

MINIMASI JARAK UNTUK Mendukung PENGEMBALIAN BATERAI BEKAS NMC PADA SEPEDA MOTOR LISTRIK PT.XYZ

line 1: 1st Rahmalia Nurhalissa
Teknik Industri
Universitas Telkom
Surabaya, Indonesia
rahmalianurhalissa@student.telkomuni-
versity.ac.id

2nd Silvi Istiqomah
Teknik Industri
Universitas Telkom
Surabaya, Indonesia
silviistiqomah@telkomuniversity.ac.id

3rd Aufar Fikri Dimiyati
Teknik Industri
Universitas Telkom
Surabaya, Indonesia
aufarfd@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Logistik balik (*reverse logistics*) baterai bekas Nickel Manganese Cobalt (NMC) sangat penting untuk keberlanjutan di Indonesia. PT XYZ menghadapi tantangan dalam menentukan titik pengumpulan yang optimal guna meminimalkan biaya transportasi. Studi ini mengembangkan model Mixed Integer Linear Programming (MILP) dengan menggunakan data primer dan sekunder, berfokus pada wilayah Jawa Barat. Model ini mempertimbangkan volume permintaan, kapasitas dealer, dan jarak, dengan tujuan meminimalkan total biaya transportasi. Model diimplementasikan menggunakan Google Colab dengan pustaka PuLP, dan divalidasi melalui proses debugging serta analisis sensitivitas. Hasilnya menunjukkan bahwa 18 dealer optimal mampu menangani 23.772 permintaan secara efisien, mendukung logistik balik, dan menawarkan solusi yang dapat diperluas untuk pengelolaan limbah baterai yang berkelanjutan.

Kata kunci— *Reverse Logistics*, Baterai NMC, MILP, CFLP, Pengembalian Baterai

I. PENDAHULUAN

Kendaraan listrik (Electric Vehicles/EV) telah menjadi komponen penting dalam transisi energi bersih global, dengan kontribusi besar dalam mengurangi emisi karbon dan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil—dua penyumbang utama polusi udara dari sektor transportasi. Baterai lithium-ion dengan katoda Nickel Manganese Cobalt (NMC) banyak digunakan pada kendaraan listrik karena kepadatan energinya yang tinggi, keamanannya, dan siklus hidupnya yang panjang. Namun, seperti halnya semua baterai, baterai NMC memiliki masa pakai terbatas yang dipengaruhi oleh pola penggunaan dan kondisi lingkungan. Setelah mencapai akhir masa pakainya, baterai ini dapat menjadi limbah berbahaya jika tidak dikelola dengan baik.

Di Indonesia, adopsi kendaraan listrik terus berkembang, namun infrastruktur untuk pengelolaan baterai bekas masih kurang berkembang. Oleh karena itu, perencanaan sejak dini diperlukan untuk membangun sistem logistik balik (*reverse logistics*) yang efisien dalam menangani volume baterai EV yang habis masa pakainya.

Salah satu pendekatan praktis adalah mengembalikan baterai bekas dari konsumen ke dealer sebagai titik pengumpulan awal, di mana baterai kemudian dapat dikirimkan ke produsen atau fasilitas khusus untuk diproses lebih lanjut. Dealer memainkan peran penting dalam aliran balik ini, namun kurangnya infrastruktur dapat

menghambat adopsi kendaraan listrik dalam jangka panjang. Perencanaan infrastruktur pengumpulan baterai—terutama dalam menentukan titik pengumpulan yang optimal—sangat mendesak untuk mendukung upaya energi bersih yang berkelanjutan. Untuk mengoptimalkan proses pengumpulan, penentuan jarak paling efisien antara konsumen dan dealer menjadi krusial.

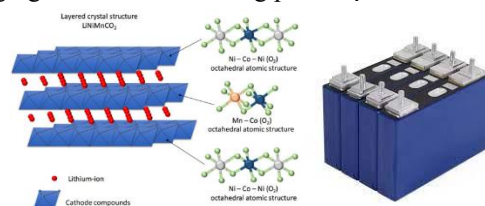
Mixed Integer Linear Programming (MILP) merupakan metode yang umum digunakan dalam optimasi logistik balik karena mampu menangani pengambilan keputusan diskrit secara efektif, seperti alokasi dan rute dalam batasan kapasitas. Studi ini berfokus pada pengembangan model MILP untuk pengelolaan baterai EV bekas di Jawa Barat, Indonesia—wilayah strategis karena memiliki populasi perkotaan yang tinggi dan jumlah pengguna sepeda motor listrik terbanyak di Jawa (23.770 pengguna). Jawa Barat juga memiliki jaringan dealer dan otomotif yang sudah mapan, menjadikannya studi kasus yang ideal untuk implementasi logistik balik.

Model ini bertujuan untuk meminimalkan biaya transportasi sekaligus memaksimalkan efisiensi pengumpulan, mendukung pengelolaan baterai yang berkelanjutan sesuai dengan prinsip ekonomi sirkular. Dengan mengidentifikasi lokasi dealer optimal sebagai titik pengumpulan baterai, studi ini berkontribusi dalam membangun sistem yang skalabel dan efektif untuk pengelolaan limbah baterai EV di Indonesia.

II. KAJIAN TEORI

A. Baterai Kendaraan Motor Listrik (NMC)

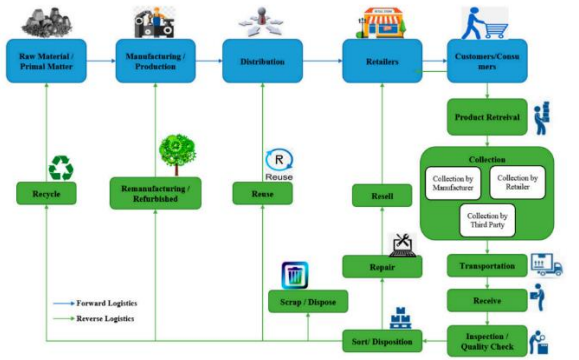
Baterai Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide (LiNiMnCoO₂), atau Li-NMC, memegang peranan krusial dalam pengembangan sepeda motor listrik, terutama karena densitas energinya yang tinggi [7]. Kepadatan energi ini memungkinkan sepeda motor listrik menempuh jarak lebih jauh dengan sekali pengisian daya tanpa menambah ukuran dan berat baterai secara signifikan – hal yang penting mengingat keterbatasan ruang pada sepeda motor.



Gambar 1 Baterai NMC (Nickel Mangan Cobalt)

B. Teori Reverse Logistics

Reverse logistics (logistik terbalik) adalah bagian krusial dari manajemen rantai pasok yang menangani pergerakan produk dari konsumen kembali ke produsen [12]. Proses ini bertujuan mengelola barang bekas, retur, dan limbah secara efisien dan berkelanjutan. Aktivitasnya mencakup pengumpulan, transportasi, pemulihan, dan daur ulang, serta pengelolaan data untuk penanganan produk yang tepat [13]



Gambar 2 Model Reverse Logistics

C. Linear Programming

Linear programming adalah suatu metode yang digunakan untuk menyelesaikan masalah pengalokasian sumber daya yang terbatas di antara berbagai aktivitas yang saling bersaing, dengan tujuan untuk menemukan solusi terbaik, seperti memaksimalkan keuntungan atau meminimalkan biaya [22]. Berikut merupakan model dasar dari linear programming.

$$\text{Meminimumkan } Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (1)$$

Dengan Kendala

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq b_i ; x_j \geq 0 \quad (2)$$

Untuk $i = 1, 2, \dots, m$

Dimana :

- Z = Fungsi Tujuan yang diminimumkan
- c_j = Koefisien untuk fungsi tujuan
- x_j = Variabel Keputusan
- a_{ij} = Koefisien variabel keputusan
- b_i = Nilai ruas kanan

D. Model Capacitated Facility Location Problem

Capacitated Facility Location Problem (CFLP) merupakan salah satu varian penting dalam studi lokasi fasilitas yang bertujuan menentukan lokasi optimal fasilitas dengan kapasitas terbatas sekaligus mengalokasikan permintaan pelanggan ke fasilitas tersebut secara efisien. Model ini banyak digunakan dalam perencanaan jaringan distribusi dan logistik untuk meminimalkan total biaya, yang terdiri dari biaya tetap pembukaan fasilitas dan biaya

variabel transportasi, dengan mempertimbangkan batasan kapasitas fasilitas dan kebutuhan pelanggan [27]

III. METODE

A. Identifikasi Awal

1. Objek Penelitian: Fokus pada baterai kendaraan listrik tipe NMC sebagai objek utama.
2. Studi Literatur & Lapangan: Mengkaji literatur dan melakukan observasi untuk memahami proses reverse logistics.
3. Identifikasi Masalah: Menyusun pertanyaan penelitian terkait model MILP dan penentuan lokasi optimal dalam Closed-Loop Supply Chain.
4. Batasan & Asumsi: Fokus di wilayah Jawa, asumsi fasilitas dan konsumen tersedia, tanpa subsidi pemerintah.
5. Tujuan Penelitian: Merancang solusi MILP untuk optimasi pengumpulan dan transportasi baterai bekas EV.

B. Pengumpulan Data

1. Data Primer: Diperoleh dari wawancara expert di bidang reverse logistics baterai EV.
2. Data Sekunder: Jurnal, data BPS, lokasi dealer PT. XYZ via Google Maps, dan asumsi biaya transportasi.

C. Pengolahan Data

1. Penentuan Variabel: Menentukan variabel penting dalam pembentukan model MILP (lokasi, jarak, kapasitas).
2. Pembangunan Model MILP: Menyusun model optimasi reverse logistics berbasis Mixed Integer Linear Programming.
3. Verifikasi Model: Memastikan model bebas kesalahan dan berjalan sesuai logika.
4. Validasi Model: Menguji model dengan beberapa skenario untuk memastikan akurasi representasi sistem nyata.

D. Analisis dan Pembahasan

Menggunakan analisis sensitivitas untuk melihat pengaruh parameter (biaya, kapasitas, distribusi) terhadap efisiensi model reverse logistics.

E. Kesimpulan dan Saran

Merangkum hasil analisis untuk menjawab tujuan penelitian dan memberikan saran perbaikan untuk implementasi di industri.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Verifikasi dan Validasi

Tahap verifikasi bertujuan memastikan bahwa model **MILP** telah dibangun dan dijalankan dengan benar secara teknis serta sesuai logika sistem **reverse logistics baterai NMC**. Proses dilakukan menggunakan bahasa Python dengan library **PuLP** di platform **Google Colab**, dan dijalankan sebanyak lima kali untuk memastikan konsistensi. Seluruh elemen model seperti jarak antar wilayah, permintaan, kapasitas dealer, serta variabel keputusan diuji agar sesuai dengan rancangan. Tabel 1 merangkum hasil verifikasi, menunjukkan bahwa model:

Tabel 1 Target Verifikasi Model

No	Spesifikasi Verifikasi	Target Verifikasi	Hasil
1	Kesesuaian model	Model sesuai rumusan matematis dan algoritma	Sesuai dan lengkap
2	Eksekusi di Google Colab	Model dapat dijalankan di platform tanpa error sintaks	Berhasil tanpa error

Validasi dilakukan untuk memastikan bahwa model MILP tidak hanya valid secara teknis dan matematis, tetapi juga representatif terhadap kondisi operasional reverse logistics baterai NMC di lapangan.

Model diuji sebanyak 5 kali dengan parameter yang sama dan selalu menghasilkan status penyelesaian "**Optimal**" serta solusi yang konsisten. Ini membuktikan kestabilan struktur dan keandalan algoritma. Tabel 2 merangkum hasil validasi, menunjukkan bahwa semua spesifikasi terpenuhi sesuai rancangan. Distribusi permintaan optimal, tidak terjadi overload, dan lokasi dealer stabil antar percobaan.

Tabel 2 Spesifikasi Validasi Model

No	Spesifikasi Validasi	Hasil Rancangan	Pemenuhan
1	Status Penyelesaian Model	Simulasi menghasilkan status <i>Optimal</i>	Model menghasilkan status optimal tanpa adanya eror
2	Demand Terlayani	Semua wilayah permintaan mendapatkan alokasi dealer	Tidak ada demand yang tidak terpenuhi, cakupan layanan terjangkau
3	Batasan Kapasitas Dealer	Setiap dealer memiliki kapasitas maksimum 1321 unit	Tidak ada dealer yang <i>overload</i> , distribusi merata sesuai kapasitas
4	Kesesuaian Jumlah Dealer	Jumlah dealer yang dibuka sesuai dengan parameter biner (Jumlah dealer = 18)	Seluruh dealer dibuka agar mampu untuk melayani semua permintaan
5	Konsistensi Lokasi	Hasil lokasi dealer stabil pada 5 kali simulasi	Validasi menunjukkan model <i>repeatable</i> dan andal

B. Analisis Capacity Alokasi

Tabel 3 menunjukkan hasil alokasi kapasitas pada 18 dealer aktif dalam model optimasi. Masing-masing dealer memiliki kapasitas maksimum **1.321 unit**, dengan unit yang

diterima berkisar antara **1.130–1.321 unit**. Mayoritas dealer menerima alokasi mendekati kapasitas maksimum, menandakan pemanfaatan sumber daya yang **efisien dan optimal**.

Tabel 3. Alokasi Kapasitas

Dealer	Kapasitas Maks	Unit Diterima	Jumlah Wilayah Dilayani
Dealer 1	1321	1321	2
Dealer 2	1321	1321	3
Dealer 3	1321	1316	5
Dealer 4	1321	1321	3
Dealer 5	1321	1130	4
Dealer 6	1321	1321	2
Dealer 7	1321	1321	3
Dealer 8	1321	1321	1
Dealer 9	1321	1321	2
Dealer 10	1321	1321	2
Dealer 11	1321	1321	3
Dealer 12	1321	1321	2
Dealer 13	1321	1321	2
Dealer 14	1321	1321	2
Dealer 15	1321	1321	2
Dealer 16	1321	1321	1
Dealer 17	1321	1321	1
Dealer 18	1321	1321	3

Dua dealer memiliki alokasi berbeda:

- Dealer 3 menerima 1.316 unit untuk 5 wilayah, menunjukkan peran strategis sebagai pusat distribusi dengan cakupan luas.
- Dealer 5 hanya menerima 1.130 unit meski melayani 4 wilayah, kemungkinan karena lokasi geografis, permintaan lebih rendah, atau tumpang tindih cakupan.

Model menggunakan kapasitas seragam sebagai asumsi, karena data kapasitas riil dealer di Jawa Barat belum tersedia. Pendekatan ini memungkinkan model tetap feasible sebagai proyeksi strategis untuk sistem reverse logistics yang masih dalam tahap pengembangan.

C. Analisis Lokasi Alokasi

Tabel 4 menunjukkan hasil distribusi baterai bekas dari berbagai wilayah permintaan ke dealer-dealer terpilih menggunakan model Mixed Integer Linear Programming (MILP). Setiap wilayah dialokasikan ke satu atau beberapa dealer berdasarkan jarak dan kapasitas dealer secara optimal.

Tabel 3 Hasil Lokasi Alokasi

Titik Demand	Dealer Tujuan	Unit Dikirim	Jarak (km)
Kabupaten Bogor	Dealer 14	1178	40.6
	Dealer 15	138	14.1
	Dealer 16	1321	3.1
	Dealer 18	261	12.5
Kabupaten Sukabumi	Dealer 1	653	153
	Dealer 18	523	87.9
Kabupaten Cianjur	Dealer 2	1078	64.5
Kabupaten Bandung	Dealer 3	242	143
	Dealer 6	771	126
	Dealer 9	745	106
	Dealer 10	66	78.1
Kabupaten Garut	Dealer 10	1255	5.5
Kabupaten Tasikmalaya	Dealer 13	836	15.3
Kabupaten Ciamis	Dealer 3	87	97.5
	Dealer 13	485	20.2
Kabupaten Kuningan	Dealer 3	518	36.1
Kabupaten Cirebon	Dealer 3	184	13.7
	Dealer 4	868	13.7
Kabupaten Majalengka	Dealer 9	576	3.5
Kabupaten Sumedang	Dealer 6	550	69.7
Kabupaten Indramayu	Dealer 7	827	1.7
Kabupaten Subang	Dealer 7	252	92.5
	Dealer 12	516	90.6
Kabupaten Purwakarta	Dealer 11	463	62.5
Kabupaten Karawang	Dealer 11	323	69
	Dealer 12	805	133
Kabupaten Bekasi	Dealer 8	1321	25.1
	Dealer 11	535	86.7
Kabupaten Bandung Barat	Dealer 1	668	19.8
	Dealer 2	148	21.2
Kabupaten Pangandaran	Dealer 5	191	142
Kota Bogor	Dealer 18	537	7.1
Kota Sukabumi	Dealer 4	158	218
	Dealer 2	95	3.2
Kota Bandung	Dealer 3	131	131
	Dealer 5	727	126
	Dealer 7	242	114

Titik Demand	Dealer Tujuan	Unit Dikirim	Jarak (km)
Kota Cirebon	Dealer 3	154	3.9
Kota Bekasi	Dealer 14	143	8.6
	Dealer 17	1321	3.6
Kota Depok	Dealer 15	1183	1.5
Kota Cimahi	Dealer 4	295	136
Kota Tasikmalaya	Dealer 5	316	11
Kota Banjar	Dealer 5	87	99.4

Contoh signifikan:

- Kabupaten Bogor dialokasikan ke 4 dealer (Dealer 14, 15, 16, dan 18) dengan distribusi unit yang merata dan jarak relatif dekat (3,1 – 40,6 km).
- Kabupaten Sukabumi dilayani oleh Dealer 1 dan 18, meskipun jaraknya cukup jauh (87,9 – 153 km), menunjukkan keterbatasan sebaran dealer.
- Kota Bandung dialokasikan ke 4 dealer berbeda, menyesuaikan kapasitas dan efisiensi pengiriman.

Sebagian besar distribusi berada dalam radius 1,5 – 100 km, namun terdapat beberapa titik dengan jarak cukup jauh, seperti Kota Sukabumi (218 km) dan Pangandaran (142 km). Ini menandakan perlunya pengembangan jaringan dealer di wilayah dengan akses terbatas.

Model ini tidak hanya meminimalkan jarak, tetapi juga menyeimbangkan kapasitas dealer dan besar permintaan. Alokasi dilakukan secara proporsional untuk menghindari overload maupun underutilization.

Pendekatan yang mempertimbangkan jarak, permintaan, dan kapasitas ini menghasilkan distribusi yang efisien, aplikatif, dan mendukung implementasi reverse logistics baterai bekas di lapangan.

D. Analisis Pemetaan distribusi wilayah

Gambar V.3 memperlihatkan hasil optimasi distribusi, di mana 18 dealer mencakup 27 wilayah permintaan. Pemetaan menunjukkan bahwa dealer banyak terkonsentrasi di wilayah perkotaan dan pusat kabupaten seperti Kota Bandung, Kota Bekasi, dan Kota Cirebon, sementara daerah pinggiran seperti Kabupaten Sukabumi, Ciamis, dan sebagian Cianjur belum terlayani optimal.



Gambar 3 Pemetaan Distribusi

Distribusi permintaan tinggi terjadi di wilayah padat penduduk dan pusat ekonomi, namun daerah seperti Subang, Sumedang, dan Garut masih belum memiliki jangkauan dealer yang merata. Beberapa wilayah perbatasan seperti Pangandaran dan Sukabumi menghadapi jarak distribusi yang jauh dari dealer terdekat, yang dapat memicu biaya tinggi, keterlambatan, dan penurunan kualitas layanan.

V. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan model Mixed Integer Linear Programming (MILP) untuk mengoptimalkan pengumpulan baterai bekas kendaraan listrik di PT. XYZ, Jawa Barat. Model ini mempertimbangkan jarak, kapasitas dealer, dan permintaan wilayah dalam sistem Closed-Loop Supply Chain, serta terbukti memberikan solusi optimal dan konsisten. Hasil optimasi menunjukkan penempatan strategis 18 dealer di 27 wilayah permintaan, yang mampu meningkatkan efisiensi distribusi dan memperluas cakupan layanan, termasuk ke wilayah pinggiran yang sebelumnya kurang terlayani.

REFERENSI

- [1] G. Gonzales Calienes, B. Yu, and F. Bensebaa, "Development of a Reverse Logistics Modeling for End-of-Life Lithium-Ion Batteries and Its Impact on Recycling Viability—A Case Study to Support End-of-Life Electric Vehicle Battery Strategy in Canada," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, no. 22, Nov. 2022, doi: 10.3390/su142215321.
- [2] A. Baczyńska, W. Niewiadomski, A. Gonçalves, P. Almeida, and R. Luís, "LI-NMC batteries model evaluation with experimental data for electric vehicle application," *Batteries*, vol. 4, no. 1, Mar. 2018, doi: 10.3390/batteries4010011.
- [3] J. Rekayasa, D. Energi, M. Suyitno, and S. Aritonang, "Literatur Review: Performa Baterai Lithium-ion, Lithium-sulfur, dan Lithium-air sebagai Penggerak UAV Spionase Pertahanan dan Keamanan," vol. 7, no. 2, pp. 229–235, 2024, doi: 10.30596/rmme.v7i2.19536.
- [4] Y. Palomino-Perez, M. Rojas, and R. Amaya-Mier, "Design of a reverse logistics network for medical waste considering location and routing decisions," *J Clean Prod*, vol. 474, Oct. 2024, doi: 10.1016/j.jclepro.2024.143592.
- [5] M. He, Q. Li, X. Wu, and K. Izui, "Designing a multi-level reverse logistics network for waste batteries of electric vehicles under uncertainty—A case study in the Yangtze River Delta Urban Agglomerations of China," *J Clean Prod*, vol. 472, Sep. 2024, doi: 10.1016/j.jclepro.2024.143418.
- [6] D. H. Lee and M. Dong, "Dynamic network design for reverse logistics operations under uncertainty," *Transp Res E Logist Transp Rev*, vol. 45, no. 1, pp. 61–71, 2009, doi: 10.1016/j.tre.2008.08.002.
- [7] J. T. Warner, "The Cathodes," in *Lithium-Ion Battery Chemistries*, Elsevier, 2019, pp. 99–114. doi: 10.1016/b978-0-12-814778-8.00005-3.
- [8] "anshori".
- [9] F. A. Perdana, "Baterai Lithium," *INKUIRI: Jurnal Pendidikan IPA*, vol. 9, no. 2, p. 113, Apr. 2021, doi: 10.20961/inkui.v9i2.50082.
- [10] Y. Zhao *et al.*, "Regeneration and reutilization of cathode materials from spent lithium-ion batteries," Mar. 01, 2020, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.ccej.2019.123089.
- [11] V. Tulus and P. Sidabutar, "Kajian pengembangan kendaraan listrik di Indonesia: prospek dan hambatannya," 2020.
- [12] A. Z. Fanani, E. Rosyida, and S. Puspitorini, "PEMODELAN SISTEM REVERSE LOGISTIC PET BOTTLE BEKAS MENGGUNAKAN KONSEP VENDOR MANAGED INVENTORY," *SMART CITY AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS*, vol. 1, no. 1, 2022.
- [13] P. R. Nanayakkara, M. M. Jayalath, A. Thibbotuwawa, and H. N. Perera, "A circular reverse logistics framework for handling e-commerce returns," *Cleaner Logistics and Supply Chain*, vol. 5, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.clscn.2022.100080.
- [14] M. Alkahtani *et al.*, "An insight into reverse logistics with a focus on collection systems," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 13, no. 2, pp. 1–24, Jan. 2021, doi: 10.3390/su13020548.
- [15] S. Guo, B. Shen, T. M. Choi, and S. Jung, "A review on supply chain contracts in reverse logistics: Supply chain structures and channel leaderships," *J Clean Prod*, vol. 144, pp. 387–402, Feb. 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.12.112.
- [16] L. Eka, "PENGEMBANGAN MODEL MANAJEMEN RANTAI PASOK BERKELANJUTAN DENGAN IMPLEMENTASI KONSEP EKONOMI SIRKULAR PADA BATERAI KENDARAAN LISTRIK," 2024.
- [17] C. mei Ma, "Impacts of demand disruption and government subsidy on closed-loop supply chain management: A model based approach," *Environ Technol Innov*, vol. 27, Aug. 2022, doi: 10.1016/j.eti.2022.102425.
- [18] G. Shu San, D. Wahjudi, and Y. Y. Tanoto, "Remanufacturing: Strategi dan Desain dalam Rantai Pasok Lingkaran Tertutup," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 18, no. 2, pp. 51–59, Oct. 2021, doi: 10.9744/jtm.18.2.51-59.
- [19] J. T. Marcos, C. Scheller, R. Godina, T. S. Spengler, and H. Carvalho, "Sources of uncertainty in the closed-loop supply chain of lithium-ion batteries for electric vehicles," *Cleaner Logistics and Supply Chain*, vol. 1, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.clscn.2021.100006.
- [20] J. Coenen, van der Heijden, and A. C. van Riel, "Expediting the Implementation of Closed-Loop Supply Chain Management: a Facilitated Case Study on Re-using Timber in Construction Projects," *Circular Economy and Sustainability*, vol. 3, no. 1, pp. 93–124, Mar. 2023, doi: 10.1007/s43615-022-00186-6.
- [21] S. H. Amin, G. Zhang, and M. N. Eldali, "A review of closed-loop supply chain models," *Journal of Data, Information and Management*, vol. 2, no. 4,

pp. 279–307, Dec. 2020, doi: 10.1007/s42488-020-00034-y.

- [22] S. Basriati *et al.*, “Penggunaan Metode Cutting Plane dalam Menentukan Solusi Integer Linear Programming (Studi Kasus: Dinas Perikanan Pemerintah Kabupaten Kampar),” 2018.
- [23] X. Ciclo and T. Di Dottorato, “Dottorato di Ricerca in Matematica Computazionale Exact and Heuristic Methods for Mixed Integer Linear Programs.”
- [24] V. K. Chouhan, “Design and Optimization of Product Reuse Economics in Multi-Echelon Closed-Loop Supply Chain,” 2020.
- [25] M. Tadaros, A. Migdalas, B. Samuelsson, and A. Segerstedt, “Location of facilities and network design for reverse logistics of lithium-ion batteries in Sweden,” *Operational Research*, vol. 22, no. 2, pp. 895–915, Apr. 2022, doi: 10.1007/s12351-020-00586-2.
- [26] M. He, Q. Li, X. Wu, and K. Izui, “Designing a multi-level reverse logistics network for waste batteries of electric vehicles under uncertainty—A case study in the Yangtze River Delta Urban Agglomerations of China,” *J Clean Prod*, vol. 472, p. 143418, Sep. 2024, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2024.143418.
- [27] D. Galvez, A. Rakotondranaivo, L. Morel, M. Camargo, and M. Fick, “Reverse logistics network design for a biogas plant: An approach based on MILP optimization and Analytical Hierarchical Process (AHP),” *J Manuf Syst*, vol. 37, pp. 616–623, 2015, doi: 10.1016/j.jmsy.2014.12.005.
- [28] S. Ene and N. Öztürk, “Network modeling for reverse flows of end-of-life vehicles,” *Waste Management*, vol. 38, no. 1, pp. 284–296, 2015, doi: 10.1016/j.wasman.2015.01.007.
- [29] F. Schultmann, B. Engels, and O. Rentz, “Closed-Loop Supply Chains for Spent Batteries,” *Interfaces (Providence)*, vol. 33, no. 6, pp. 57–71, 2003, doi: 10.1287/inte.33.6.57.25183.
- [30] W. Bergh, “Lund university Faculty of engineering Mapping the European reverse logistics of electric vehicle batteries.”
- [31] A. Alshamsi and A. Diabat, “A reverse logistics network design,” *J Manuf Syst*, vol. 37, pp. 589–598, 2015, doi: 10.1016/j.jmsy.2015.02.006.
- [32] D. S. Rogers, B. Melamed, and R. S. Lembke, “Modeling and Analysis of Reverse Logistics.”
- [33] H. Sonar, B. Dey Sarkar, P. Joshi, N. Ghag, V. Choubey, and S. Jagtap, “Navigating barriers to reverse logistics adoption in circular economy: An integrated approach for sustainable development,” *Cleaner Logistics and Supply Chain*, vol. 12, Sep. 2024, doi: 10.1016/j.clscn.2024.100165.