

BAB I

PENDAHULUAN

Bab satu membahas mengenai urgensi dari penelitian yang direncanakan. Beberapa hal yang dibahas dalam bab satu diantaranya adalah latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan dan asumsi penelitian, manfaat penelitian serta sistematika penelitian.

1.1. Latar Belakang

Kendaraan motor listrik (*Electric Vehicle*/EV) kini telah menjadi komponen penting dalam upaya global menuju transisi energi bersih. Penggunaan EV berperan signifikan dalam mengurangi emisi karbon dan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Bahan bakar fosil merupakan penyumbang utama polusi udara dari sektor transportasi. Sebagai bagian dari strategi global untuk mengatasi perubahan iklim, berbagai negara mendorong adopsi EV guna mendukung tujuan keberlanjutan (Gonzales Calienes dkk., 2022). Berbagai negara dan perusahaan di seluruh dunia berkomitmen mengembangkan kendaraan listrik (EV) dengan teknologi terbaru untuk mempercepat transisi menuju energi bersih, dimana elektrifikasi transportasi ini berpotensi menurunkan emisi karbon dioksida hingga 50%, terutama jika didukung oleh infrastruktur listrik berbasis energi terbarukan.

Salah satu jenis baterai yang banyak digunakan pada EV saat ini adalah baterai Lithium-ion dengan katoda Nickel Manganese Cobalt (NMC). Produsen EV memilih baterai NMC karena kombinasi performa yang baik, kepadatan energi yang tinggi, dan tingkat keamanan yang relatif lebih baik dibandingkan jenis baterai lithium-ion lainnya. Sebagai contoh, baterai NMC memiliki energi spesifik mencapai 588 Wh/kg dan siklus hidup yang dapat mencapai lebih dari 2.000 siklus (Baczyńska dkk., 2018). Selain itu, baterai NMC juga unggul dalam hal kemampuan pelepasan daya yang tinggi, sehingga memungkinkan akselerasi dan performa kendaraan yang optimal. Keunggulan lainnya adalah stabilitas termal yang baik, yang berkontribusi pada kinerja yang andal dalam berbagai kondisi suhu (Rekayasa dkk., 2024).

Mengingat pentingnya peran baterai dalam kendaraan listrik, perlu dipahami bahwa baterai NMC, seperti jenis baterai lainnya, memiliki usia pakai terbatas yang dipengaruhi berbagai faktor seperti pola penggunaan, frekuensi pengisian daya, dan kondisi lingkungan selama operasional. Setelah melewati masa pakainya, baterai NMC memasuki fase akhir siklus hidup dan berpotensi menjadi limbah sulit dikelola jika tidak ditangani dengan baik. Di Indonesia, ekosistem pengelolaan baterai bekas masih belum terbentuk nyata karena penggunaan kendaraan listrik dan baterainya masih relatif baru sehingga belum banyak baterai yang mencapai masa akhir pakai. Oleh sebab itu, kondisi ini menimbulkan kebutuhan untuk memahami ekosistem *existing* yang sederhana dan mulai mempersiapkan alur pengelolaan baterai bekas agar berjalan optimal saat jumlah baterai aus meningkat.

Untuk mengatasi hal tersebut, rencana alur pengelolaan baterai bekas yang paling sederhana adalah pengembalian baterai dari konsumen kepada dealer sebagai titik awal pengumpulan sebelum diproses lebih lanjut. Dealer memiliki peran utama menarik kembali baterai bekas untuk disalurkan ke manufaktur atau anak perusahaan yang memiliki fasilitas pengelolaan baterai bekas. Fokus utama pada tahap ini adalah pengelolaan alur pengembalian dan pengumpulan baterai. Urgensi perencanaan ini semakin meningkat karena motor listrik mulai banyak beredar di masyarakat, namun infrastruktur pengelolaan baterai bekas belum siap memadai. Ketidaksiapan infrastruktur ini berpotensi menghambat percepatan adopsi kendaraan listrik di Indonesia. Oleh sebab itu, persiapan dan pengembangan infrastruktur pengelolaan baterai bekas perlu segera dilakukan untuk mendukung transisi energi bersih berkelanjutan, salah satunya tempat pengumpulan baterai bekas.

Sejalan dengan hal tersebut, PT. XYZ berencana menerapkan sistem *reverse logistics* untuk pengumpulan baterai bekas, yang akan mengoptimalkan proses pengembalian dengan mempertimbangkan jarak efisien antara konsumen dan lokasi distribusi dealer. Untuk merancang dan mengoptimalkan pengelolaan baterai bekas secara efisien meliputi penentuan jarak optimal antara lokasi konsumen dan dealer PT. XYZ, diperlukan metode yang mampu menentukan lokasi pengumpulan dan rute transportasi secara optimal. Salah satu pendekatan yang banyak digunakan adalah *Mixed Integer Linear Programming* (MILP).

Berbagai penelitian sebelumnya telah mengkaji berbagai metode dan model untuk merancang serta mengoptimalkan jaringan *reverse logistics* dalam pengelolaan baterai bekas kendaraan listrik, seperti yang diterapkan oleh (Palomino-Perez dkk., 2024), yang berhasil menentukan lokasi optimal depot pengumpulan dan rute transportasi. Model ini mempertimbangkan keterbatasan kapasitas kendaraan dan depot, dengan tujuan meminimalkan biaya logistik sekaligus mengurangi risiko lingkungan. Selain itu, metode *fuzzy optimization* juga telah digunakan untuk mengatasi ketidakpastian dalam jaringan logistik, seperti yang ditunjukkan oleh (He dkk., 2024). Penelitian mereka menekankan pentingnya lokasi fasilitas dan pengurangan emisi karbon dalam desain jaringan *reverse logistics* untuk baterai EV. Sementara itu, (Lee & Dong, 2009) mengembangkan pendekatan stochastic programming untuk menangani dinamika jaringan logistik terbalik di bawah ketidakpastian. Penelitian ini menggunakan pendekatan diskrit dengan metode *Mixed-Integer Linear Programming* (MILP). Pendekatan ini memungkinkan pemodelan keputusan-keputusan diskrit, seperti jumlah unit atau alokasi sumber daya, sehingga solusi yang dihasilkan lebih sesuai dengan kondisi operasional di lapangan. Sebagai contoh, dengan pendekatan ini, variasi dalam volume baterai yang dikembalikan di setiap lokasi pengumpulan dapat diakomodasi secara terstruktur, sehingga alokasi sumber daya dapat dilakukan secara optimal dan realistis sesuai dengan batasan-batasan yang ada. Keunggulan MILP terletak pada kemampuannya menangani optimasi kombinatorial yang kompleks, seperti rute pengumpulan, alokasi kendaraan, dan minimasi biaya. Dengan fleksibilitasnya, MILP berkontribusi signifikan dalam pengelolaan limbah baterai EV melalui optimalisasi berbagai aspek dalam jaringan logistik balik.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini fokus pada pengembangan model optimasi menggunakan MILP untuk pengelolaan limbah baterai bekas kendaraan motor listrik khususnya di Jawa Barat. Pemilihan Jawa Barat sebagai wilayah studi didasarkan pada beberapa pertimbangan strategis, misalnya Jawa Barat merupakan provinsi dengan populasi dan tingkat urbanisasi yang tinggi, dimana ditandai dengan jumlah pengguna motor listrik terbanyak di pulau jawa sebanyak 23.770 pengguna, sehingga permintaan terhadap kendaraan listrik termasuk motor listrik diperkirakan cukup signifikan (Ekonomi, 2025). Selain itu, Jawa Barat memiliki jaringan *kdealer*

dan infrastruktur otomotif yang relatif berkembang, khususnya pada PT. XYZ, menjadikannya lokasi ideal untuk menguji model optimasi pengelolaan baterai bekas. Fokus pada Jawa Barat diharapkan memberikan gambaran yang representatif mengenai tantangan dan peluang dalam pengelolaan limbah baterai kendaraan listrik di kawasan dengan tingkat penetrasi kendaraan listrik yang semakin meningkat. Tujuan penelitian ini adalah mendukung pengelolaan baterai bekas secara berkelanjutan dengan meminimalkan biaya transportasi dan memaksimalkan pengumpulan. Selain itu, model ini diharapkan dapat meningkatkan nilai ekonomi melalui pemanfaatan kembali material baterai, sejalan dengan prinsip ekonomi sirkular.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang pada subbab 1.1 dirumuskan beberapa masalah yang berkaitan dalam penelitian ini. Adapun rumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

- a. Bagaimana model matematis *Mixed Integer Linear Programming* (MILP) untuk mengoptimalkan proses pengembalian baterai bekas kendaraan motor listrik di Jawa Barat sehingga mampu meminimalkan jarak transportasi pengembalian?
- b. Bagaimana hasil lokasi optimal untuk titik pengumpulan baterai bekas kendaraan motor listrik pada PT. XYZ di Jawa Barat dengan tujuan mampu meminimalkan jarak transportasi pengembalian?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian rumusan masalah pada subbab 1.2 ditentukan tujuan agar penelitian dapat memberikan hasil yang diinginkan. Adapun beberapa tujuan dari penelitian ini sebagai berikut :

- a. Merancang dan menghasilkan model *Mixed Integer Linear Programming* (MILP) untuk pengembalian baterai bekas kendaraan motor listrik pada PT. XYZ di Jawa Barat
- b. Menentukan lokasi optimal untuk titik pengumpulan baterai bekas kendaraan motor listrik di Jawa Barat guna memaksimalkan pengumpulan sekaligus meminimalkan biaya transportasi.

1.4. Batasan dan Asumsi Penelitian

Penelitian ini dibatasi dan diasumsikan untuk fokus pada desain model *reverse logistics* yang relevan bagi pengembalian baterai bekas. Adapun batasan dan asumsi pada penelitian ini :

1.4.1 Batasan Penelitian

- a. Penelitian ini hanya berfokus pada baterai Lithium-ion dengan katoda Nickel Manganese Cobalt (NMC).
- b. Penelitian ini dibatasi pada wilayah Pulau Jawa Barat, Indonesia. Karakteristik geografis, infrastruktur, dan regulasi di luar Pulau Jawa Barat tidak dipertimbangkan.
- c. Penelitian ini berfokus pada tahapan pengumpulan baterai bekas dari konsumen ke fasilitas *dealer* pengumpulan baterai bekas.
- d. Studi ini hanya mencakup wilayah dengan keberadaan fasilitas distributor dari PT. XYZ yang ada di Pulau Jawa Barat.
- e. Penelitian ini mengacu pada kondisi saat ini dan mungkin tidak mempertimbangkan perubahan di masa depan, seperti perkembangan teknologi baterai atau perubahan regulasi.

1.4.2 Asumsi Penelitian

- a. Model hanya berlaku untuk skema *reverse logistics* di kota dan kabupaten yang sudah memiliki fasilitas distribusi PT. XYZ.
- b. Pemerintah tidak memberikan subsidi atau insentif tambahan untuk mendukung *reverse logistics* dalam penelitian ini.
- c. Penelitian tidak mempertimbangkan faktor-faktor eksternal, seperti perubahan regulasi pemerintah atau fluktuasi harga bahan bakar.
- d. Penelitian dilakukan dengan asumsi bahwa seluruh pengumpulan baterai bekas dilakukan melalui fasilitas distribusi PT.XYZ yang telah tersedia.
- e. Konsumen bersedia mengembalikan baterai bekas mereka ke titik pengumpulan yang telah ditentukan, serta tingkat pengembalian diasumsikan konstan atau dapat diprediksi.
- f. Penelitian ini mengasumsikan bahwasannya kondisi baterai NMC memiliki kondisi *safety* yang sama atau stabil.

- g. Proposi *demand* berbanding lurus dengan jumlah penduduk yang ada di kota atau kabupaten terpilih.
- h. Penelitian dilakukan dengan asumsi data motor listrik yang digunakan menggunakan baterai spesifikasi NMC.
- i. Diasumsikan tempat pengumpulan baterai ukurannya sama dengan *dealer* yang ada di Bandung
- j. Proses pengambilan baterai oleh produsen baterai dalam kurun waktu 3 – 4 kali per tahun

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat kepada pihak-pihak yang terkait dalam penelitian ini. Manfaat yang dapat diberikan adalah :

1. Manfaat Akademis

- a. Penelitian ini akan memperkaya keilmuan di bidang logistik dan manajemen rantai pasokan, khususnya dalam konteks penerapan reverse logistics untuk pengelolaan baterai bekas kendaraan motor listrik.
- b. Hasil penelitian ini dapat mengisi celah pengetahuan dalam literatur akademis mengenai desain model *reverse logistics* untuk mendukung keberlanjutan dan efisiensi rantai pasokan, khususnya dalam industri baterai sepeda motor listrik di Indonesia.

2. Manfaat Praktis

1. Bagi Industri

Memberikan panduan untuk merancang sistem *reverse logistics* yang dapat mengurangi biaya operasional, mengoptimalkan pemanfaatan ulang material baterai bekas.

2. Bagi Institusi

Menghasilkan data dan informasi yang komprehensif mengenai dampak lingkungan dari pengelolaan baterai EV dan pentingnya partisipasi konsumen dalam pengembalian baterai bekas, untuk mendukung pengembangan riset, inovasi, dan formulasi kebijakan terkait keberlanjutan industri EV.

1.6. Sistematika Penulisan

Pada bagian sistematika penelitian, berisi penjelasan secara singkat isi dari Tugas Akhir mengenai “**Minimasi Jarak Untuk Mendukung Pengembalian Baterai Bekas NMC Pada Sepeda Motor Listrik PT.XYZ**” Penjelasan setiap subbab disesuaikan khusus dengan penelitian yang dilakukan dan tidak bersifat deskripsi umum. Berikut adalah sistematika penulisan:

1. BAB I: Pendahuluan

1. **Latar Belakang:** Menguraikan pentingnya proses pengembalian limbah baterai kendaraan motor listrik di Indonesia, tantangan dalam *reverse logistics*, serta potensi solusi melalui desain model *supply chain*.
2. **Rumusan Masalah:** Menetapkan pertanyaan penelitian terkait bagaimana model MILP untuk pengembalian baterai bekas, bagaimana hasil lokasi optimal dalam pengumpulan baterai bekas.
3. **Tujuan Penelitian:** Merumuskan tujuan penelitian untuk menjawab rumusan masalah dengan membangun model matematis untuk optimalisasi *reverse logistics* menggunakan metode MILP.
4. **Batasan dan Asumsi Penelitian**
Batasan Penelitian: Menjelaskan ruang lingkup penelitian, seperti tipe baterai (NMC), metode yang digunakan, dan batasan data yang dikaji.
Asumsi Penelitian: Mencakup asumsi mengenai kondisi pasar yang stabil, umur baterai, dan kapasitas logistik yang tersedia.
5. **Manfaat Penelitian:** Menggambarkan manfaat penelitian bagi berbagai pihak terkait, seperti akademisi, konsumen, penjual, dan pemerintah.
6. **Sistematika Penulisan :** Memberikan gambaran struktur laporan tugas akhir, seperti uraian isi dari masing-masing bab.

2. BAB II: Landasan Teori

1. Teori Dasar

Baterai EV dengan tipe NMC : Peranan Baterai NMC dalam Sepeda Motor Listrik.

Reverse Logistics: Proses pengelolaan aliran balik produk

Linear Programming: Metode matematis untuk mengoptimalkan penggunaan sumber daya terbatas dalam masalah logistik.

Mixed Integer Linear Programming: MILP digunakan untuk mengoptimalkan lokasi fasilitas, biaya logistik, aliran material dengan mempertimbangkan batasan operasional.

2. Literatur Terkait Teori

Menyusun rangkuman studi terdahulu yang relevan dengan pengelolaan limbah baterai dan model *supply chain*.

3. Alasan Pemilihan Teori

Menjelaskan relevansi teori yang dipilih untuk mendukung pengembangan model penelitian ini.

3. BAB III: METODOLOGI PENYELESAIAN MASALAH

1. Sistematika Perancangan

Tahapan penelitian mulai dari identifikasi awal hingga analisis hasil.

Deskripsi mekanisme verifikasi dan validasi hasil rancangan.

4. BAB IV : PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

1. Pengumpulan Data

Data Primer: Hasil wawancara dengan ahli *reverse logistics* baterai EV.

Data Sekunder: Literatur dan penelitian terdahulu yang relevan.

2. Pengolahan Data

a. Pendefinisian variabel dari pembentukan Model Matematis.

b. Pembentukan model matematis menggunakan *Mixed Integer Linear Programming*.

5. BAB V: HASIL DAN ANALISIS

1. Verifikasi dan Validasi

Memverifikasi dan memvalidasi model berdasarkan parameter dan hasil simulasi yang mendekati kondisi ideal.

2. Analisis Hasil

Mengevaluasi dampak perubahan parameter terhadap hasil optimasi *reverse logistics*.

6. BAB VI: KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Membahas kesimpulan dari hasil penelitian sesuai dengan rumusan masalah.

2. **Saran**

Membahas saran yang diusulkan oleh peneliti untuk penelitian yang lebih baik.