

**OPTIMASI BIAYA DISTRIBUSI KONTAINER DI DRY PORT
KAWASAN EKONOMI KHUSUS SEI MANGKEI DENGAN
METODE INTEGER LINEAR PROGRAMMING**

SKRIPSI

Oleh:

RIDHIKA ADABIANSYAH

218150011



PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MEDAN AREA

2025

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 10/12/25

Access From (repositori.uma.ac.id)10/12/25

**OPTIMASI BIAYA DISTRIBUSI KONTAINER DI DRY PORT
KAWASAN EKONOMI KHUSUS SEI MANGKEI DENGAN
METODE INTEGER LINEAR PROGRAMMING**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh

Gelar Sarjana di Fakultas Teknik

Universitas Medan Area

OLEH:

RIDHIKA ADABIANSYAH

218150011

PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MEDAN AREA

MEDAN

2025

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi : Optimasi Biaya Distribusi Kontainer Di Dry Port Kawasan
Ekonomi Khusus Sei Mangkei Dengan Metode Integer Linear
Programming.
Nama : RIDHIKA ADABIANSYAH
NPM : 218150011
Fakultas/Prodi : Teknik/Teknik Industri

Disetujui Oleh:

Dosen Pembimbing



Dr. Ir. H. Haniza, MT

NIDN: 0031016102

Mengetahui:

Dekan Fakultas Teknik

Ketua Program Studi



Dr. Yogi Subianto, ST., MT
NIDN: 0102027402



Nukla Andri Silviana, ST., MT
NIDN: 0127038802

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ridhika Adabiansyah

NPM : 218150011

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 08 September 2025



Ridhika Adabiansyah

218150011

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ridhika Adabiansyah

NPM : 218150011

Program Studi : Teknik Industri

Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Non Eksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul: OPTIMASI BIAYA DISTRIBUSI KONTAINER DI DRY PORT KAWASAN EKONOMI KHUSUS SEI MANGKEI DENGAN METODE INTEGER LINEAR PROGRAMMING. Dengan Hak Bebas Non Eksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalih media/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan

Pada Tanggal : 08 September 2025



(Ridhika Adabiansyah)

218150011

ABSTRAK

Ridhika Adabiansyah. NPM 218150011. “Optimasi Biaya Distribusi Kontainer Di Dry Port Kawasan Ekonomi Khusus Sei Mangkei Dengan Metode Integer Linear Programming”. Dibimbing oleh Dr. Ir. Hj. Haniza, MT.

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan biaya distribusi kontainer dari Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) Sei Mangkei menuju Pelabuhan Belawan dan Kuala Tanjung dengan metode *Integer Linear Programming* (ILP). Permasalahan distribusi kontainer sering menimbulkan biaya tinggi akibat keterbatasan kapasitas serta alokasi rute yang kurang efisien. Model ILP dibangun dengan mempertimbangkan biaya pengiriman kontainer isi maupun kosong, kapasitas kereta dalam satuan *Twenty Equivalent Unit* (TEU), serta jumlah kontainer yang harus dikirim. Hasil optimasi menunjukkan dua skenario. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan biaya distribusi kontainer dari Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) Sei Mangkei menuju Pelabuhan Belawan dan Kuala Tanjung dengan menggunakan metode Integer Linear Programming (ILP). Permasalahan utama dalam distribusi kontainer adalah tingginya biaya akibat keterbatasan kapasitas angkut serta alokasi rute yang belum efisien. Model ILP dalam penelitian ini dibangun dengan mempertimbangkan biaya pengiriman kontainer isi maupun kosong, kapasitas kereta dalam satuan Twenty Equivalent Unit (TEU), serta jumlah kontainer yang harus didistribusikan. Hasil optimasi menghasilkan dua skenario. Pada skenario pertama, jika seluruh kontainer dialokasikan ke Pelabuhan Belawan, biaya minimum tercapai sebesar Rp9.345.000.000 dengan konfigurasi pengiriman seluruhnya menggunakan kontainer 20 feet. Pada skenario kedua, jika seluruh kontainer dialokasikan ke Pelabuhan Kuala Tanjung, biaya optimal sebesar Rp10.827.777.000 dengan komposisi 1.863 unit kontainer 20 feet dan 4.137 unit kontainer 40 feet. Dibandingkan dengan biaya aktual distribusi sebesar Rp37.767.601.364, penerapan model ILP mampu menurunkan biaya distribusi hingga Rp20.172.777.000 atau mencapai efisiensi sekitar 46,56%. Penelitian ini menyimpulkan bahwa metode ILP efektif dalam memberikan solusi optimal distribusi kontainer, sehingga dapat dijadikan acuan dalam perencanaan dan pengambilan keputusan logistik di KEK Sei Mangkei.

Kata kunci: Optimasi, biaya distribusi, kontainer, *Integer Linear Programming*, Belawan, Kuala Tanjung, Sei Mangkei.

ABSTRACT

Ridhika Adabiansyah. NPM 218150011. "Optimizing Container Distribution Costs at the Dry Port of the Sei Mangkei Special Economic Zone Using the Integer Linear Programming Method". Supervised by Dr. Ir. Hj. Haniza, MT.

This research aims to optimize container distribution costs from the Sei Mangkei Special Economic Zone (SEZ) to Belawan and Kuala Tanjung Ports using the Integer Linear Programming (ILP) method. The main problem in container distribution is the high costs resulting from limited transport capacity and inefficient route allocation. The ILP model in this research was developed by considering the shipping costs of both loaded and empty containers, train capacity in Twenty Equivalent Units (TEU), and the total number of containers to be distributed. The optimization results produce two scenarios. In the first scenario, if all containers are allocated to Belawan Port, the minimum cost achieved is IDR 9,345,000,000 with all shipments using 20-foot containers. In the second scenario, if all containers are allocated to Kuala Tanjung Port, the optimal allocation consists of 1,863 units of 20-foot containers and 4,137 units of 40-foot containers, with a total cost of IDR 10,827,777,000. Compared to the actual distribution cost of IDR 37,767,601,364, the application of the ILP model reduces distribution costs by up to IDR 20,172,777,000 or approximately 46.56% efficiency. This study concludes that the ILP method is effective in providing optimal solutions for container distribution and can be used as a reference in logistics planning and decision-making within the Sei Mangkei SEZ.

Keywords: optimization, distribution cost, container, *Integer Linear Programming*, Belawan, Kuala Tanjung, Sei Mangkei.

RIWAYAT HIDUP

Ridhika Adabiansyah, atau yang kerab disapa Dhika Penulis Kebangsaan Indonesia dan beragama Islam dilahirkan di Kecamatan Sei Silau, Kabupaten Asahan Provinsi Sumatera Utara pada tanggal 22 Mei 2003 dari Ayah Miswarindra dan Ibu Farida Wati Manurung merupakan putra kedua dari empat bersaudara.

Penulis menempuh Pendidikan Sekolah Dasar Swasta Nur Adia dan selesai pada tahun 2015, Pada tahun yang sama penulis melanjutkan di Sekolah Menengah Pertama Negeri 1 Medan dan selesai pada tahun 2018, Pada tahun yang sama juga penulis melanjutkan Pendidikan di Sekolah Menengah Kejuruan Panca Budi penulis mengambil jurusan Teknik Kendaraan Ringan dan selesai pada tahun 2021 dan pada tahun yang sama penulis terdaftar sebagai mahasiswa Fakultas Teknik Industri Universitas Medan Area.

Berkat Tuhan Yang Maha Esa, Dengan ketekunan, motivasi tinggi untuk terus belajar, usaha yang disertai doa dari kedua orang tua dalam menjalani akademi Perguruan Tinggi Swasta Universitas Medan Area. Penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“Optimasi Biaya Distribusi Kontainer Di Dry Port Kawasan Ekonomi Khusus Sei Mangkei Dengan Metode Integer Linear Programming”**. Semoga dengan penulisan tugas akhir ini mampu memberikan kontribusi positif bagi dunia pendidikan dan menambah khazanah ilmu pengetahuan serta bermanfaat dan berguna bagi sesama.

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur Saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa. Atas ridanya saya dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini. Adapun judul yang saya ajukan adalah **“Optimasi Biaya Distribusi Kontainer Di Dry Port Kawasan Ekonomi Khusus Sei Mangkei Dengan Metode Integer Linear Programming”**.

Skripsi ini diajukan untuk memenuhi syarat kelulusan mata kuliah skripsi di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Industri Universitas Medan Area. Tidak dapat di sangkal bahwa butuh usaha yang keras dalam penyelesaian pengerjaan skripsi ini. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada orang tua tercinta, **BAPAK MISWARINDRA** dan **IBU FARIDA WATI MANURUNG** yang telah mendukung dan memberikan doa kepada saya, moral maupun materi demi kesuksesan penyusunan tugas akhir ini. Namun, karya ini tidak akan selesai tanpa orang-orang tercinta di sekeliling saya yang mendukung dan membantu. Terima kasih saya sampaikan kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng, M.Sc., selaku Rektor Universitas Medan Area.
2. Bapak Dr. Eng. Supriatno, ST, MT, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
3. Ibu Nukhe Andri Silviana ST, MT., Selaku ketua program studi dan koordinator program studi Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
4. Ibu Dr. Ir. Hj. Haniza, MT selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing saya dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini.

5. Untuk abang saya Pindi Filsa, adik saya Airis Rilaudy, dan adik saya Beryl Agfashahih terimakasih untuk selalu membantu saya, mendukung saya serta selalu mendoakan saya.
6. Kepada orang Terkasih Nadila Gusti Rahayu terima kasih telah menemani, meluangkan waktu, tenaga dan pikiran atau pun materi kepada saya serta selalu memberikan semangat, dukungan dan selalu ada dalam keadaan suka maupun duka selama proses penyusunan skripsi ini.
7. Untuk Sahabat saya Wandra, Reza Andrean Saragih, Irgi Erick Syuhada, Nur Fadila, Dwi Rizky Febrian, Achyar Siregar dan Luthvi Athaya. Dengan penuh rasa syukur, saya ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada sahabat dan teman-teman saya yang senantiasa hadir dan mendampingi saya dalam setiap proses perjalanan akademik, khususnya dalam penyusunan skripsi ini. Terima kasih telah menjadi bagian penting dalam hidup saya, yang selalu memberikan semangat, doa, tawa, serta hiburan di saat saya merasa lelah dan hampir menyerah. Saya sangat berterima kasih atas setiap dukungan yang kalian berikan, baik berupa kata-kata penyemangat, bantuan kecil yang berarti besar, maupun kebersamaan yang tidak ternilai harganya. Kehadiran kalian membuat perjalanan ini menjadi lebih ringan, penuh warna, dan jauh lebih bermakna. Tanpa kalian, saya mungkin tidak akan mampu melalui masa-masa sulit dalam proses penyelesaian skripsi ini dengan baik. Terima kasih telah bersedia mendengarkan keluh kesah saya, memahami keterbatasan saya, dan tetap menjadi sahabat yang setia. Setiap perhatian, kebersamaan, dan doa tulus dari kalian adalah anugerah yang begitu berharga dalam hidup saya. Semoga

persahabatan ini tidak hanya berhenti di bangku perkuliahan, tetapi akan terus terjalin indah dalam perjalanan hidup kita selamanya.

8. Seluruh Dosen dan Staff Fakultas Teknik yang telah banyak memberikan bantuan kepada Penulis. Semoga segala kebaikan yang telah bapak, ibu, saudara, partner saya, dan teman sekalian mendapatkan pahala yang berlipat dari Tuhan Yang Maha Esa.

Penulis sangat menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih banyak kekurangan, karena keterbatasan, kemampuan ilmu, dan pengalaman penulis. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat penulis harapkan untuk senantiasa memberikan perbaikan di masa yang akan datang. Semoga karya skripsi ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak, Amin.

Medan, 8 September 2025



Ridhika Adabiansyah

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Faktor Yang Mempengaruhi Distribusi.....	7
2.1.1 Jarak	7
2.1.2 Kapasitas Alat Angkut.....	8
2.1.3 Permintaan	10

2.1.4 Manajemen Waktu	12
2.2 Manajemen Logistik	13
2.3 Komponen Manajemen Logistik	14
2.4 Sistem Transportasi	15
2.5 Konsep Dasar Logistik dan Transportasi	16
2.6 Dry Port dan Perannya dalam Distribusi Logistik.....	17
2.7 Metode Integer Linear Programming	17
2.8 Formulasi Model Matematis	19
2.9 Penelitian Terdahulu.....	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	23
3.1.1 Lokasi Penelitian.....	23
3.1.2 Waktu Penelitian.....	23
3.2 Sumber Data dan Jenis Penelitian	23
3.2.1 Sumber Data	23
3.2.2 Jenis Penelitian	24
3.3 Variable Penelitian	24
3.4 Kerangka Berfikir.....	25
3.5 Teknik Pengumpulan Data	26
3.6 Teknik Pengolahan Data	26
3.7 Metode Integer Linear Programming	30

3.8 Flowchart Penelitian.....	33
3.9 Flowchart Alur Distribusi.....	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1. Pengumpulan Data	35
4.1.1. Data Lokasi Pelanggan	35
4.1.2. Data Permintaan Pelanggan	35
4.1.3 Data Identifikasi Jarak	36
4.1.4. Sarana Pendistribusian.....	38
4.1.5. Hari dan Waktu Kerja	38
4.2. Pengolahan Data.....	38
4.2.1 Data Permintaan dan Spesifikasi Kontainer	39
4.2.2 Struktur Biaya Logistik.....	39
4.3 Model Optimasi Pengiriman Kontainer	40
4.3.1 Penyelesaian Model	40
4.3.3 Hasil Optimasi Pelabuhan Belawan.....	42
4.3.4 Hasil Optimasi Pelabuhan Kuala Tanjung.....	43
4.3.5 Perbandingan Antara Kedua Optimasi	44
4.3.6 Estimasi Biaya Optimal Perusahaan	45
4.4 Pembahasan	46
4.4.1 Validasi Model.....	46

4.4.2 Analisis Skenario Tambahan: Keterbatasan Kapasitas Kereta	46
4.4.3 Evaluasi Komponen Biaya.....	47
4.4.4 Batasan Kapasitas Kereta Api.....	48
4.4.5 Alasan Pemilihan Pelabuhan oleh Perusahaan	48
4.5 Kesimpulan dan Implikasi.....	50
4.6 Interpretasi Hasil Optimasi.....	51
4.7 Perbandingan Sebelum dan Sesudah Optimasi	52
4.7.1 Keterkaitan Hasil dengan Tujuan Penelitian	52
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	53
5.1 Kesimpulan.....	53
5.2 Saran	55
5.2.1 Saran untuk Perusahaan	55
5.2.2 Saran untuk Pengelola Kawasan Industri / KEK	55
5.2.3 Saran untuk Pemerintah dan Regulator	56
5.2.4 Saran untuk Peneliti Selanjutnya	56
DAFTAR PUSTAKA	58
LAMPIRAN.....	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Kerangka Berfikir.....	25
Gambar 3. 2 Flowchart Penelitian.....	33
Gambar 3. 3 Flowchart Alur Distribusi	34
Gambar 4. 1 Rute Kereta Api.....	37
Gambar 4. 4 Screenshot Hasil Solusi Optimasi	46



DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Lokasi Pelanggan PT. Sei Mangkei Nusantara III.....	35
Tabel 4. 2 Laporan Kedatangan dan Pengiriman Kontainer	36
Tabel 4. 3 Jarak Pelanggan.....	37
Tabel 4. 4 Sarana Pendistribusian	38
Tabel 4. 5 Biaya Pengiriman Kontainer Isi Per Unit	39
Tabel 4. 6 Biaya Pengiriman Kontainer Kosong Per Unit	40
Tabel 4. 7 Distribusi Optimal Ke Pelabuhan Belawan	42
Tabel 4. 8 Hasil Optimasi Kuala Tanjung.....	43
Tabel 4. 9 Perbandingan Hasil Optimasi Pengiriman Kontainer	44
Tabel 4. 10 Estimasi Biaya.....	45

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Distribusi merupakan salah satu kegiatan utama dalam manajemen rantai pasok (*supply chain management*) yang memainkan peranan penting dalam memastikan produk dapat sampai ke konsumen dengan tepat waktu, jumlah yang sesuai, dan biaya yang efisien. Menurut Bowersox dalam (Hasibuan et al., 2021) distribusi yang dikelola secara strategis tidak hanya bertujuan memindahkan barang dari produsen ke konsumen, tetapi juga menjadi faktor utama dalam menciptakan nilai tambah dan keunggulan kompetitif perusahaan. Distribusi yang tidak optimal dapat menimbulkan biaya logistik yang tinggi, waktu pengiriman yang lebih lama, serta risiko kehilangan pasar akibat layanan yang kurang andal. Salah satu tantangan dalam sistem distribusi industri adalah bagaimana mengelola berbagai elemen yang saling berkaitan, seperti jarak tempuh, kapasitas alat angkut, waktu pengiriman, serta permintaan yang fluktuatif, agar tujuan efisiensi biaya dan efektivitas layanan dapat tercapai secara bersamaan. Studi Syahraul et al. (2024) menunjukkan bahwa jarak memiliki kontribusi signifikan terhadap total biaya logistik, sementara Retno Andani (2022) menekankan pentingnya memperhatikan kapasitas angkut sebagai faktor pembatas dalam merancang rencana distribusi. Kegagalan dalam mengintegrasikan faktor-faktor ini dapat menyebabkan utilisasi sarana transportasi yang rendah atau sebaliknya memaksa perusahaan melakukan pengiriman lebih sering dengan muatan tidak penuh, yang pada akhirnya meningkatkan biaya operasional secara keseluruhan. Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) Sei Mangkei di Kabupaten Simalungun, Sumatera Utara, merupakan salah

satu kawasan industri strategis nasional yang difokuskan pada pengolahan kelapa sawit dan produk turunannya. Kawasan ini dilengkapi dengan dry port yang terhubung langsung ke Pelabuhan Belawan dan Pelabuhan Kuala Tanjung melalui jalur kereta api barang. Keberadaan dry port ini diharapkan dapat memperlancar proses ekspor dan distribusi domestik dengan mempersingkat rantai logistik, menurunkan waktu tunggu (dwell time) di pelabuhan laut, serta mengurangi biaya handling yang biasanya lebih mahal jika dilakukan langsung di pelabuhan. Namun dalam praktiknya, distribusi kontainer dari KEK Sei Mangkei ke dua pelabuhan utama ini masih menghadapi berbagai persoalan teknis dan ekonomis. Berdasarkan data tahun 2024, tenant di KEK Sei Mangkei membutuhkan distribusi sekitar 8.375 unit kontainer 20 feet dan 2.133 unit kontainer 40 feet dalam setahun. Di sisi lain, kereta api yang digunakan memiliki keterbatasan kapasitas, yaitu hanya mampu membawa 36 unit kontainer 20 feet atau 18 unit kontainer 40 feet per rangkaian perjalanan, sehingga distribusi tidak dapat semata-mata dialokasikan ke satu pelabuhan saja tanpa memperhatikan batasan teknis tersebut. Tanpa adanya perencanaan distribusi yang berbasis perhitungan ilmiah, perusahaan tenant maupun pengelola kawasan berpotensi menghadapi masalah seperti penumpukan kontainer di dry port, waktu tunggu kereta yang panjang, serta struktur biaya logistik yang tidak optimal. Dalam pasar global yang sangat sensitif terhadap harga dan lead time, kondisi ini dapat berdampak pada menurunnya daya saing produk dari KEK Sei Mangkei. Oleh karena itu, diperlukan sebuah pendekatan optimasi matematis yang dapat membantu memutuskan jumlah kontainer yang sebaiknya dialokasikan ke masing-masing pelabuhan dengan tujuan meminimalkan total biaya distribusi logistik, sembari tetap memenuhi permintaan tenant dan memperhatikan

keterbatasan kapasitas angkut. Metode Integer Linear Programming (ILP) menjadi salah satu solusi yang tepat untuk memodelkan permasalahan ini, karena ILP mampu memformulasikan fungsi objektif biaya minimum dengan batasan berupa kapasitas transportasi, permintaan pengiriman, serta memastikan variabel keputusannya berupa bilangan bulat (jumlah kontainer). Selain itu, metode ini juga fleksibel untuk diadaptasi ke dalam berbagai skenario bisnis, seperti perubahan tarif atau fluktuasi permintaan di masa depan.

Dalam penelitian ini, model ILP dibangun dan diselesaikan menggunakan perangkat lunak QM for Windows, yang dikenal luas di dunia industri maupun akademik sebagai tools andal dalam menyelesaikan masalah linear dan integer programming. Model akan mensimulasikan berbagai skenario distribusi kontainer dari KEK Sei Mangkei ke Pelabuhan Belawan dan Kuala Tanjung, dengan output berupa konfigurasi alokasi kontainer yang menghasilkan biaya logistik total paling rendah. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi praktis bagi perusahaan tenant, pengelola KEK Sei Mangkei, maupun operator transportasi dalam merumuskan kebijakan distribusi yang lebih efisien dan adaptif. Selain itu, penelitian ini juga dapat menjadi referensi ilmiah bagi studi lanjutan yang ingin mengembangkan optimasi logistik dengan mempertimbangkan variabel tambahan seperti waktu pengiriman, tingkat layanan (service level), hingga aspek keberlanjutan lingkungan (green logistics).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, penulis mengidentifikasi permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana memformulasikan model matematis yang tepat untuk mengoptimalkan biaya pengiriman Kontainer.
2. Seberapa besar pengurangan biaya yang dapat dicapai melalui model optimasi dibandingkan dengan pola pengirisan yang tidak teroptimasi.
3. Faktor apa saja yang mempengaruhi efisiensi distribusi logistik di dry port.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini hanya terfokus pada pemecahan masalah yang telah dirumuskan, yaitu:

1. Penelitian ini dilakukan di Dry Port Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) Sei Mangkei beralamat di Jl. Kelapa Sawit I No.1, Sei Mangkei, Kecamatan Bosar Maligas, Kabupaten Simalungun, Sumatera Utara, Indonesia.
2. Dalam penelitian ini Metode yang akan digunakan adalah *Integer Linear Programming*.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis kondisi eksisting dari rute transportasi logistik di Dry Port Sei Mangkei.
2. Mengimplementasikan metode optimasi menggunakan perangkat lunak QM for Windows untuk memperoleh solusi biaya minimum dalam distribusi.
3. Mengkaji pengaruh skenario logistik, seperti perubahan tarif dan keterbatasan kapasitas kereta api terhadap hasil distribusi optimal.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Bagi Peneliti, sebagai bahan kajian yang dapat menambah wawasan bagi peneliti.
2. Bagi Perusahaan, sebagai salah satu informasi dan kontribusi bagi perusahaan agar dapat membuat
3. perencanaan rute yang lebih optimal dan mengurangi biaya operasional.
4. Peneliti Selanjutnya, sebagai salah satu sumber untuk peneliti yang berkeinginan untuk meneliti mengenai Optimasi Rute Transportasi Logistik.

1.6 Sistematika Penulisan

Pada penulisan tugas akhir ini, sistematika penulisan disusun sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini berisi tentang pendahuluan berisi latar belakang kenapa peneliti ini diangkat, selain itu juga berisi permasalahan yang akan diangkat, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulis.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisi tentang rangkuman hasil penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya yang ada hubungannya dengan penelitian yang dilakukan. Serta berisi konsep dasar yang diperlukan untuk memecahkan masalah penelitian, dasar teori yang mendukung kajian yang dilakukan dalam penelitian ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini berisi tentang materi, alat, tata cara penelitian dan data apa saja yang akan digunakan dalam mengkaji dan menganalisis sesuai dengan bagan alur yang telah dibuat.

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisi tentang uraian data-data apa saja yang dihasilkan selama penelitian yang selanjutnya diolah menggunakan metode yang 5 telah ditentukan dan hasil penelitian yang telah dilakukan pada saat pengolahan data untuk selanjutnya dapat menghasilkan suatu kesimpulan dan saran.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan yang diperoleh dari pembahasan hasil penelitian. Selain itu juga terdapat saran atau masukan-masukan yang perlu diberikan, baik terhadap peneliti sendiri maupun peneliti selanjutnya yang dimungkinkan penelitian ini dapat dilanjutkan.

DAFTAR PUSTAKA

Daftar pustaka berisikan tentang sumber-sumber yang digunakan dalam penelitian ini, baik itu berupa jurnal, buku, kutipan-kutipan dari internet.

LAMPIRAN

Lampiran berisikan kelengkapan alat dan hal lain yang perlu dilampirkan atau ditunjukkan untuk memperjelas uraian dalam penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Faktor Yang Mempengaruhi Distribusi

Distribusi merupakan proses penyaluran barang atau jasa dari produsen ke konsumen akhir. Efektivitas distribusi sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor yang berkaitan dengan kondisi internal perusahaan maupun lingkungan eksternal. Faktor-faktor ini menentukan bagaimana barang dapat sampai ke konsumen dengan tepat waktu, biaya efisien, dan kualitas tetap terjaga.

2.1.1 Jarak

Jarak merupakan salah satu variabel penting dalam sistem distribusi logistik. Secara umum, jarak dapat diartikan sebagai ukuran spasial antara dua titik lokasi, yaitu dari lokasi asal (seperti gudang, depot, atau kawasan industri) ke lokasi tujuan (seperti pelabuhan, pelanggan, atau titik distribusi). Dalam konteks logistik dan transportasi, jarak memiliki pengaruh langsung terhadap waktu tempuh, konsumsi bahan bakar, pemilihan moda transportasi, dan besarnya biaya distribusi yang harus dikeluarkan oleh perusahaan. Menurut (Syahraul et al., 2024) jarak merupakan salah satu faktor penentu utama dalam sistem distribusi barang antar wilayah karena berhubungan erat dengan biaya logistik, kapasitas angkut, serta infrastruktur yang digunakan. Jarak yang semakin jauh cenderung meningkatkan biaya pengiriman dan durasi perjalanan, sehingga perusahaan perlu merancang sistem distribusi yang efisien agar mampu meminimalkan total biaya. Lebih lanjut, (Syahraul et al., 2024) menjelaskan bahwa jarak tempuh dalam rute distribusi berfungsi sebagai parameter utama dalam pemodelan optimasi rute, karena memengaruhi tingkat efisiensi operasional, waktu pelayanan, dan risiko

keterlambatan pengiriman. Oleh karena itu, penentuan jalur atau alokasi distribusi harus mempertimbangkan jarak sebagai salah satu aspek kritikal dalam perencanaan logistik. Dengan demikian, jarak bukan hanya sekadar nilai geografis, tetapi juga menjadi dasar dalam perhitungan efisiensi logistik, terutama ketika perusahaan menerapkan model matematis seperti *Linear Programming* untuk merancang strategi distribusi yang optimal.

2.1.2 Kapasitas Alat Angkut

Kapasitas alat angkut merupakan salah satu aspek penting dalam sistem transportasi dan logistik. Kapasitas ini mengacu pada kemampuan maksimum suatu moda transportasi dalam membawa barang atau muatan dalam satu kali siklus perjalanan. Kapasitas alat angkut dapat dinyatakan dalam beberapa satuan, antara lain berat (seperti kilogram atau ton), volume (seperti meter kubik), atau jumlah unit muatan (misalnya jumlah kontainer, palet, atau karung). Dalam konteks transportasi logistik, kapasitas alat angkut menjadi variabel yang sangat menentukan efisiensi biaya dan waktu distribusi. (Retno Andani, 2022) kapasitas tidak hanya sekadar mengukur kemampuan daya tampung kendaraan, tetapi juga mencakup aspek teknis dan operasional, seperti kekuatan mesin, dimensi ruang muat, serta batasan peraturan terkait beban maksimum yang diizinkan (gross vehicle weight). Oleh karena itu, kapasitas alat angkut harus dipertimbangkan secara cermat dalam perencanaan distribusi logistik, terutama dalam konteks pengiriman barang skala besar seperti kontainer industri. Penggunaan alat angkut yang sesuai dengan kebutuhan kapasitas dapat memberikan pengaruh signifikan terhadap efektivitas dan efisiensi proses logistik. Jika kapasitas kendaraan terlalu kecil, maka frekuensi pengiriman akan meningkat, yang berdampak langsung pada

meningkatnya biaya bahan bakar, biaya tenaga kerja (gaji sopir dan kru), serta pemakaian jalan dan kendaraan yang lebih intensif. Sebaliknya, jika kapasitas kendaraan terlalu besar dan tidak terisi optimal (underutilized), maka terjadi pemborosan ruang muat dan biaya pengoperasian yang tidak proporsional dengan muatan yang diangkut. Menurut (Kristanto, 2015) dalam studi distribusi menggunakan metode Vehicle Routing Problem (VRP), kapasitas alat angkut merupakan kendala utama dalam menentukan rute pengiriman yang optimal. Dalam perhitungan tersebut, kapasitas kendaraan menjadi batas atas yang tidak boleh dilampaui dalam merancang rute pengiriman. Hal ini menunjukkan bahwa kapasitas tidak hanya berfungsi sebagai data operasional, tetapi juga menjadi variabel pembatas dalam model optimasi distribusi. Dalam praktik pengiriman kontainer di kawasan industri seperti Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) Sei Mangkei, kapasitas alat angkut sering dihitung berdasarkan standar ukuran kontainer. Sebagai contoh, kontainer 20 feet dianggap setara dengan 1 TEU (Twenty-foot Equivalent Unit), sedangkan kontainer 40 feet dihitung sebagai 2 TEU. Artinya, dalam perencanaan pengangkutan, satu truk trailer yang memiliki kapasitas 2 TEU hanya dapat membawa satu kontainer 40 feet atau dua kontainer 20 feet dalam satu kali perjalanan. Kapasitas alat angkut juga sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor lain seperti kondisi jalan, jenis muatan (padat, cair, curah), serta sistem bongkar muat di lokasi asal dan tujuan. Selain itu, ketentuan regulasi dari pemerintah seperti batas maksimal tonase yang diperbolehkan untuk kendaraan barang di jalan raya turut menentukan seberapa besar kapasitas yang bisa dimanfaatkan dalam kenyataannya di lapangan.

2.1.3 Permintaan

Permintaan (*demand*) dalam logistik merupakan salah satu komponen paling krusial dalam manajemen rantai pasok (*supply chain management*), karena menjadi dasar utama dalam perencanaan pengadaan, penyimpanan, distribusi, hingga pelayanan pelanggan. Tidak seperti pengertian permintaan secara umum yang hanya menyoroti keinginan dan kemampuan konsumen untuk membeli, dalam logistik permintaan lebih ditekankan pada kebutuhan akan pergerakan fisik barang, baik dari produsen ke konsumen, maupun antar simpul distribusi. Menurut (Alex, 2022), permintaan dalam sistem logistik didefinisikan sebagai jumlah kebutuhan pengiriman barang atau jasa logistik dalam suatu waktu dan wilayah tertentu, baik dalam bentuk pengangkutan, penyimpanan, maupun layanan lainnya yang mendukung aktivitas distribusi. Permintaan ini bisa bersifat harian, mingguan, musiman, atau bersifat dinamis tergantung jenis industri dan karakteristik pasar. Sementara itu, (Kurniawan et al., 2019) menyatakan bahwa permintaan logistik adalah jumlah unit barang atau volume muatan yang harus disalurkan dari titik asal ke titik tujuan dalam suatu sistem distribusi, yang berperan langsung dalam menentukan kapasitas kendaraan, perencanaan rute, jumlah pengiriman, dan beban kerja gudang. Dalam kegiatan logistik, permintaan berkaitan erat dengan lead time, frekuensi pengiriman, dan tingkat pelayanan. Permintaan dalam logistik tidak hanya bersifat kuantitatif (berapa jumlah yang dibutuhkan), tetapi juga kualitatif, seperti jenis barang (misalnya barang umum, bahan berbahaya, atau produk rantai dingin), jenis pengemasan, dan kebutuhan perlakuan khusus selama pengangkutan. Di sektor industri seperti manufaktur, *e-commerce*, atau kawasan industri, permintaan logistik biasanya terhubung langsung dengan proses produksi, inventori, dan layanan pelanggan akhir.

Untuk itu, analisis permintaan menjadi titik awal dalam perencanaan logistik, terutama dalam hal:

1. Menentukan jumlah dan jenis armada yang diperlukan,
2. Menyusun rute distribusi yang efisien,
3. Merancang jadwal pengiriman yang optimal,
4. Memperkirakan kapasitas gudang atau terminal muat/bongkar,
5. Menetapkan kebijakan persediaan, dan
6. Menghitung biaya logistik secara keseluruhan.

Dalam konteks ini, permintaan sering dimodelkan dalam bentuk fungsi matematika atau data historis, kemudian dianalisis dengan pendekatan seperti forecasting (peramalan permintaan), model optimasi, atau Vehicle Routing Problem (VRP) untuk mengoptimalkan alokasi rute pengiriman dan sumber daya logistik lainnya. Kesalahan dalam mengestimasi permintaan logistik dapat menyebabkan *overcapacity* (kelebihan kapasitas) atau *underutilization* (pemanfaatan sumber daya yang rendah), yang keduanya berdampak pada pemborosan biaya, keterlambatan distribusi, dan rendahnya kepuasan pelanggan. Oleh karena itu, pemahaman terhadap pola permintaan logistik secara akurat dan dinamis sangat dibutuhkan agar perusahaan dapat merespon perubahan pasar dan mengatur distribusi barang secara efektif. Dalam studi kasus seperti pengiriman kontainer dari KEK Sei Mangkei ke Pelabuhan Belawan atau Kuala Tanjung, permintaan logistik mencerminkan berapa banyak kontainer yang harus dikirim dalam kurun waktu tertentu, serta bagaimana karakteristik permintaan tersebut berubah berdasarkan volume produksi, siklus industri, musim ekspor, atau kontrak

pengiriman. Seiring dengan perkembangan teknologi dalam Industri 4.0, pengelolaan permintaan logistik juga mulai berbasis data real-time melalui sistem ERP, IoT, dan big data analytics, sehingga proses distribusi bisa lebih fleksibel, adaptif, dan efisien dalam menghadapi volatilitas permintaan.

2.1.4 Manajemen Waktu

Dalam kegiatan logistik, waktu merupakan elemen krusial yang mempengaruhi efisiensi dan efektivitas sistem distribusi barang. Salah satu indikator waktu yang sering digunakan dalam manajemen rantai pasok adalah *lead time*. Lead time didefinisikan sebagai selang waktu yang dibutuhkan sejak terjadinya pemesanan hingga barang atau jasa diterima oleh pelanggan (Mohammed & Mandal, 2024). Lead time mencerminkan kecepatan respons sistem logistik terhadap permintaan dan menjadi indikator utama dalam mengukur performa pelayanan logistik. Lead time terbagi menjadi beberapa jenis, yaitu order lead time, production lead time, material lead time, dan delivery lead time. Komponen utama dalam lead time meliputi waktu pemrosesan pesanan, waktu tunggu, waktu pengiriman, serta waktu penyimpanan. Pengelolaan yang baik terhadap masing-masing komponen tersebut sangat penting dalam mengoptimalkan keseluruhan proses distribusi. Lebih lanjut, dalam penelitian yang dilakukan oleh (Debnath & Sarkar, 2024), variabilitas dalam lead time dapat memengaruhi akurasi peramalan permintaan, efisiensi operasional, serta keputusan inventori. Lead time yang tidak pasti akan menyebabkan perusahaan menyimpan stok pengaman (safety stock) yang lebih besar, sehingga meningkatkan biaya penyimpanan. Strategi untuk meminimalkan lead time meliputi penerapan sistem kolaborasi informasi antar pelaku rantai pasok, pemanfaatan teknologi informasi, perencanaan produksi yang

terintegrasi, serta optimalisasi rute distribusi (Yani & Dewi, 2021) Penerapan strategi ini bertujuan untuk meningkatkan kecepatan pengiriman, mengurangi biaya operasional, dan meningkatkan kepuasan pelanggan. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa waktu atau lead time memiliki peran strategis dalam operasional logistik. Pengelolaan waktu yang baik akan mendorong terciptanya efisiensi dalam distribusi, meningkatkan daya saing perusahaan, serta mendukung keberhasilan sistem logistik secara menyeluruh.

2.2 Manajemen Logistik

Menurut Bowersox dalam (Hasibuan et al., 2021) Manajemen logistik adalah proses manajemen yang strategis yang digunakan untuk memindahkan dan menyimpan produk, suku cadang dan produk jadi dari pemasok, diantara fasilitas-fasilitas perusahaan, dan kepada para pelanggan. Tujuan logistik adalah mengirimkan produk jadi dan berbagai material pada waktu yang dibutuhkan, dalam jumlah yang tepat, dalam kondisi yang dapat dipakai dan ke lokasi dimana dia dibutuhkan, dan dengan total biaya terendah. Logistik juga dapat didefinisikan sebagai proses perencanaan, pelaksanaan, dan pengendalian secara efisien, aliran biaya yang efektif dan penyimpanan barang mentah, persediaan barang dalam proses, produk jadi dan informasi terkait dari titik asal ke titik konsumsi untuk tujuan memenuhi kebutuhan konsumen. Ada 5 komponen yang digabungkan untuk membentuk sistem logistik. yaitu: struktur lokasi fasilitas, transportasi, persediaan (inventory), komunikasi, dan penanganan (handling) dan penyimpanan (storage) (Hasibuan et al., 2021). Dengan kata lain dapat pula dikatakan bahwa kegiatan logistik akan berjalan efektif dan efisien apabila memenuhi syarat 4 tepat yaitu : tepat mutu, tepat ongkos, tepat jumlah, maupun tepat waktu. Tujuan logistik adalah

menyediakan produk dalam jumlah yang tepat, kualitas yang tepat, pada waktu yang tepat dengan biaya yang rendah.

2.3 Komponen Manajemen Logistik

Bowersox dalam (Hasibuan et al., 2021) berpendapat bahwa aktivitas logistik dapat berjalan dengan baik bila didukung dengan berbagai komponen pada sistem logistik yang baik pula, yaitu:

1. Struktur Lokasi Fasilitas, yaitu keberadaan jaringan fasilitas dalam suatu perusahaan merupakan rangkaian lokasi dimana dan dengan apa material atau produk akan dikirim atau diangkut. Untuk mencapai tujuan yang direncanakan, berbagai fasilitas tersebut meliputi pabrik, gudang, serta toko pengecer. Apabila menggunakan layanan khusus dari perusahaan kurir atau gudang, maka fasilitas ini pasti akan menjadi bagian yang sangat penting dari jaringan kerja.
2. Transportasi, yaitu diperlukan pengangkutan untuk kecepatan pelayanan transport. Kecepatan ini erat kaitannya dengan transport yang dapat memberikan pelayanan yang cepat dengan harga yang tinggi, selain itu pelayanan yang lebih cepat dapat mempersingkat waktu produksi barang dengan lebih baik.
3. Persediaan, yaitu pengadaan material yang dilakukan dengan sistem logistik untuk alasan yang berbeda dengan pengadaan suatu produk matang atau produk jadi.
4. Komunikasi, merupakan kegiatan yang tidak dapat dipisahkan dari sistem logistik. Kecepatan pemrosesan informasi juga erat kaitannya dengan integrasi dari fasilitas, transportasi, serta persediaan perusahaan. Desain

sistem logistik yang diterapkan oleh perusahaan sensitif terhadap hambatan arus informasi jika dirancang lebih efisien.

5. Penanganan dan Penyimpanan, yaitu penanganan dan penyimpanan termasuk pergerakan, pengemasan dan pengepakan. Jika terintegrasi secara lebih efektif, maka penanganan ini akan dapat mengurangi masalah dengan kecepatan dan kemudahan dengan adanya sistem tersebut.

2.4 Sistem Transportasi

Sistem logistik memandang kegiatan transportasi dengan empat faktor yang memegang peran yang cukup penting (Hasibuan et al., 2021) yaitu:

1. Biaya Biaya transportasi merupakan biaya aktual yang harus dikeluarkan untuk mengimbangi jasa pengangkutan barang yang dikeluarkan.
2. Kecepatan Kecepatan adalah waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan suatu tugas pengangkutan dari tempat asal barang sampai ke tempat tujuan yang diinginkan. Faktor kecepatan harus selalu dikaitkan dengan kondisi barang yang dipindahkan agar tidak menimbulkan kerusakan, walaupun dapat lebih cepat dari waktu ke waktu dibandingkan penggunaan angkutan lainnya.
3. Pelayanan Faktor pelayanan merupakan aktivitas layanan yang diberikan terhadap barang perusahaan selama dalam kegiatan perpindahan barang. Pelayanan barang berasal dari para karyawan yang membawa, mengendalikan alat transportasi para petugas yang berhubungan dengan alat transportasi. Pelayanan terbaik diharapkan dapat dicapai melalui biaya transportasi yang tidak menambah biaya normal.
4. Konsistensi Konsistensi pelayanan sangat penting dalam bidang transportasi karena menunjukkan kinerja waktu yang teratur.

Dengan menghubungkan fasilitas-fasilitas dengan pasar, transportasi memberikan keuntungan geografis pada sistem logistik. Di banyak perusahaan, biaya transportasi lebih tinggi daripada biaya barang lainnya. Biaya transportasi industri yang menghasilkan produk bernilai tinggi adalah rendah persentasenya terhadap penjualan. Sebaliknya, biaya transportasi batu bara, bijih besi, bahan kimia dasar dan pupuk relatif tinggi. Permintaan akan jasa industri sangat bervariasi dari satu industri ke industri lainnya. Sistem logistik memiliki berbagai metode transportasi yang dapat dipilih untuk mengangkut produk dan bahan baku. Selain itu, perusahaan dapat memutuskan untuk mengatur transportasi sendiri, ataupun mengadakan kesepakatan dengan spesialis transport. Sistem yang digunakan untuk mengangkut beberapa barang dengan memakai alat angkut tertentu dinamakan moda transportasi (mode of transportation). Terdapat lima cara utama transportasi yang biasa disebut dengan moda transportasi. Lima cara utama tersebut adalah kereta api, jalan raya, jalur air, saluran pipa, dan penerbangan. Masing-masing moda transportasi tersebut memiliki kelebihan serta kekurangan dalam aktivitas logistik perusahaan.

2.5 Konsep Dasar Logistik dan Transportasi

Logistik adalah proses perencanaan, implementasi, dan pengendalian aliran barang, jasa, serta informasi dari titik asal ke titik konsumsi secara efisien (Christopher, 2016). Dalam konteks industri, transportasi logistik memiliki peran penting dalam menjaga kelancaran distribusi barang agar tepat waktu dan sesuai dengan permintaan pasar (Rushton, 2017). Transportasi logistik mencakup berbagai aspek, seperti pemilihan moda transportasi, optimasi rute, dan manajemen biaya operasional (Bowersox, 2013). Salah satu tantangan utama dalam transportasi

logistik adalah ketidakefisienan rute yang menyebabkan peningkatan biaya dan waktu pengiriman.

2.6 Dry Port dan Perannya dalam Distribusi Logistik

Dry port adalah terminal darat yang berfungsi sebagai pusat distribusi dan konsolidasi barang sebelum dikirim ke pelabuhan laut atau tujuan akhir (Rodrigue & Notteboom, 2009). Dry Port Sei Mangkei merupakan bagian dari kawasan industri yang dikembangkan untuk mendukung distribusi produk industri ke pasar domestik dan internasional.

2.7 Metode Integer Linear Programming

Integer Linear Programming (ILP) atau bentuk lebih umum yang dikenal sebagai Mixed-Integer Linear Programming (MILP), merupakan salah satu metode optimasi matematis yang paling banyak digunakan untuk memecahkan masalah keputusan diskrit dalam bidang manajemen operasi dan logistik. Pada dasarnya, ILP merupakan pengembangan dari Linear Programming (LP) yang memiliki fungsi objektif linear dan kendala linear, namun dengan tambahan syarat bahwa variabel keputusannya harus berupa bilangan bulat (integer). Hal ini membuat ILP sangat relevan digunakan dalam persoalan nyata yang membutuhkan hasil keputusan dalam satuan utuh, seperti jumlah kendaraan, jumlah kontainer, atau jumlah batch produksi. Dalam konteks distribusi logistik pada kondisi khusus seperti tanggap darurat bencana (Kasim et al., 2022) memanfaatkan model ILP untuk menentukan jumlah kendaraan yang perlu dialokasikan ke masing-masing jalur distribusi guna memastikan pengiriman bantuan dapat dilakukan secara tepat waktu dan dengan biaya serendah mungkin. Penelitian mereka menegaskan bahwa ILP efektif dalam mengoptimasi alokasi sumber daya terbatas pada situasi yang

memiliki tingkat urgensi tinggi dan permintaan yang tidak merata. (Optimization et al., 2024) juga membuktikan efektivitas MILP dalam kasus distribusi reguler di industri ekspedisi. Dengan mengembangkan model MILP yang mempertimbangkan kendala kapasitas kendaraan serta variasi biaya antar jalur distribusi, mereka berhasil menunjukkan bahwa biaya distribusi perusahaan dapat ditekan hingga sekitar 16% dibandingkan metode distribusi eksisting. Temuan ini menjadi bukti kuat bahwa penerapan MILP secara praktis dapat memberikan dampak finansial yang signifikan bagi perusahaan logistik. Sementara itu, pendekatan MILP juga semakin berkembang ke arah permasalahan stokastik (stochastic optimization) yang mempertimbangkan ketidakpastian permintaan. (Sadeghi et al., 2023) mengusulkan formulasi MILP untuk menyelesaikan masalah p-median dinamis dengan permintaan acak, yang memungkinkan jaringan distribusi menyesuaikan alokasi fasilitasnya secara optimal ketika pola permintaan berubah-ubah. Hal ini sangat relevan pada sistem distribusi modern yang harus adaptif terhadap dinamika pasar atau kondisi *force majeure*. Model ILP memungkinkan pemecahan masalah penentuan jumlah unit (kontainer, kendaraan, order) yang harus dialokasikan pada rute atau fasilitas tertentu sehingga biaya total minimum, sambil memastikan seluruh batasan kapasitas dan permintaan terpenuhi. Untuk menyelesaikan model ini, digunakan algoritma seperti Branch and Bound, Branch and Cut, atau cutting planes yang secara sistematis mencari solusi feasible terbaik di ruang solusi diskrit. Pada perkembangan terkini, metode hybrid dengan pendekatan machine learning juga mulai dimanfaatkan untuk mempercepat pencarian solusi optimal pada masalah berskala besar (Xu et al., 2024). Dalam konteks penelitian ini, pendekatan ILP diaplikasikan untuk menentukan alokasi distribusi kontainer dari KEK Sei

Mangkei menuju dua pelabuhan utama, yaitu Pelabuhan Belawan dan Kuala Tanjung, dengan mempertimbangkan variasi tarif logistik, batasan kapasitas angkut kereta api, serta total permintaan pengiriman kontainer dari para tenant. Dengan demikian, model ILP diharapkan dapat memberikan konfigurasi distribusi yang tidak hanya memenuhi permintaan dan batasan operasional, tetapi juga mampu meminimalkan total biaya logistik sehingga meningkatkan daya saing kawasan industri dalam jangka panjang.

2.8 Formulasi Model Matematis

Model optimasi disusun untuk meminimalkan total biaya distribusi kontainer dengan mempertimbangkan batasan kapasitas angkut kereta api dan permintaan kontainer dari masing-masing tenant. Model ini diklasifikasikan sebagai masalah Integer Linear Programming (ILP).

Parameter:

- a) $d_{i,t}$: permintaan kontainer tipe t milik tenant I (unit/tahun).
- b) $c_{t,p}$: biaya pengiriman isi per unit tipe t kepelabuhan p (Rp/unit).

$$C_{20,B} = 1,557,500, C_{40,B} = 2,338,500, C_{20,K} = 1,307,500, \quad ,$$

$$C_{40,K} = 2,028,500$$

- c) $teu_{20} = 1, teu_{40} = 2$

- d) $Q = 36$: kapasitas TEU per sekali perjalanan kereta ($36 \times 20ft = 18 \times 40ft$).

Himpunan:

- a) I : tenant (UOI, INL, Alliance).
- b) T : tipe kontainer (20, 40) feet.
- c) P : pelabuhan Belawan (B), Kuala Tanjung(K).

Variabel Keputusan:

1. X_1 : Biaya total kontainer 20ft ke pelabuhan Belawan.
2. X_2 : Biaya total kontainer 40ft ke pelabuhan Belawan.
3. X_3 : Biaya total kontainer 20ft ke pelabuhan Kuala Tanjung.
4. X_4 : Biaya total kontainer 40ft ke pelabuhan Kuala Tanjung.

Fungsi Objektif:

Fungsi Objektif

Minimalkan total biaya pengiriman kontainer isi:

$$\min Z = \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} \sum_{p \in P} c_{t,p} x_{i,t,p}.$$

Kendala:

1. Pemenuhan permintaan per tenant & tipe

$$\sum_{p \in P} x_{i,t,p} = d_{i,t} \quad \forall i \in I, \forall t \in T.$$

2. Kapasitas kereta per pelabuhan (berbasis TEU & jumlah trip)

$$\sum_{i \in I} \sum_{t \in T} \text{teu}_t x_{i,t,p} \leq Q y_p \quad \forall p \in P,$$

Dengan $Q = 36$ TEU per perjalanan.

3. (Opsional) Batas jumlah perjalanan

$$0 \leq y_p \leq Y_p^{max} \forall p \in P$$

4. Integritas & non negativitas

$$x_{i,t,p} \in \mathbb{Z}_{\geq 0}, \quad y_p \in \mathbb{Z}_{\geq 0}.$$

Model ILP (per tenant, 2 pelabuhan, 2 tipe kontainer, dengan keputusan jumlah perjalanan kereta per pelabuhan)

Variable Keputusan:

- a) $X_{i,t,p} \in \mathbb{Z}_{\geq 0}$: jumlah kontainer isi tipe t milik tenant I yang dikirim kepelabuhan p (unit)
- b) $y_p \in \mathbb{Z}_{\geq 0}$: jumlah perjalanan kereta ke pelabuhan p (trip)

2.9 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai optimasi distribusi logistik, biaya transportasi, serta penerapan metode pemrograman linear integer telah banyak dilakukan dalam beberapa tahun terakhir. Berbagai studi terdahulu memfokuskan diri pada aspek-aspek penting seperti jarak distribusi, kapasitas alat angkut, permintaan logistik, waktu pengiriman (lead time), serta penerapan model optimasi matematis seperti Integer Linear Programming (ILP) dan Mixed Integer Linear Programming (MILP). Penelitian-penelitian ini tidak hanya memberikan pemahaman mendalam mengenai faktor-faktor yang memengaruhi biaya dan pola distribusi logistik, tetapi juga menawarkan pendekatan solusi yang dapat diaplikasikan dalam berbagai konteks industri. Oleh karena itu, tinjauan terhadap penelitian terdahulu menjadi

penting sebagai landasan konseptual dalam menyusun model optimasi distribusi kontainer pada penelitian ini. Berikut adalah beberapa penelitian relevan dalam kurun waktu lima tahun terakhir yang menjadi acuan dan landasan ilmiah penelitian ini:

No	Peneliti & Tahun	Judul Penelitian	Jenis Publikasi	Metode / Model	Temuan Utama
1.	(Kasim et al., 2022)	<i>Perencanaan Distribusi Logistik Daerah Bencana dengan ILP</i>	Prosiding Seminar Nasional	Integer Linear Programming	ILP optimal untuk alokasi kendaraan & biaya
2.	(Sadeghi et al., 2023)	<i>MILP for Dynamic Modified Stochastic p-Median Problem</i>	arXiv preprint	<i>MILP stochastic</i>	MILP adaptif pada permintaan acak dinamis
3.	Debnath & Sarkar (2024)	<i>Lead Time Optimization on Stochastic Inventory Model</i>	<i>Computers & Ind. Eng.</i>	<i>Stochastic programming</i>	Lead time berpengaruh signifikan ke SCM
4.	(Nurdin et al., 2023))	Reduksi <i>Lead Time</i> dengan Kolaborasi Informasi Rantai Pasok	Jurnal Industrial Research	Model kolaborasi supply chain	Efisiensi waktu & biaya distribusi meningkat

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

3.1.1 Lokasi Penelitian

Dry Port Kawasan Ekonomi Khusus Sei Mangkei Jalan Kelapa Sawit I Nomor 1, Sei Mangkei, Bosar Maligas, Kabupaten Simalungun, Sumatera Utara, Indonesia. Peta dapat dilihat pada lampiran 1,2,3,7,8.

3.1.2 Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan 20 Juni 2025 – 20 Juli 2025. Surat Selesai penelitian dapat dilihat pada lampiran 9 dan 10.

3.2 Sumber Data dan Jenis Penelitian

3.2.1 Sumber Data

1. Data Primer

Data primer adalah data yang diperoleh dari pengamatan secara langsung di lapangan dan juga data yang diperoleh dengan cara melakukan wawancara terhadap pihak-pihak yang berwenang seperti informasi mengenai produk, jarak setiap pelanggan dengan depot dan jarak antar pelanggan, waktu set up mobil angkut sebelum berangkat, kecepatan pengisian dan pembongkaran produk ke dan dari mobil angkut.

2. Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari catatan-catatan perusahaan atau informasi dari laporan-laporan perusahaan yang ada seperti lokasi pelanggan, daya order (demand) masing-masing outlet, jenis mobil angkut yang tersedia, kapasitas mobil angkut, waktu-waktu kerja dan biaya distribusi.

3.2.2 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian observasi. Penelitian observasi adalah penelitian dengan melakukan pengamatan dan pencatatan secara langsung yang bertujuan mengidentifikasi dan memahami semua peristiwa yang terjadi yang menjadi objek dalam penelitian.

3.3 Variable Penelitian

Variabel penelitian adalah segala sesuatu dalam bentuk apapun yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari sehingga diperoleh informasi tentang hal tersebut, kemudian ditarik kesimpulannya (Sugiyono, 2016).

Adapun variabel-variabel yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Variabel Bebas (Independent Variable)

Variabel bebas yaitu variabel yang mempengaruhi terhadap variabel terikat. Adapun variabel-variabel bebas yang terdapat pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Variabel Jumlah Permintaan

Variabel ini menunjukkan jumlah permintaan konsumen yang harus didistribusikan.

b. Variabel Kapasitas Alat Angkut

Variabel ini menunjukkan batas maksimum muatan alat angkut yang dimiliki perusahaan untuk melakukan distribusi produk.

c. Variabel Jarak

Variabel ini menunjukkan berapa jarak yang harus dilalui alat angkut ke setiap tujuan-tujuan pemesanan.

d. Variabel Waktu Distribusi

Variabel ini menunjukkan waktu yang tersedia yang menjadi batasan bagi perusahaan untuk mengantarkan produk ke distributor.

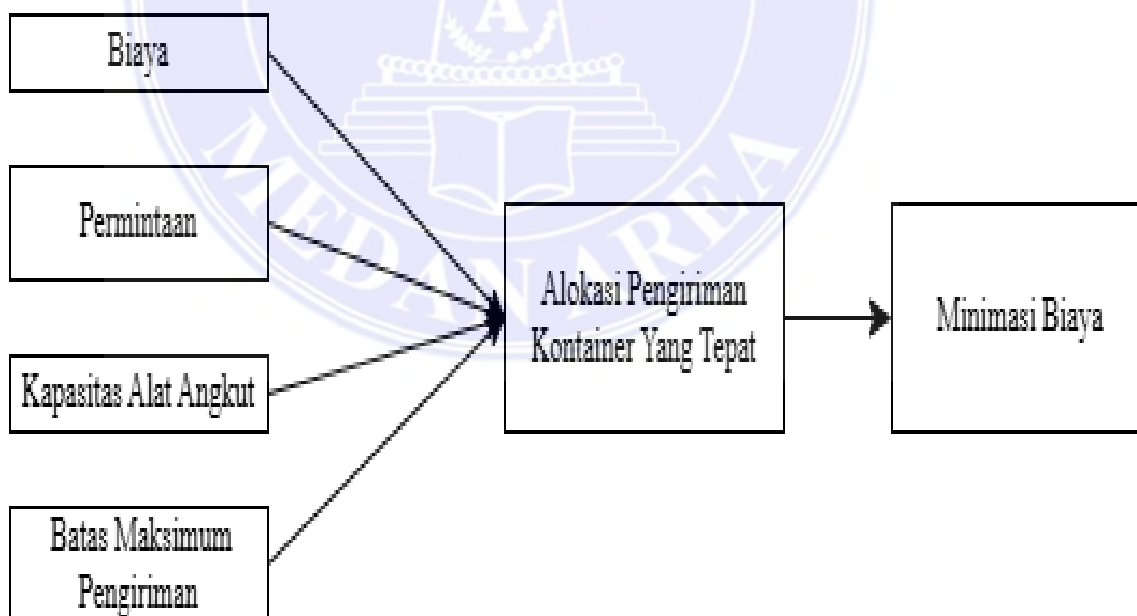
2. Variabel Terikat (Dependent Variable)

Variabel terikat yaitu variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas.

Variabel terikat pada penelitian ini adalah perancangan jalur distribusi.

3.4 Kerangka Berfikir

Definisi kerangka berpikir dapat diartikan sebagai model konseptual tentang bagaimana teori berhubungan dengan berbagai faktor yang telah diidentifikasi sebagai masalah yang penting. Adapun kerangka berpikir dari penelitian ini adalah sebagai berikut: Permintaan, Kapasitas Alat Angkut, Jarak, Waktu Distribusi untuk menghasilkan Jalur distribusi yang optimal.



Gambar 3. 1 Kerangka Berpikir

3.5 Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penulisan laporan dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Wawancara

Metode wawancara dilakukan dengan cara tanya jawab secara langsung pihak terkait untuk menanyakan beberapa pertanyaan yang terkait dengan permasalahan mengenai jalur distribusi yang dialami perusahaan.

2. Observasi

Metode observasi merupakan metode yang digunakan dengan melakukan pengamatan secara langsung di area perusahaan untuk mengetahui proses distribusi perusahaan saat ini.

3. Studi Pustaka

Pengumpulan data dengan cara mempelajari buku literatur, laporan-laporan dan hasil penelitian yang telah dilakukan terdahulu yang berhubungan dengan masalah penelitian.

3.6 Teknik Pengolahan Data

Teknik pengolahan data merupakan tahapan penting dalam penelitian ini, karena menjadi dasar dalam menyusun model optimasi dan memperoleh hasil keputusan yang valid dan terukur. Pengolahan data dilakukan secara sistematis, mulai dari pengumpulan data mentah di lapangan, transformasi data ke dalam bentuk terstandar, hingga penyusunan parameter dalam model matematis. Seluruh proses ini dilakukan untuk menghasilkan suatu model Integer Linear Programming (ILP) yang merepresentasikan permasalahan logistik secara nyata, sehingga solusi

yang dihasilkan memiliki nilai praktis dalam sistem distribusi kontainer dari Dry Port Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) Sei Mangkei ke dua pelabuhan tujuan, yaitu Pelabuhan Belawan dan Pelabuhan Kuala Tanjung.

Berikut adalah tahapan pengolahan data yang dilakukan dalam penelitian ini:

1. Pengumpulan Data Permintaan Kontainer

Langkah pertama dalam pengolahan data adalah mengidentifikasi jumlah permintaan pengiriman kontainer yang berasal dari kawasan industri. Data dikumpulkan dari laporan pengiriman tahunan atau bulanan, yang mencakup jenis kontainer (20 feet dan 40 feet), volume pengiriman, serta waktu permintaan. Karena fokus penelitian adalah pada optimalisasi alokasi, maka data permintaan diolah dan disatukan ke dalam satuan baku, yakni “unit angkut” berdasarkan rasio konversi (misalnya: 1 kontainer 40 feet = 1 unit; 1 kontainer 20 feet = 0,5 unit). Tujuannya adalah menyederhanakan analisis dan menyamakan beban muatan terhadap kapasitas angkut kereta.

2. Pengumpulan dan Transformasi Data Biaya Pengiriman

Tahap berikutnya adalah pengumpulan data biaya logistik pengiriman kontainer ke masing-masing pelabuhan. Biaya yang dihitung mencakup:

1. Biaya transportasi kereta dari Sei Mangkei ke Pelabuhan Belawan dan Kuala Tanjung.
2. Biaya bongkar muat (loading/unloading) di masing-masing pelabuhan.
3. Biaya terminal, handling, dan kemungkinan tambahan biaya tetap (fixed cost).

Data ini diperoleh dari dokumen logistik internal, invoice pengiriman sebelumnya, atau data sekunder dari operator transportasi dan pelabuhan. Seluruh data biaya

dikonversikan ke dalam biaya per unit kontainer, sehingga dapat dimasukkan sebagai koefisien dalam fungsi objektif model ILP.

3. Identifikasi Kapasitas Angkut Kereta Api

Setiap moda transportasi memiliki keterbatasan kapasitas. Oleh karena itu, diperlukan identifikasi kapasitas maksimum per rangkaian kereta api yang digunakan untuk distribusi kontainer. Data ini meliputi:

1. Jumlah maksimum gerbong datar yang tersedia per perjalanan.
2. Kapasitas muat per gerbong (jumlah kontainer 20 ft dan 40 ft).
3. Keterbatasan berdasarkan peraturan operasi, seperti batas panjang rangkaian atau berat maksimum.

Kapasitas ini sangat penting karena akan menjadi batasan (constraint) dalam model optimasi yang dibangun.

4. Penentuan Batas Alokasi per Pelabuhan

Selain memperhitungkan kapasitas kendaraan, perlu juga dianalisis kapasitas penerimaan masing-masing pelabuhan, misalnya terkait:

1. Slot bongkar muat kontainer.
2. Ketersediaan tenaga kerja dan alat berat di pelabuhan.
3. Kebijakan internal perusahaan dalam membatasi jumlah kontainer ke pelabuhan tertentu.

Jika pelabuhan hanya mampu menerima sejumlah maksimum kontainer dalam satu periode, maka nilai tersebut juga harus dimasukkan sebagai batasan dalam model.

5. Penyusunan Parameter dalam Model ILP

Setelah seluruh data dikumpulkan dan diproses, maka dilakukan penyusunan parameter yang digunakan dalam model ILP. Parameter tersebut antara lain:

1. Nilai permintaan kontainer yang harus dialokasikan
2. Kapasitas maksimum angkut kereta per periode.
3. Biaya pengiriman ke masing-masing pelabuhan.
4. Batas maksimum kontainer per pelabuhan (jika ada).
5. Variabel keputusan berupa jumlah kontainer yang dikirim ke tiap pelabuhan.

6. Penyelesaian Model Menggunakan QM for Windows

Model yang telah disusun kemudian diinput ke dalam perangkat lunak QM for Windows, yang mendukung pemrograman linear dan integer. Langkah-langkah dalam pengolahan data melalui QM for Windows antara lain:

1. Menentukan jumlah variabel keputusan (jumlah pelabuhan tujuan),
2. Memasukkan fungsi objektif berupa biaya pengiriman,
3. Memasukkan batasan (constraints) berupa permintaan, kapasitas, dan alokasi,
4. Menjalankan proses komputasi hingga sistem menghasilkan solusi optimal.

Output dari perangkat lunak berupa jumlah kontainer yang sebaiknya dikirim ke masing-masing pelabuhan serta nilai total biaya logistik minimum.

7. Interpretasi dan Analisis Hasil

Langkah terakhir dalam teknik pengolahan data adalah melakukan interpretasi hasil. Peneliti menganalisis apakah alokasi kontainer yang diberikan

oleh sistem benar-benar efisien dan sesuai dengan kondisi operasional. Analisis juga dilakukan untuk melihat perbandingan antara skenario alokasi optimal dan kondisi aktual perusahaan. Hasil ini dapat dijadikan dasar rekomendasi bagi pengambil keputusan dalam meningkatkan efisiensi logistik kawasan industri

3.7 Metode Integer Linear Programming

Metode penyelesaian dalam penelitian ini menggunakan pendekatan Integer Linear Programming (ILP), yaitu suatu teknik pemrograman matematis yang bertujuan untuk memecahkan permasalahan optimasi dengan batasan tertentu, di mana seluruh variabel keputusannya bersifat bilangan bulat (integer). ILP merupakan pengembangan dari metode linear programming (LP) konvensional, namun lebih kompleks karena memperhitungkan keterbatasan pada nilai variabel yang tidak bisa bernilai pecahan. Pemilihan ILP dalam penelitian ini didasarkan pada karakteristik permasalahan yang berfokus pada alokasi jumlah kontainer yang akan dikirim dari Dry Port Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) Sei Mangkei ke dua alternatif pelabuhan tujuan, yaitu Pelabuhan Belawan dan Pelabuhan Kuala Tanjung, dengan tujuan untuk meminimalkan total biaya pengiriman. Permasalahan ini tidak termasuk dalam ruang lingkup optimasi rute kendaraan (seperti pada truk yang berkeliling ke beberapa pelanggan), melainkan pada pengambilan keputusan logistik strategis berbasis alokasi kuantitas pengiriman dalam satu trayek langsung menggunakan moda kereta api, yang memiliki rute tetap dan kapasitas tertentu. Secara umum, permasalahan ini termasuk dalam klasifikasi Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) yang dimodifikasi, di mana "vehicle" dalam konteks ini diartikan sebagai sistem pengangkutan kontainer menggunakan kereta api. Kereta api memiliki kapasitas angkut terbatas, baik berdasarkan jumlah rangkaian maupun

jumlah kontainer yang dapat diangkut per perjalanan. Selain itu, pengiriman harus mempertimbangkan permintaan total kontainer yang berasal dari tenant-tenant di kawasan industri, serta biaya logistik ke masing-masing pelabuhan yang dapat berbeda tergantung pada tarif, jarak tempuh tetap, dan layanan pelabuhan. Adapun struktur umum dari model ILP yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Fungsi Objektif

Fungsi objektif dari model adalah meminimalkan total biaya pengiriman kontainer dari KEK Sei Mangkei ke pelabuhan tujuan. Biaya dihitung berdasarkan jumlah kontainer yang dikirim ke masing-masing pelabuhan dikalikan dengan tarif pengiriman per kontainer ke pelabuhan tersebut.

2. Kendala Permintaan

Jumlah total kontainer yang dikirim ke kedua pelabuhan harus sama dengan jumlah total permintaan kontainer dari kawasan industri. Hal ini untuk memastikan bahwa seluruh permintaan dari pelanggan atau tenant terpenuhi.

3. Kendala Kapasitas

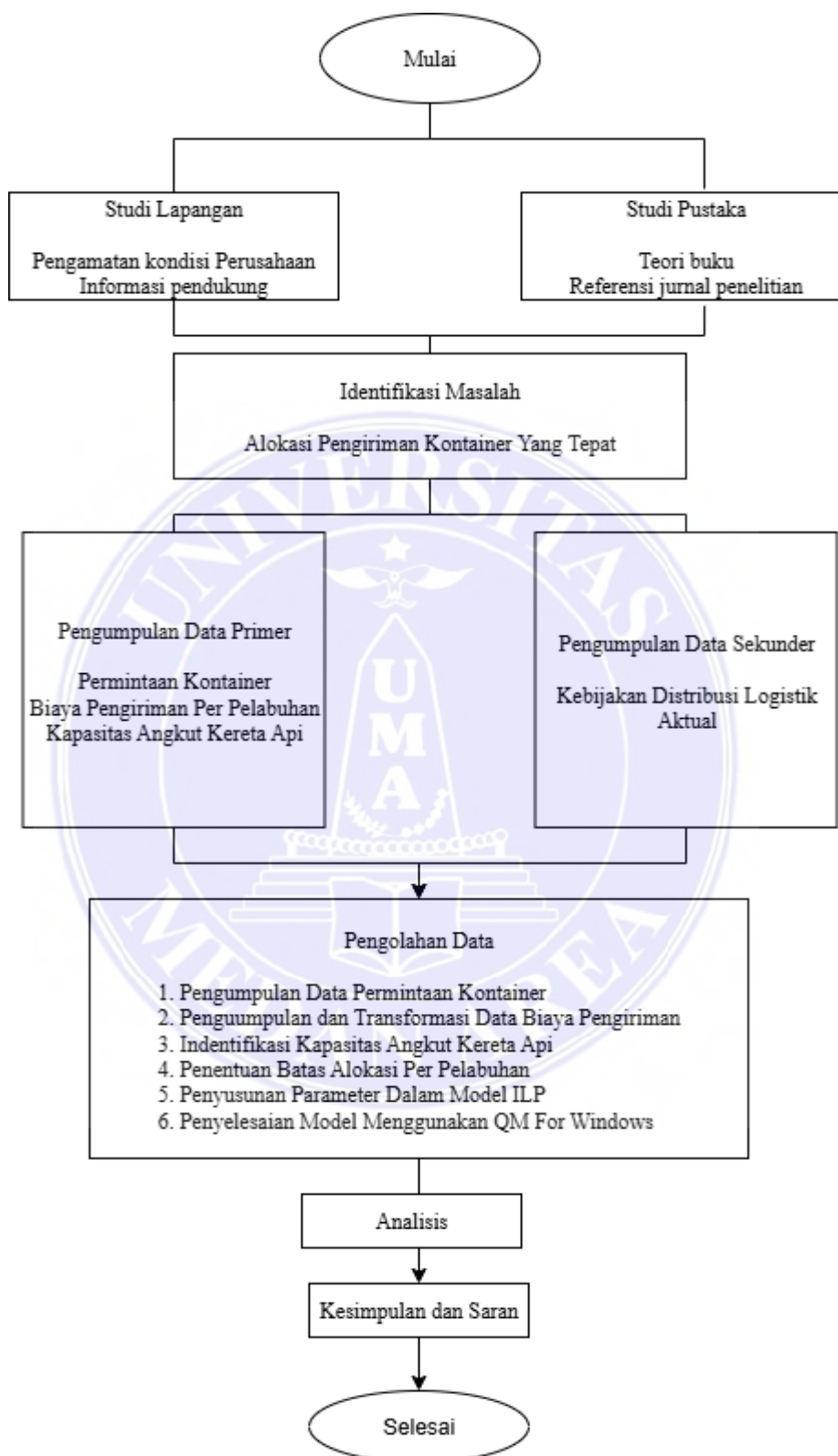
Jumlah kontainer yang dikirim ke masing-masing pelabuhan tidak boleh melebihi kapasitas angkut maksimum dari kereta api dalam satu atau beberapa perjalanan. Kapasitas ini dinyatakan dalam unit kontainer (biasanya setara 40 ft), dengan konversi tertentu (misalnya: kontainer 20 ft dihitung sebagai 0,5 unit).

4. Kendala Teknis Tambahan

Semua variabel keputusan dalam model berupa bilangan bulat (tidak boleh pecahan) dan bersifat non-negatif, karena dalam kenyataan, jumlah kontainer tidak mungkin berupa angka pecahan atau negatif. Untuk menyelesaikan model ini,

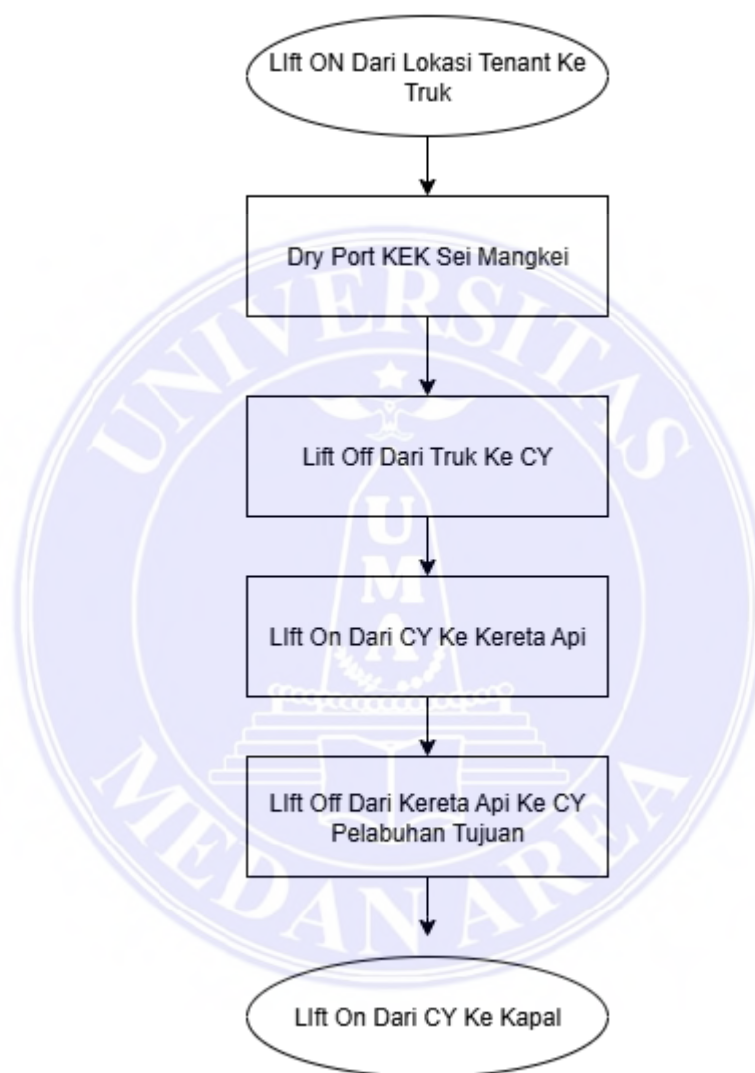
digunakan perangkat lunak QM for Windows, yang merupakan salah satu software populer dalam penyelesaian masalah linear dan integer programming. QM for Windows menyediakan antarmuka yang sederhana dan mampu menyelesaikan masalah optimasi dengan efisien. Dalam penelitian ini, input dimasukkan ke dalam model ILP yang tersedia di aplikasi tersebut, dengan menetapkan jumlah variabel keputusan sesuai dengan jumlah opsi pelabuhan, dan memasukkan parameter biaya, permintaan, serta kapasitas sebagai input batasan dan koefisien fungsi objektif. Setelah proses perhitungan dilakukan, sistem akan menghasilkan solusi optimal, yaitu jumlah kontainer yang dialokasikan ke masing-masing pelabuhan dan total biaya pengiriman minimum yang dicapai. Hasil ini kemudian dianalisis untuk menilai efisiensi biaya dan potensi penghematan jika dibandingkan dengan sistem distribusi sebelumnya yang tidak menggunakan pendekatan optimasi. Metode ILP dalam penelitian ini memberikan manfaat signifikan dalam membantu pengambilan keputusan berbasis kuantitatif dan sistematis. Dibandingkan dengan pendekatan tradisional yang hanya mengandalkan pengalaman atau pola pengiriman sebelumnya, model ini mampu mempertimbangkan batasan nyata seperti kapasitas dan biaya, serta memberikan hasil yang terukur. Dengan demikian, hasil dari metode ini diharapkan dapat memberikan dasar pengambilan keputusan strategis dalam manajemen logistik kawasan industri Sei Mangkei, sekaligus meningkatkan efisiensi dalam rantai pasok distribusi kontainer melalui pelabuhan ekspor.

3.8 Flowchart Penelitian



Gambar 3. 2 Flowchart Penelitian

3.9 Flowchart Alur Distribusi



Gambar 3. 3 Flowchart Alur Distribusi

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan biaya distribusi kontainer dari Dry Port Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) Sei Mangkei ke dua pelabuhan utama yaitu Pelabuhan Belawan dan Pelabuhan Kuala Tanjung. Metode yang digunakan adalah Integer Linear Programming (ILP) dengan pendekatan matematis berbasis pemrograman bilangan bulat menggunakan perangkat lunak QM for Windows. Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan pada bab sebelumnya, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Model matematis berhasil dibangun dengan mempertimbangkan variabel utama dalam sistem distribusi, seperti permintaan kontainer, jenis kontainer (20 ft dan 40 ft), tarif logistik ke masing-masing pelabuhan, serta batasan kapasitas gerbong kereta api. Model ini diformulasikan dengan fungsi objektif meminimalkan biaya total logistik dan beberapa kendala, seperti kapasitas maksimum gerbong, pemenuhan permintaan, serta batasan integer.
2. Penyelesaian model ILP menggunakan QM for Windows menghasilkan alokasi distribusi kontainer yang optimal, yaitu:
 1. 1.860 unit kontainer 20 feet ke Belawan (x1).
 2. 4.140 unit kontainer 40 feet ke Belawan (x2).
 3. 1.863 unit kontainer 20 feet ke Kuala Tanjung (x3).

4. 4.137 unit kontainer 40 feet ke Kuala Tanjung (x4).

Sehingga total biaya logistik minimum yang diperoleh adalah
Rp . 20.172.777.000

3. Distribusi optimal ini menunjukkan strategi efisiensi biaya yang signifikan. Penggunaan Pelabuhan Kuala Tanjung yang memiliki tarif lebih rendah untuk kontainer besar (40 ft) menjadi pilihan utama dalam alokasi karena biaya per unit-nya lebih ekonomis dibandingkan Belawan. Model juga menunjukkan kombinasi distribusi yang seimbang untuk kontainer 20 ft, memperhatikan keterbatasan kapasitas dan skenario waktu tempuh.
4. Dibandingkan dengan kondisi awal (tanpa optimasi), distribusi saat ini menghemat biaya sebesar Rp 17.594.364 per tahun. Dengan pendekatan model ILP, terdapat penghematan biaya operasional logistik sekitar 46,57%, serta peningkatan efisiensi waktu dan utilisasi sarana transportasi.
5. Faktor pemilihan pelabuhan oleh perusahaan tenant juga dipengaruhi oleh kondisi geografis, fasilitas infrastruktur pelabuhan, jadwal pelayaran, serta preferensi historis dalam pengiriman. Meskipun Kuala Tanjung lebih unggul dari sisi biaya dan jarak tempuh, Belawan masih menjadi pilihan utama bagi perusahaan tertentu karena konektivitas yang lebih baik ke pelabuhan tujuan ekspor.
6. Penerapan model ILP dalam konteks ini menunjukkan bahwa pendekatan kuantitatif dapat memberikan nilai tambah yang nyata dalam sistem logistik industri, khususnya dalam hal efisiensi biaya, efektivitas pengiriman, dan pemanfaatan sumber daya transportasi.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dan kesimpulan yang diperoleh, maka beberapa saran yang dapat diberikan untuk berbagai pihak yang berkepentingan antara lain sebagai berikut:

5.2.1 Saran untuk Perusahaan

1. Mengadopsi pendekatan optimasi logistik secara berkala dengan menggunakan metode matematis seperti ILP dan software pendukung seperti QM for Windows, khususnya untuk kegiatan pengiriman kontainer dalam jumlah besar secara terjadwal.
2. Melakukan evaluasi berkala terhadap struktur biaya logistik, termasuk biaya pengangkutan kereta, handling, dan biaya terminal, agar model optimasi dapat terus diperbarui sesuai dengan kondisi aktual di lapangan.
3. Meningkatkan koordinasi antar departemen (produksi, gudang, logistik, dan perencanaan ekspor) dalam menyusun jadwal pengiriman, agar alokasi kontainer dapat dilakukan lebih efisien dan menghindari ketidaksesuaian antara kapasitas angkut dan permintaan pasar.

5.2.2 Saran untuk Pengelola Kawasan Industri / KEK

1. Mengembangkan sistem logistik terintegrasi berbasis teknologi informasi, seperti sistem manajemen transportasi (TMS), yang mendukung perencanaan distribusi lintas tenant secara kolektif dan optimal.
2. Memfasilitasi kolaborasi antar tenant, khususnya dalam pengiriman kontainer kecil (20 ft), agar dapat dikonsolidasikan menjadi unit angkut

yang lebih efisien (misalnya LCL – Less than Container Load), sehingga utilisasi gerbong kereta menjadi maksimal.

3. Mendorong peningkatan frekuensi keberangkatan kereta api logistik dengan berkoordinasi bersama pihak KAI Logistik agar pengiriman tidak terkendala kapasitas dan waktu tunggu yang lama.

5.2.3 Saran untuk Pemerintah dan Regulator

1. Memberikan dukungan kebijakan logistik dan insentif tarif bagi perusahaan yang mengoptimalkan sistem distribusinya melalui moda transportasi ramah lingkungan seperti kereta api.
2. Meninjau ulang struktur tarif pelabuhan dan memberikan insentif pengiriman massal ke pelabuhan-pelabuhan yang masih dalam tahap pengembangan seperti Kuala Tanjung agar distribusi kontainer tidak terpusat hanya di Belawan.
3. Meningkatkan konektivitas logistik nasional melalui pembangunan dan modernisasi infrastruktur pendukung seperti jalur rel, terminal barang, dan sistem pelacakan logistik digital.

5.2.4 Saran untuk Peneliti Selanjutnya

1. Mengembangkan model optimasi yang lebih kompleks, seperti *multi-period optimization*, *stochastic programming*, atau *multi-objective optimization* untuk mempertimbangkan fluktuasi permintaan, waktu pelayanan, atau kriteria non-biaya lainnya seperti emisi karbon dan waktu tempuh.

2. Menggabungkan pendekatan heuristik atau algoritma metaheuristik seperti Genetic Algorithm atau Simulated Annealing untuk menyelesaikan permasalahan logistik dalam skala lebih besar dan variabel lebih kompleks.
3. Melakukan studi lanjutan yang menggabungkan optimasi distribusi kontainer antar pelabuhan dengan rantai pasok hilir, seperti pengiriman dari pelabuhan ke konsumen akhir (last mile delivery), sehingga efisiensi dapat dianalisis secara menyeluruh dalam satu sistem logistik terintegrasi.



DAFTAR PUSTAKA

- Alex, M. (2022). Supply Chain Management Supply Chain Management. In *2degrees sustainability Essentials: Vol. XI* (Issue 2).
<https://www.investopedia.com/terms/s/scm.asp#:~:text=Supply chain management is important,build a strong consumer brand>
- Bowersox, D. J. (2013). *Logistical excellence: it's not business as usual*. Elsevier.
- Christopher, M. (2016). *Logistics and supply chain management: logistics & supply chain management*. Pearson UK.
- Debnath, A., & Sarkar, B. (2024). Supply Chain Model Having Stochastic Lead Time Demand With Variable Production Rate and Demand Dependent on Price and Advertisement. *RAIRO - Operations Research*, 58(4), 2645–2667.
<https://doi.org/10.1051/ro/2023191>
- Hasibuan, A., Banjarnahor, A. R., Sahir, S. H., Cahya, H. N., Nur, N. K., Purba, B., Arfandi, S. N., Prasetio, A., Ardiana, D. P. Y., & Purba, S. (2021). *Manajemen Logistik dan Supply Chain Management*. Yayasan Kita Menulis.
- Kasim, M. H., Djakaria, I., Yahya, L., Matematika, J., & Abstrak, I. A. (2022). *Research in the Mathematical and Natural Sciences Model Integer Linear Programming pada Optimisasi Distribusi Logistik di Daerah Bencana*. 1(1), 19–26.
- Kristanto, T. (2015). Kinerja Logistik (Studi Kasus : Pt Sunan Inti Perkasa)
Analysis of Determination Estimated Cost, and Distribution Management and Usage of Information Technology Impact on Performance Logistics. *Analisis*

- Penentuan Estimasi Biaya Dan Pengelolaan Distribusi Serta Dampak Penggunaan Teknologi Informasi Terhadap Kinerja Logistik*, 1–169.
<http://repository.its.ac.id/71045/1/5112202022-Master Thesis.pdf>
- Kurniawan, R., Santoso, H., & Komari, A. (2019). Analisis Kinerja Distribusi Logistik Pada Pasokan Barang Dari Pt. Surya Pamenang Ke Konsumen. *JURMATIS: Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Industri*, 1(2), 81.
<https://doi.org/10.30737/jurmatis.v1i2.440>
- Mohammed, I., & Mandal, J. (2024). The Impact of Lead Time Variability on Supply Chain Management. *International Journal of Supply Chain Management*, 8(2), 41–55. <https://doi.org/10.47604/ijscm.3075>
- Nurdin, N., Taufiq, T., Bustami, B., Marleni, M., & Khairuni, K. (2023). Optimization Model of Fishery Products Supply Chain Using Mixed Integer Linear Programming Method. *Journal of Informatics and Telecommunication Engineering*, 6(2), 378–392. <https://doi.org/10.31289/jite.v6i2.8186>
- Optimization, S., Pratiwi, R. A., Harahap, U. N., Industri, T., Medan, U. H., Programming, I. L., & Rute, P. (2024). *OPTIMALISASI PENDISTRIBUSIAN BARANG DENGAN MODEL MIXED INTEGER LINEAR PROGRAMMING PADA PT . LOGISTIK EKSPRESINDO*. 7, 8–15.
- Retno Andani, S. (2022). Optimasi Rute Menggunakan Vehicle Routing Problem (VRP) Dengan Algoritma Genetika. *Jurnal Penerapan Sistem Informasi (Komputer & Manajemen)*, 4(1), 148–156.
- Rodrigue, J.-P., & Notteboom, T. (2009). The terminalization of supply chains: reassessing the role of terminals in port/hinterland logistical relationships.

Maritime Policy & Management, 36(2), 165–183.

Rushton, L. (2017). The global burden of occupational disease. *Current Environmental Health Reports*, 4, 340–348.

Sadeghi, A. H., Sun, Z., Sahebi-Fakhrabad, A., Arzani, H., & Handfield, R. (2023). A Mixed-Integer Linear Formulation for a Dynamic Modified Stochastic p-Median Problem in a Competitive Supply Chain Network Design. *Logistics*, 7(1). <https://doi.org/10.3390/logistics7010014>

Syahraul, M., Primadi, A., & Tohir, M. (2024). Analisis Biaya Logistik, Jarak Antar Pulau dan Infrastruktur Transportasi Terhadap Jumlah Barang yang Diangkut Antar Pulau. *Jurnal Siber Transportasi Dan Logistik*, 1(4), 189–193. <https://doi.org/10.38035/jstl.v1i4.209>

Yani, A., & Dewi, W. R. (2021). Analisis Distribution Service Level Improvement Pada Pt. Atri Distribusindo. *Journal Of Communication Education*, 15(1). <https://doi.org/10.58217/joce-ip.v15i1.229>

LAMPIRAN

Lampiran foto Kegiatan Pengambilan data dan observasi



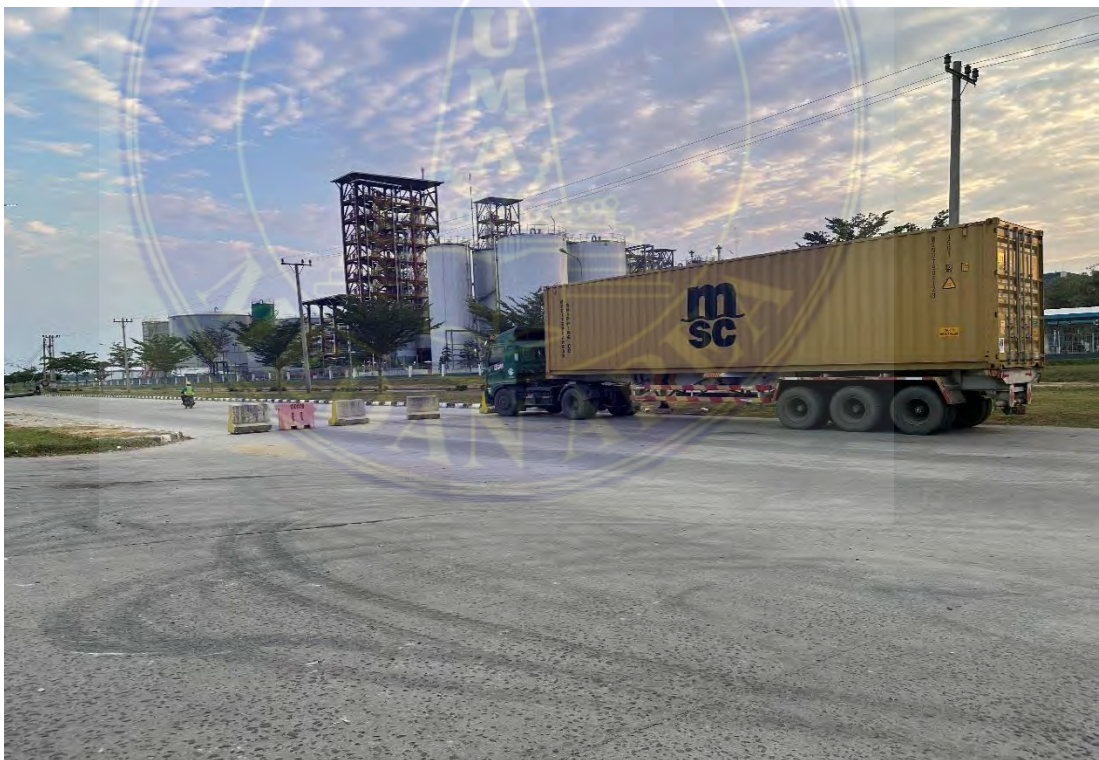
Lampiran 1. Area Depan Dry Port KEK Sei Mangkei



Lampiran 2. Gerbang Pemeriksaan Dry Port KEK Sei Mangkei



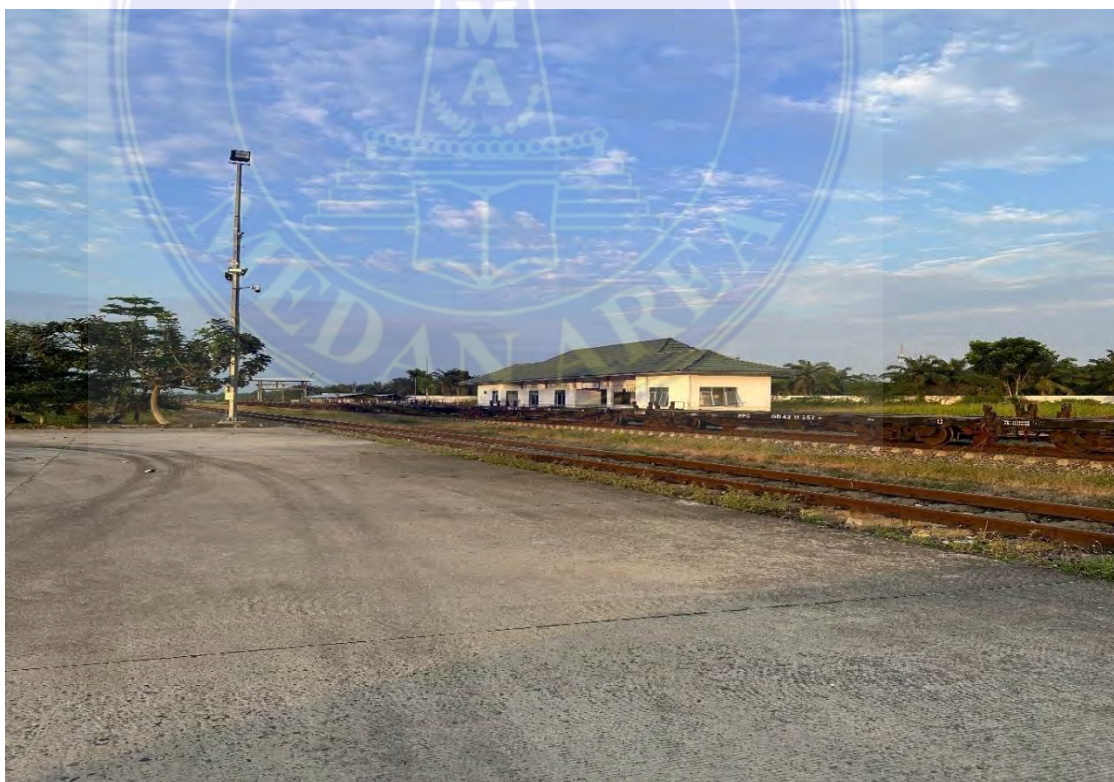
Lampiran 3. Dokumentasi Bersama PIC dan Manager Corporate Secretary, Legal & Humas PT. Kawasan Industri Nusantara.



Lampiran 4. Truck Untuk Mengangkut Kontainer



Lampiran 5. Reach Stacker Kalmar



Lampiran 6. Stasiun Kereta Api Dry Port KEK Sei Mangkei



Lampiran 7. Gerbang Utama KEK Sei Mangkei



Lampiran 8. Maps Dry Port Kek Sei Mangkei



UNIVERSITAS MEDAN AREA FAKULTAS TEKNIK

Kampus I : Jalan Kolam Nomor 1 Medan Estate/Jalan PBSI Nomor 1 RT (061) 7366878, 7360168, 7364348, 7366781, Fax (061) 7366998 Medan 20223
Kampus II : Jalan Sebelah Nomor 79 /Jalan Sei Serayu Nomor 70 A, RT (061) 8225602, Fax. (061) 8226331 Medan 20122
Website: www.fakultas.uma.ac.id E-mail: univ_medanarea@uma.ac.id

Nomor : 296/FT.5/01.10/VI/2025

20 Juni 2025

Lamp

:

Hal

: Penelitian Dan Pengambilan Data Tugas Akhir

Yth. Pimpinan Dry Port Kawasan Ekonomi Khusus Sei Mangkei
Jl. Kelapa Sawit I No.1, Sei Mangkei, Bosar Maligas
Di
Sumatera Utara

Dengan hormat,

Kami mohon kesediaan Bapak/Ibu berkenan untuk memberikan izin dan kesempatan kepada mahasiswa kami tersebut dibawah ini :

NO	N A M A	N P M	PRODI
1	RIDHIKA ADABIANSYAH	218150011	Teknik Industri

Untuk melaksanakan Penelitian dan Pengambilan Data Tugas Akhir pada perusahaan/Instansi yang Bapak/Ibu Pimpin.

Perlu kami jelaskan bahwa Pengambilan Data tersebut adalah semata-mata untuk tujuan ilmiah dan Skripsi yang merupakan salah satu syarat bagi mahasiswa tersebut untuk mengikuti ujian sarjana pada Fakultas Teknik Universitas Medan Area dan tidak untuk dipublikasikan, dengan judul penelitian :

Pengukuran Efektivitas Sistem Manajemen Di Sekolah Dasar Berbasis Web Dengan Metode *Technology Acceptance Model* (TAM)

Atas perhatian dan kerja sama yang baik diucapkan terima kasih.



Tembusan :
1. Ka. BPMPP
2. Mahasiswa
3. File

Lampiran 9. Surat Izin Penelitian



Sei Mangkei, 21 Juli 2025

Nomor : KINRA/MCSLH/MO/099/2025
 Lampiran :-
 Perihal : **Surat Keterangan Selesai Penelitian dan Pengambilan Data**

Kepada Yth.
 Dekan Fakultas Teknik
 Universitas Medan Area
 di
 Jalan Kolam No.1 Medan

Menindaklanjuti surat Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area nomor : 296/FT.S/01.10/VI/2025 tanggal 20 Juni 2025 Perihal permohonan penelitian dan pengambilan data tugas akhir dengan ini kami sampaikan bahwa mahasiswa yang beridentitas di bawah ini:

No	Nama	NPM	Jurusan	Institusi
1	Ridhika Adabiansyah	218150011	Teknik Industri	Universitas Medan Area

Telah selesai melaksanakan kegiatan penelitian & pengambilan data untuk menyusun Tugas Akhir (Skripsi) di Dry Port Kawasan Ekonomi Khusus Sei Mangkei terhitung dari tanggal 20 Juni - 20 Juli 2025.

Selama melaksanakan kegiatan penelitian dan pengambilan data tugas akhir yang bersangkutan melaksanakan kegiatan dengan baik dan bertanggung jawab dengan aturan yang ada.

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dapat dipergunakan seperlunya.



Miswarindra, SH

Manager Corporate Secretary, Legal & Humas

[Handwritten signature]

Head Office
 Jl. Kelapa Sawit II No. 1, Sei Mangkei,
 Kab. Brasel Mangrove, Kab. Singkil, Aceh
 Sumatera Utara, Indonesia - 21181

+62 622 96628
www.seimangkeisez.com

Lampiran10. Surat Selesai Penelitian