passports: A cost-benefit analysis. Technical Paper No. 2024-03.

European Commission. (2023). Regulation (EU) 2023/1542 of the European Parliament and of the Council concerning batteries and waste batteries, amending Directive 2008/98/EC and Regulation (EU) 2019/1020 and repealing Directive 2006/66/EC*. Official Journal of the European Union, L 191/1.

International Electrotechnical Commission (IEC). (2020). IEC 62485-2: Safety requirements for secondary batteries and battery installations - Part 2: Stationary batteries

International Organization for Standardization (ISO). (2021). SO 19880-1: Gaseous hydrogen - Fuelling stations - Part 1: General requirements

Kompas. (2024, 15 November). Kebakaran bengkel baterai di Tangerang diduga akibat arus pendek pada baterai bekas tanpa sertifikasi. Kompas.com. Diakses dari https://www.kompas.com

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2024). Siaran pers: Perkembangan ekosistem kendaraan listrik nasional dan tantangan pengelolaan baterai bekas. Jakarta: Biro Komunikasi Publik KEM ESDM.

Kementerian Perindustrian Republik Indonesia. (2025). Roadmap industri baterai nasional 2025-2035. Jakarta: Kemenperin RI.

BAB 7

MODEL BISNIS *SECOND-LIFE* BATERAI EV UNTUK SISTEM PENYIMPANAN ENERGI/BESS

A. PENDAHULUAN

Transisi menuju mobilitas berkelanjutan melalui kendaraan listrik (*Electric Vehicle*/EV) sering dipandang sebagai solusi penting dalam menurunkan emisi sektor transportasi. Namun demikian, di balik keberhasilan tersebut, muncul tantangan baru yang tidak kalah penting, yaitu pengelolaan baterai yang telah mencapai akhir masa pakainya. Tanpa pengelolaan yang tepat, peningkatan jumlah baterai bekas berpotensi menciptakan beban lingkungan baru. Oleh karena itu, pendekatan ekonomi sirkular menjadi penting untuk mengubah baterai bekas dari sekadar limbah menjadi sumber daya yang masih memiliki nilai guna.

Pertumbuhan kendaraan listrik (*Electric Vehicle*/EV) secara global akan menghasilkan gelombang besar baterai yang memasuki fase akhir penggunaan kendaraan (*end-of-vehicle-life*) dalam 5–15 tahun mendatang. Namun, berakhirnya masa pakai baterai untuk kendaraan tidak berarti baterai tersebut telah kehilangan seluruh nilai ekonominya. Sebagian besar baterai EV masih memiliki State of Health (SoH) sekitar 70–80% ketika dianggap tidak lagi optimal untuk kebutuhan transportasi, sehingga masih berpotensi dimanfaatkan kembali (repurposing) sebagai sistem penyimpanan energi stasioner atau *Battery Energy Storage System* (BESS).

Konsep ini dikenal sebagai *Second-Life Battery* (SLB), yaitu penggunaan kembali baterai EV untuk aplikasi yang memiliki kebutuhan daya (*power demand*) dan kepadatan energi (*energy density*) yang lebih rendah dibanding kendaraan listrik. Dalam konteks transisi energi dan ekonomi sirkular, model ini dipandang mampu memperpanjang umur pakai baterai, mengurangi limbah, menunda proses daur ulang, serta meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya mineral kritis seperti lithium, nikel, dan kobalt.

DAFTAR PUSTAKA

Akerlof, G. A. (1970). The market for "lemons": Quality uncertainty and the market mechanism. *The Quarterly Journal of Economics, 84*(3), 488–500.

Ahmadi, L., Fowler, M., Young, S. B., Fraser, R. A., & Achachlouei, M. A. (2014). Energy efficiency of Li-ion battery packs re-used in stationary power applications. *Sustainable Energy Technologies and Assessments, 6*, 72–80. https://doi.org/10.1016/j.seta.2014.02.003

Biskupski, M. (2024). Second-life lithium-ion batteries in residential renewable energy systems. *Journal of Energy Storage*.

BloombergNEF. (2025). *Lithium-ion battery price survey 2025*. BloombergNEF.

Cao, J., Wu, J., Wang, J., & Zhang, Y. (2022). A comprehensive review of second-life batteries toward sustainable mechanisms: Potential, challenges, and future prospects. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*. https://doi.org/10.1109/TTE.2022.3220411

Ellen MacArthur Foundation. (2019). *Completing the picture: How the circular economy tackles climate change*. https://ellenmacarthurfoundation.org

Elkington, J. (1997). *Cannibals with forks: The triple bottom line of 21st century business*. Capstone.

Gharebaghi, M., Rezaei, O., Li, C., Wang, Z., & Tang, Y. (2025). A survey on using second-life batteries in stationary energy storage applications. *Energies, 18*(1), 42. https://doi.org/10.3390/en18010042

Global Battery Alliance. (2023). *Battery passport: Proof of concept*. https://www.globalbattery.org

Gu, X., Bai, H., Cui, X., Zhu, J., Zhuang, W., Li, Z., Hu, X., & Song, Z. (2023). Challenges and opportunities for second-life batteries: A review of key technologies and economy. *arXiv*. https://arxiv.org

Hassan, A., et al. (2023). Second-life batteries: A review on power grid applications, degradation mechanisms, and power electronics interface architectures. *Batteries, 9*(12).

International Energy Agency. (2024). *Global EV outlook 2024: Moving towards electric mobility*. https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024

International Energy Agency. (2026). *Global EV outlook 2026: Electric vehicle batteries*. IEA.

Kulkov, I., et al. (2025). Business models for second-life batteries. *Journal of Engineering and Technology Management*.

Martinez-Laserna, E., Sarasketa-Zabala, E., Villarreal, I., Stroe, D. I., Swierczynski, M., & Rodriguez, P. (2018). Technical viability of battery second life: A study from the ageing perspective. *IEEE Transactions on Industry Applications, 54*(1), 270–281. https://doi.org/10.1109/TIA.2017.2750098

Mathews, I., Xu, B., He, W., Barreto, V., Buonassisi, T., & Peters, I. M. (2020). Techno-economic model of a second-life energy storage system for utility-scale solar power considering Li-ion calendar and cycle aging. *arXiv*.

Neubauer, J., & Smith, K. (2015). *Battery second use: Economic viability of vehicle batteries used for stationary applications*. National Renewable Energy Laboratory. https://www.nrel.gov/docs/fy15osti/61817.pdf

Neigum, K., & Wang, Z. (2026). Technology, economic, and environmental analysis of second-life batteries as stationary energy storage: A review.

Porter, M. E., & Kramer, M. R. (2011). Creating shared value. *Harvard Business Review, 89*(1–2), 62–77.

Richa, K., Babbitt, C. W., Gaustad, G., & Wang, X. (2017). A future perspective on lithium-ion battery waste flows from electric vehicles. *Resources, Conservation and Recycling, 83*, 63–76. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.11.008

Song, Z., Zhang, C., & Zhang, J. (2021). Second-life management of electric vehicle batteries: Challenges and opportunities. *Journal of Energy Storage, 41*, 102936. https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102936

Teece, D. J. (2018). Business models and dynamic capabilities. *Long Range Planning, 51*(1), 40–49.

Tong, S. J., Same, A., Kootstra, M. A., & Park, J. W. (2017). Off-grid photovoltaic system with lithium-ion batteries and second-life EV batteries: Techno-economic analysis. *Applied Energy, 187*, 725–735. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.11.108

Xu, B., Oudalov, A., Ulbig, A., Andersson, G., & Kirschen, D. S. (2018). Modeling of lithium-ion battery degradation for cell life prediction. *IEEE Transactions on Smart Grid, 9*(2), 1133–1143. https://doi.org/10.1109/TSG.2016.2601629

Zhang, X., Li, W., & Peng, H. (2022). A review on second-life of lithium-ion batteries: Prospects, challenges, and issues. *Energy, 241*, 122881. https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122881

BAB 8

INSTRUMEN FISKAL DAN PEMBIAYAAN BERKELANJUTAN UNTUK EKOSISTEM SIRKULAR

Transisi menuju ekonomi sirkular (circular economy/CE) semakin diposisikan sebagai strategi utama dalam menjawab krisis lingkungan global, termasuk perubahan iklim, degradasi ekosistem, dan kelangkaan sumber daya. Namun, penerapan ekonomi sirkular masih terhambat oleh kegagalan pasar yang sistemik, terutama karena harga material perawan (virgin materials) tidak mencerminkan biaya ekologis yang ditimbulkannya. Kondisi ini menciptakan distorsi harga yang membuat material daur ulang tidak kompetitif secara ekonomi.

Bab ini bertujuan untuk mengkaji secara mendalam akar kegagalan pasar dalam sistem ekonomi material serta merumuskan bauran kebijakan fiskal dan instrumen pembiayaan berkelanjutan yang mampu mempercepat transisi menuju ekosistem sirkular. Dengan pendekatan analitis yang mengintegrasikan perspektif mikro, meso, dan makro, bab ini mengusulkan intervensi kebijakan berupa pajak material perawan, subsidi transisi, serta pengembangan instrumen keuangan inovatif seperti green bonds, circular vouchers, dan blended finance.

Argumen utama bab ini adalah bahwa tanpa intervensi fiskal yang agresif dan desain pembiayaan yang inovatif, ekonomi sirkular akan tetap menjadi solusi normatif yang sulit diterapkan secara luas. Sebaliknya, kombinasi kebijakan yang tepat dapat mengoreksi distorsi pasar, mengurangi risiko investasi, dan menciptakan insentif ekonomi yang kuat bagi pelaku industri untuk beralih ke model sirkular.

DAFTAR PUSTAKA

Capitals Coalition. (2021). *True Cost Accounting for Food Systems: Redefining Value to Transform Decision-making*. UN Environment Programme, Capitals Coalition, and Global Alliance for the Future of Food .

Climate Bonds Initiative. (2025). *Green Bonds Market Summary H1 2024*. (Data proyeksi dan kajian pasar obligasi hijau).

Convergence. (2024). *The State of Blended Finance 2024*. (Laporan tahunan tentang tren dan skema pembiayaan campuran).

European Commission. (2023). *Regulation (EU) 2023/956 of the European Parliament and of the Council establishing a carbon border adjustment mechanism*. Official Journal of the European Union .

Harper, G., Sommerville, R., Kendrick, E., Driscoll, L., Slater, P., Stolkin, R., ... & Abbott, A. (2019). Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles. *Nature*, *575*(7781), 75-86.

ICEL (Indonesian Center for Environmental Law). (2024). *Kajian Kebijakan dan Praktik Jaminan Reklamasi Tambang Nikel di Indonesia*. (Laporan kajian tentang kepatuhan dan kesenjangan regulasi).

Kemenperin (Kementerian Perindustrian Republik Indonesia). (2023). *Klasifikasi Baku Lapangan Usaha Indonesia (KBLI)*. (Untuk verifikasi kategori industri daur ulang vs pengelolaan limbah).

Kementerian ESDM (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia). (2024). *Laporan Kinerja dan Data Hilirisasi Nikel*. (Data terkini tentang insentif dan kapasitas smelter).

McKinsey & Company. (2024). *Battery Recycling: A New Industry Takes Shape*. (Laporan industri tentang biaya modal dan proyeksi pertumbuhan).

METI Japan (Ministry of Economy, Trade and Industry). (2021). *Green Growth Strategy Through Achieving Carbon Neutrality in 2050*. (Dasar kebijakan yang mencakup *Green Procurement* dan insentif industri) .

Ministry of Environment Korea. (2022). *Policy Briefing to the President on Circular Economy Transition*. (Paparan kebijakan yang mencakup *Circular Economy Resource Circulation Tax* dan target daur ulang).

Pigou, A. C. (1920). *The Economics of Welfare*. London: Macmillan and Co.

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO). (2023). *Evaluation of the Circular Voucher Scheme*. (Evaluasi program *Circular Vouchers* di Belanda).

Thaler, R. H., & Sunstein, C. R. (2008). *Nudge: Improving Decisions about Health, Wealth, and Happiness*. New Haven: Yale University Press.

UK Energy Research Centre (UKERC). (2023). *The True Cost of Battery Materials: Externalities in Mining and Recycling*. (Laporan kajian tentang biaya sosial dan lingkungan material baterai).

PENUTUP

Setelah menelusuri paradoks kendaraan listrik dari berbagai sudut pandang yang telah diuraikan sepanjang buku ini, mulai dari pergeseran kepemilikan baterai menuju model berbasis layanan, arsitektur kepercayaan digital berbasis blockchain, ekonomi pemanfaatan ulang baterai pascamobilitas, hingga arsitektur fiskal dan pembiayaan yang menopang seluruh transisi tersebut, satu benang merah tampak semakin nyata. The EV Paradox bukanlah persoalan tunggal yang dapat diselesaikan melalui satu intervensi tunggal, baik itu terobosan kimia baterai, satu regulasi baru, maupun satu model bisnis yang berdiri sendiri. Paradoks ini adalah persoalan sistemik yang menuntut penyelarasan simultan antara regulasi, model bisnis, infrastruktur data, dan arsitektur keuangan, empat elemen yang di sepanjang buku ini terbukti saling mengunci dan saling menentukan keberhasilan satu sama lain.

Keterkaitan tersebut bukan sekadar klaim retoris penutup, melainkan rangkuman yang tersusun dari argumen setiap bab. Model Battery-as-a-Service menjanjikan penurunan harga awal kendaraan listrik dan pengalihan risiko degradasi baterai dari konsumen kepada penyedia layanan, tetapi kelayakan komersialnya bertumpu sepenuhnya pada ketersediaan data State of Health yang akurat dan dapat dipercaya oleh seluruh pemangku kepentingan, persis persoalan yang coba dijawab oleh arsitektur Digital Battery Passport berbasis blockchain dan zero-knowledge proof. Pada gilirannya, ekosistem Second-Life Battery Energy Storage System yang secara teknis dan ekonomi menjanjikan payback period dua hingga tiga tahun tetap terhambat oleh persoalan yang sama, yakni ketiadaan standar pengukuran State of Health yang seragam dan asimetri informasi mengenai riwayat baterai. Sementara itu, tidak satu pun inovasi model bisnis tersebut dapat tumbuh pada skala yang berarti selama kegagalan pasar struktural terus membiarkan bahan baku perawan lebih murah secara nominal dibandingkan bahan daur ulang, sekalipun biaya sosialnya jauh lebih tinggi. Di titik inilah instrumen fiskal seperti pajak material perawan, subsidi transisi bagi industri daur ulang, serta pembiayaan inovatif melalui circular vouchers dan green bonds berfungsi sebagai infrastruktur pemungkin yang menopang keberlanjutan seluruh lingkaran argumen buku ini. Dengan demikian, buku ini menutup dirinya sendiri secara sirkular: persoalan yang diangkat pada satu bab menemukan

sebagian jawabannya pada bab lain, dan solusi yang diusulkan pada satu level kajian bergantung pada prasyarat yang dibangun di level kajian lainnya.

Pola pergerakan argumen semacam ini sesungguhnya telah dijanjikan sejak bagian awal buku: bahwa pemahaman utuh atas paradoks kendaraan listrik hanya dapat diperoleh dengan bergerak bolak-balik antara level mikro, meso, dan makro, alih-alih menempuh alur penyelesaian linear dari satu level ke level berikutnya. Keputusan konsumen dan produsen pada level mikro dalam mengadopsi model BaaS turut dibentuk oleh arsitektur ekosistem pada level meso, mulai dari ketersediaan infrastruktur data hingga kesiapan aktor second-life, sementara arsitektur meso tersebut pada gilirannya hanya dapat berjalan apabila ditopang oleh kerangka regulasi dan pembiayaan pada level makro. Dengan bergerak bolak-balik antar level tersebut, buku ini tidak sekadar membahas ekonomi sirkular sebagai objek kajian, tetapi juga secara sengaja mengenakan logika sirkular itu sendiri pada cara ia disusun dan disimpulkan.

Nilai lebih buku ini juga terletak pada posisinya sebagai kontribusi akademik yang lahir dari pendidikan doktoral berbasis praktik. Sebagian besar literatur ekonomi sirkular baterai kendaraan listrik yang berkembang saat ini masih ditulis dari sudut pandang negara maju sebagai konsumen dan regulator, sementara negara pengekstraksi mineral kritis seperti Indonesia lebih sering diposisikan sebagai objek kajian dampak lingkungan semata. Melalui kerangka-kerangka konseptual orisinal yang diusulkan di sepanjang buku, mulai dari model manajemen aset berbasis PSS dan BaaS, arsitektur transparansi data baterai, model integrator pihak ketiga untuk ekosistem second-life, hingga bauran instrumen fiskal dan pembiayaan sirkular, para penulis mahasiswa program Doktor Manajemen Bisnis memposisikan Indonesia sebagai subjek kajian strategis yang aktif merumuskan kebijakan dan model bisnisnya sendiri, sejalan dengan posisi strategis Indonesia sebagai pemilik cadangan nikel terbesar di dunia sekaligus penggerak hilirisasi ekosistem baterai kendaraan listrik nasional.

Kejujuran akademik menuntut buku ini turut mengakui keterbatasannya secara terbuka. Sebagian besar kerangka konseptual yang diusulkan masih bersifat preskriptif dan belum diuji secara empiris pada skala industri penuh di Indonesia, sementara kajian tekno-ekonominya sebagian besar bertumpu pada studi literatur dan pemodelan teoretis, bukan data lapangan dari penerapan nyata. Keterbatasan ini bukan kelemahan yang perlu disembunyikan, melainkan undangan terbuka bagi peneliti berikutnya, baik mahasiswa program doktoral pada kohort selanjutnya maupun peneliti dari institusi lain, untuk menguji, mengkritisi, dan menyempurnakan kerangka-kerangka yang telah diletakkan di sini

melalui riset lapangan, uji coba kebijakan, maupun replikasi pada konteks industri dan negara lain.

Kepada pembaca, baik akademisi, pelaku industri otomotif dan baterai, maupun pembuat kebijakan di Bappenas, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, hingga Indonesia Battery Corporation, buku ini menegaskan satu pesan yang sama: hilirisasi mineral kritis Indonesia perlu diperluas cakupannya melampaui hilirisasi produksi menuju hilirisasi sirkularitas, yakni pembangunan kelembagaan dan infrastruktur untuk mengelola baterai sepanjang siklus hidupnya. Sejalan dengan prinsip ekonomi sirkular yang menjadi objek sekaligus semangat penulisannya, buku ini tidak dimaksudkan sebagai titik akhir dari sebuah perdebatan, melainkan sebagai titik awal bagi dialog yang lebih luas antara ketiga pemangku kepentingan tersebut. Setiap kerangka yang disajikan di sini diposisikan sebagai gagasan yang terbuka untuk diuji, dievaluasi, dan disempurnakan melalui kajian maupun penerapan di lapangan, sebagaimana material dalam rantai nilai sirkular yang senantiasa kembali ke dalam sistem untuk memperoleh nilai baru. Dengan semangat itu, para penulis menyampaikan penghargaan kepada seluruh pihak yang telah mendampingi proses penulisan buku ini, dan berharap karya ini menjadi pemicu lahirnya kajian, kebijakan, dan inovasi bisnis lanjutan yang membawa transisi kendaraan listrik Indonesia semakin dekat pada janji keberlanjutannya yang sesungguhnya.



The EV Paradox

Transisi Kendaraan Listrik dalam Perspektif Ekonomi Sirkular

Buku ini membahas perkembangan kendaraan listrik sebagai bagian dari transformasi menuju sistem transportasi yang lebih berkelanjutan. Kehadiran kendaraan listrik sering dipandang sebagai solusi untuk mengurangi emisi dan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Namun, di balik berbagai manfaat tersebut terdapat tantangan yang perlu diperhatikan, mulai dari kebutuhan bahan baku, proses produksi baterai, konsumsi energi, hingga pengelolaan kendaraan dan baterai pada akhir masa pakainya.

Buku ini mengkaji transisi kendaraan listrik melalui perspektif ekonomi sirkular yang menekankan efisiensi penggunaan sumber daya, pengurangan limbah, penggunaan kembali, perbaikan, serta daur ulang. Pembahasan mencakup berbagai aspek yang berkaitan dengan rantai nilai kendaraan listrik, khususnya pengelolaan baterai, pemanfaatan material, inovasi teknologi, serta peluang menciptakan sistem produksi dan konsumsi yang lebih berkelanjutan. Dengan pendekatan tersebut, kendaraan listrik tidak hanya dilihat dari sisi teknologi dan lingkungan, tetapi juga dari dimensi ekonomi dan keberlanjutan jangka panjang.

Melalui pembahasan yang komprehensif, buku ini mengajak pembaca memahami bahwa transisi menuju kendaraan listrik bukan sekadar pergantian mesin berbahan bakar fosil menjadi tenaga listrik, melainkan perubahan menyeluruh dalam sistem mobilitas dan pengelolaan sumber daya. Buku ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi mahasiswa, akademisi, praktisi, pembuat kebijakan, pelaku industri, maupun masyarakat yang ingin memahami peluang dan tantangan kendaraan listrik dalam mewujudkan ekonomi yang lebih efisien, inovatif, dan berkelanjutan.

www.penerbitwidina.com
@penerbitwidina
penerbit widina
penerbitwidina@gmail.com
widina store
widina bookstore

Layanan Pembaca & Penerbitan Buku
0815-7000-699

SCANME

Pendidikan

ISBN 978-634-317-477-6

9 786343 174776