

Perancangan Rute Pengiriman Menggunakan Model *Mixed Integer Linear Programming* untuk Meminimasi Biaya Transportasi (Studi Kasus: CV XYZ yang Berlokasi di Bandung)

1st Faiz Shulthan Alifi
 Fakultas Rekayasa Industri
 Universitas Telkom
 Bandung, Indonesia

faizshulthanalifi@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Muhammad Nashir Ardiansyah
 Fakultas Rekayasa Industri
 Universitas Telkom
 Bandung, Indonesia

nashirardiansyah@telkomuniversity.ac.id

3rd Budi Santosa
 Fakultas Rekayasa Industri
 Universitas Telkom
 Bandung, Indonesia

budi.s.chulasoh@telkomuniversity.ac.id

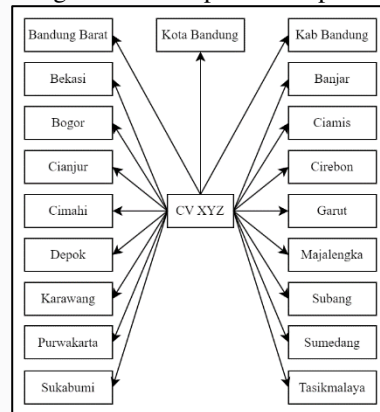
Abstrak— Pasar di era industri 5.0 tidak lagi terhalang oleh jarak. Transportasi dalam dunia industri memiliki peran yang krusial karena dalam pengantaran barang dari lokasi ke lokasi lain terdapat biaya yang harus dikeluarkan. CV XYZ merupakan sebuah perusahaan yang bergerak di bidang distribusi peralatan air yang berlokasi di Kota Bandung. CV XYZ memiliki satu gudang dan dua toko yang melayani pengiriman pada 71 titik pelanggan yang tersebar di Provinsi Jawa Barat. Namun dalam prosesnya terdapat permasalahan pada kapasitas kendaraan yang tidak diutilisasi secara maksimal serta belum adanya rute pengiriman baku sehingga menyebabkan kebutuhan biaya pengiriman yang melebihi batas anggaran perusahaan. Tujuan penelitian ini adalah perancangan rute pengiriman untuk mendistribusikan produk dengan karakteristik permasalahan multi-depot heterogeneous-fleet vehicle-routing problem (MDHFVRP) dengan algoritma variable neighborhood search menggunakan model mixed-integer linear programming untuk meminimasi biaya transportasi dengan memaksimalkan utilisasi kapasitas kendaraan. Dari hasil perhitungan penelitian ini menunjukkan usulan rute yang dihasilkan dapat meminimasi biaya transportasi dengan mempertimbangkan utilisasi kapasitas kendaraan yang dimaksimalkan. Pada biaya transportasi terdapat penghematan biaya hingga 40,05%. Muatan kendaraan dari hasil perhitungan terdapat kenaikan rata-rata muatan dari yang semula berada pada rentang 32,6-55,9% menjadi 87,4-99,9% kapasitas.

Kata kunci— *Vehicle Routing Problem, Multi Depot, Heterogeneous Fleet, Mixed-integer Linear Programming*

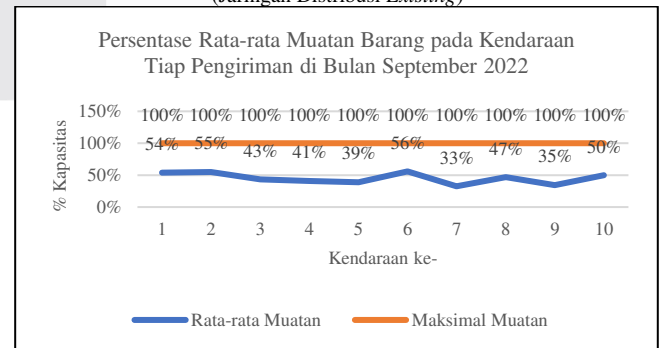
I. PENDAHULUAN

CV XYZ adalah perusahaan yang mendistribusikan peralatan pipa dan produk terkait sistem air rumahan. Mereka memiliki dua toko dan sebuah gudang di Kota Bandung. CV XYZ mendistribusikan produk ini ke berbagai toko bahan bangunan dan kontraktor proyek. Gudang CV XYZ bertanggung jawab untuk pengiriman dalam jumlah besar kepada konsumen. Mereka juga mendistribusikan peralatan plumbing ke berbagai peritel di Jawa Barat, dengan

permintaan tertinggi di sekitar Bandung. Peritel ini tersebar di berbagai kota seperti Cimahi, Bandung Barat, Cianjur, Sukabumi, dan lainnya. Sementara itu, toko mereka melayani pelanggan yang datang langsung dan juga melakukan pengiriman kepada peritel di sekitar Bandung. Jaringan distribusi existing CV XYZ dapat dilihat pada Gambar 1.



GAMBAR 1
 (Jaringan Distribusi Existing)

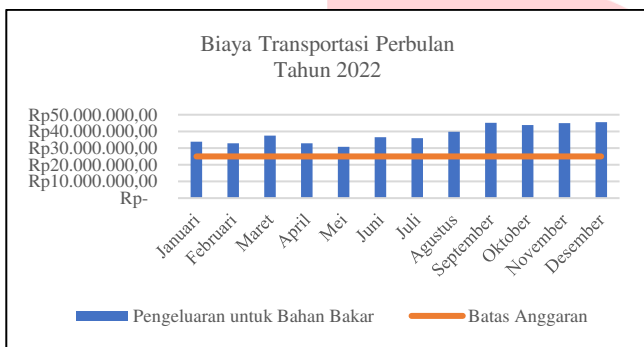


GAMBAR 2
 (Persentase Muatan Kendaraan Gudang CV XYZ)

Gambar 2 menjabarkan persentase rata-rata muatan barang pada tiap kendaraan pada pengiriman yang terjadi di bulan September tahun 2022. Dapat dilihat bahwa

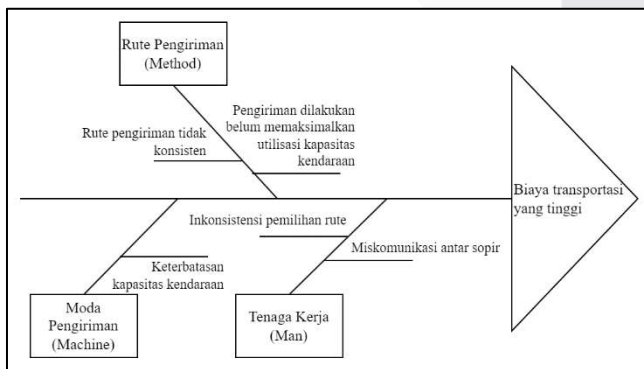
penggunaan kapasitas dari masing-masing kendaraan selama ini tidak dimaksimalkan. Berdasarkan hasil wawancara, hal ini terjadi karena CV XYZ menyiapkan pesanan pelanggan sebelum dikirimkan dalam waktu satu hari.

Kendaraan ditugaskan untuk langsung mengirimkan dengan muatan yang ada. Dengan memaksimalkan penggunaan kapasitas kendaraan, biaya tetap transportasi dapat disebar dengan lebih merata sesuai dengan kapasitas yang digunakan [1]. Namun, kondisi saat ini di mana muatan kendaraan berkisar antara 33-56% dari total kapasitas membuat biaya transportasi menjadi tinggi melampaui batas anggaran biaya bahan bakar CV XYZ sebesar Rp25.000.000,00/bulan atau Rp6.250.000,00/minggu. Dapat dilihat pada Gambar 3 di mana pengeluaran untuk bahan bakar melewati batas anggaran perusahaan.



GAMBAR 3
(Biaya Transportasi Perbulan Tahun 2022)

CV XYZ menggunakan sembilan moda transportasi berkapasitas besar dengan tipe yang sama untuk pengiriman luar kota dan satu moda berkapasitas kecil untuk pengiriman dalam kota saat ini. Pada Gambar 4 dapat dilihat permasalahan yang dihadapi. Menurut pengelola pengiriman gudang CV XYZ, moda transportasi sering berbolak-balik ke tujuan yang sama disebabkan oleh kurangnya ketelitian sopir dalam pengiriman barang. Pemilihan rute pengiriman yang masih berdasarkan intuisi sopir terhadap lokasi konsumen terdekat menjadi penyebab terjadinya inkonsistensi rute pengiriman, khususnya pada peretail tetap. Dengan inkonsistensi rute pengiriman ini juga membuat biaya transportasi yang harus dikeluarkan oleh perusahaan menjadi lebih tinggi.



GAMBAR 4
(Diagram Permasalahan)

Sangat penting untuk merancang rute pengiriman baru yang membutuhkan biaya transportasi yang lebih rendah. Mengombinasikan antara titik keberangkatan kendaraan yang

lebih dari satu dan juga tipe kendaraan yang heterogen tidak serta merta menetapkan pelanggan pada gudang terdekat lalu menentukan rute dari masing-masing pasangan gudang dan pelanggan, namun mempertimbangkan keduanya sekaligus untuk menghasilkan solusi yang diharapkan [2].

Berdasarkan penjabaran akar permasalahan yang dihadapi oleh CV XYZ di mana memiliki dua jenis kendaraan dengan titik keberangkatan berasal dari dua toko dan satu gudang, penelitian ini akan memecahkan permasalahan vehicle-routing problem. Tepatnya permasalahan multi-depot heterogeneous-fleet vehicle routing problem (MDHFVRP) dengan menggunakan metode mixed integer linear programming untuk menentukan usulan rute pengiriman baru yang bertujuan untuk meminimasi total biaya transportasi dengan memaksimalkan utilisasi kapasitas kendaraan.

II. KAJIAN TEORI

A. Rantai Pasok

Rantai pasok adalah sekumpulan aktivitas yang terlibat dalam memenuhi permintaan pelanggan, mulai dari pembelian bahan baku hingga distribusi produk jadi ke pelanggan [3]. Rantai pasok tidak hanya berfokus pada industri manufaktur dan *supplier* saja, namun juga pada siapa yang berperan dalam memindahkan barang, gudang, peretail, dan bahkan pelanggan [4].

B. Manajemen Distribusi dan Transportasi

Distribusi adalah pendorong utama bagi keuntungan perusahaan karena sangat berpengaruh pada biaya total rantai pasok dan secara langsung pada kepuasan pelanggan. Sedangkan transportasi adalah salah satu bagian terpenting dari sistem distribusi yang bertanggung jawab atas pemindahan produk dari tempat produksi ke tempat penjualan [5]. Transportasi harus dipertimbangkan secara hati-hati dalam perencanaan penjualan karena biaya transportasi dapat sangat mempengaruhi harga produk dan keuntungan perusahaan. Terdapat beberapa fungsi dasar yang dilakukan pada manajemen distribusi dan transportasi, antara lain memperluas jangkauan penjualan, mengurangi biaya, menyediakan kecepatan pengiriman, menyediakan pelayanan yang baik, dan manajemen risiko [5].

C. Jaringan Distribusi

Jaringan distribusi adalah sekelompok sistem transportasi dan fasilitas penyimpanan yang berhubungan satu sama lain dalam menerima inventaris produk dan menyalurkannya ke pelanggan akhir. Proses pembuatan jaringan distribusi ini terbagi atas dua fase [4]. Fase pertama yaitu membuat visualisasi struktur awal jaringan rantai pasok. Di fase awal ini jumlah tingkatan dan peran tiap tingkatannya ditentukan. Fase kedua yaitu mengambil struktur awal di fase pertama kemudian mentransformasikannya menjadi lokasi spesifik dan menyesuaikan kapasitas, kapabilitas, dan alokasi pemenuhan *demand*. Jaringan distribusi terdiri dari berbagai macam tipe kanal, seperti kanal langsung, kanal tidak langsung, dan kanal *e-commerce* [6].

D. Vehicle Routing Problem

Vehicle routing problem (VRP) dideskripsikan sebagai permasalahan dalam mendesain suatu rute pengantaran atau

pengambilan barang yang optimal dari satu atau lebih depot ke sejumlah kota atau pelanggan yang tersebar secara geografis [7]. Tujuan permasalahan ini adalah mengoptimalkan jarak tempuh kendaraan dan meminimasi jumlah moda transportasi untuk memenuhi semua permintaan. Sedangkan hasil yang keluar dari perhitungan ini adalah rute distribusi dan jumlah moda transportasi yang dipakai [8]. VRP muncul dengan adaptasi sesuai permasalahan yang tidak selalu sama. Beberapa jenis VRP seperti pada di bawah ini [9].

1. Capacitated VRP (CVRP) di mana kendaraan hanya melayani satu rute dengan jenis kendaraan yang sama dan hanya ada satu depot.
2. Heterogeneous fleet VRP (HFVRP) di mana permasalahan kendaraan memiliki jenis yang berbeda dengan jumlah lebih dari satu dengan karakteristik berbeda-beda untuk tiap jenisnya.
3. Multiple Depots VRP (MDVRP) di mana perusahaan memiliki kendaraan pengirim yang homogen dengan depot yang tersebar di beberapa tempat.
4. VRP with time windows (VRPTW) di mana pengiriman dibatasi dengan waktu yang telah ditentukan.

E. Algoritma Perutean

Terdapat 2 algoritma perutean secara umum, yaitu algoritma eksak dan heuristik [10]. Algoritma eksak merupakan algoritma yang menghasilkan solusi optimal langsung dengan mengeksplorasi semua permutasi dan menentukan solusi termurah. Meskipun menawarkan hasil yang optimal, metode eksak tidak banyak digunakan karena keterbatasannya dalam memecahkan permasalahan VRP dengan input dan node yang lebih banyak serta komputasi yang lebih kompleks [11]. Algoritma heuristik menawarkan solusi yang baik untuk permasalahan yang besar dapat diselesaikan dengan cepat. Umumnya metode ini dipakai untuk permasalahan yang besar dalam waktu wajar dengan probabilitas tinggi yang menghasilkan 2-3% dari solusi optimal. Algoritma metaheuristik merupakan metode heuristik yang lebih modern saat ini. Metaheuristik lebih mendominasi dalam pemecahan permasalahan VRP dibandingkan dengan metode eksak dan heuristik klasik [11]. Kualitas yang dihasilkan pada solusi dengan algoritma metaheuristik jauh lebih baik dari pada heuristik klasik, namun dengan waktu komputasi yang lebih lama dan tidak dapat diketahui secara pasti. Beberapa algoritma yang tergolong dalam kategori metaheuristik antara lain algoritma *tabu search* (TS), *variable neighborhood search* (VNS), dan *genetic algorithm* (GA).

F. Linear Programming

Linear programming (LP) adalah teknik optimasi yang digunakan untuk menemukan solusi optimal dari masalah yang terdiri dari variabel linier yang dibatasi oleh kendala linier. Pemrograman linier umumnya digunakan untuk menentukan kombinasi optimal dari berbagai keterbatasan sumber daya seperti waktu, biaya, atau kapasitas produksi untuk memenuhi kebutuhan konsumen atau tujuan yang telah ditentukan sebelumnya dan merupakan alat bantu yang cukup efektif untuk memaksimalkan profit perusahaan [4]. Tiga komponen dasar untuk LP ini adalah variabel keputusan, fungsi tujuan, dan fungsi pembatas yang harus dipenuhi dalam rangka menemukan solusi. Karena sifatnya yang linier

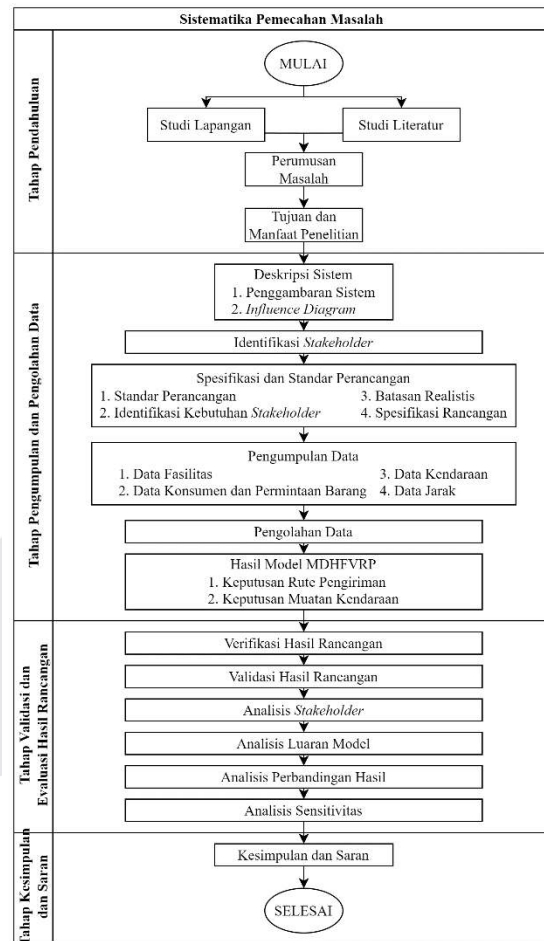
maka fungsi matematis yang ada pada model ini merupakan berbanding lurus, sehingga pemrograman ini merupakan perencanaan suatu aktivitas di suatu perusahaan yang bertujuan optimisasi, yaitu mencari hasil feasible terbaik dari semua alternatif yang ada [12].

G. Integer Linear Programming

Integer linear programming (ILP) adalah model pemrograman yang sedikit berbeda dari LP, yaitu dengan tambahan persyaratan berupa variabel keputusan dalam fungsi tujuan yang dibatasi menjadi bilangan bulat/*integer* [13]. Namun ILP lebih baik dalam menangani masalah yang mengharuskan variabel keputusannya berupa bilangan bulat. ILP bisa dibedakan dalam tiga macam kategori yaitu *pure* ILP yang mana variabel murni *integer*, *mixed* ILP (MILP) di mana variabel yang diproses adalah campuran nilai *integer* dan bilangan bulat non-negatif, dan *zero-one* ILP di mana variabel berupa bilangan *binary* satu dan nol [14].

III. METODE

A. Sistematika Perancangan



GAMBAR 6 (Sistematika Pemecahan Masalah)

Pada sistematika perancangan ini terdapat alur perancangan penyelesaian masalah yang tergambar pada Gambar 6. Pada tahap pendahuluan peneliti menganalisis permasalahan yang ada. Lalu tahap pengumpulan data dipakai untuk menyelesaikan permasalahan dan dilanjutkan

ke pengolahan data. Data-data yang didapatkan merupakan data primer dari perusahaan dan hasil wawancara yang diolah untuk menjadi dasar perhitungan. Dari hasil pengolahan data akan menghasilkan keputusan rute pengiriman dan muatan kendaraan. Lalu dilanjutkan dengan membandingkan usulan dengan *existing* apakah menjawab permasalahan pada tahap analisis dan evaluasi hasil hingga kesimpulan dan saran.

B. Model Matematis

Model yang dipakai dalam penelitian ini dikembangkan dengan menggunakan MILP dari permasalahan *multi depot heterogeneous fleet vehicle routing problem* (MDHFVRP) yang berfungsi untuk meminimalisasi total biaya transportasi. Model matematis diadaptasi dari penelitian [2] yang memiliki fungsi tujuan minimasi total biaya dalam pemilihan rute kendaraan yang optimal. Dengan himpunan, parameter, dan variabel keputusan sebagaimana berikut ini.

Himpunan:

- N himpunan semua konsumen $N = \{1, \dots, n\}$
 M himpunan semua kandidat depot $M = \{n+1, \dots, n+m\}$
 Nd himpunan semua node, $Nd = \{1, \dots, n+m\}$
 V himpunan semua tipe kendaraan $V = \{1, \dots, v\}$

Parameter:

- F_v biaya *fixed* kendaraan tipe v , $\forall v \in V$
 Q_v kapasitas kendaraan tipe v , $\forall v \in V$
 q_i permintaan pada *node* i , $\forall i \in Nd$, dengan $q_i = 0$ untuk ($i = n+1, \dots, n+m$)
 a biaya variabel kendaraan
 D_{ij} jarak antara *node* i dan j , $\forall i, j \in Nd$
 Nv_v jumlah kendaraan tipe v , $\forall v \in V$

Variabel keputusan:

x_{ijvm} 1 jika rute (i, j) dilintasi kendaraan v yang berangkat dari depot m , 0 jika tidak.

Y_{ij} variabel kontinu non-negatif yang menotasikan total muatan yang ada pada kendaraan sebelum sampai pada *node* j selama melintasi busur (i, j) .

Formulasi MDHFVRP sebagaimana berikut ini.

$$\min \sum_{m \in M} \sum_{v \in V} F_v \sum_{i \in M} \sum_{j \in N} x_{ijvm} + \sum_{m \in M} \sum_{v \in V} \sum_{i \in Nd} \sum_{j \in Nd} a D_{ij} x_{ijvm} \quad (1)$$

Dengan fungsi pembatas:

$$\sum_{m \in M} \sum_{v \in V} \sum_{i \in Nd} x_{ijvm} = 1 \quad \forall j \in N \quad (2)$$

$$\sum_{m \in M} \sum_{v \in V} \sum_{j \in Nd} x_{ijvm} = 1 \quad \forall i \in N \quad (3)$$

$$\sum_{i \in Nd} x_{ikvm} = \sum_{j \in Nd} x_{kjvm} \quad \forall v \in V, \forall k \in N, \forall m \in M \quad (4)$$

$$\sum_{i \in M} \sum_{j \in N} Y_{ij} = \sum_{j \in N} q_j \quad (5)$$

$$\sum_{i \in Nd} Y_{ij} - \sum_{i \in Nd} Y_{ji} = q_j \quad \forall j \in N \quad (6)$$

$$Y_{ij} \leq \sum_{m \in M} \sum_{v \in V} Q_v x_{ijvm} \quad \forall i \in Nd, \forall j \in N \quad (7)$$

$$x_{mivm_1} = 0 \quad \forall i \in N, \forall v \in V, \forall m \in M, \forall m_1 \in M, m \neq m_1 \quad (8)$$

$$x_{imvm_1} = 0 \quad \forall i \in N, \forall v \in V, \forall m \in M, \forall m_1 \in M, m \neq m_1 \quad (9)$$

$$\sum_{m \in M} \sum_{i \in M} \sum_{j \in N} x_{ijvm} \leq Nv_v \quad \forall v \in V \quad (10)$$

$$x_{ijvm} \in \{0, 1\} \quad \forall (i, j) \in Nd, \forall v \in V, \forall m \in M \quad (11)$$

$$Y_{ij} \geq 0 \quad \forall (i, j) \in Nd \quad (12)$$

$$Y_{ij} \leq \sum_{m \in M} \sum_{v \in V} (Q_v - q_i) x_{ijvm} \quad \forall i \in Nd, \forall j \in N \quad (13)$$

$$Y_{ij} \geq \sum_{m \in M} \sum_{v \in V} q_j x_{ijvm} \quad \forall (i, j) \in N \quad (14)$$

$$Y_{ij} = 0 \quad \forall i \in N, \forall j \in M \quad (15)$$

$$Y_{ij} = 0 \quad \forall i \in M, \forall j \in M \quad (16)$$

$$Y_{ii} = 0 \quad \forall i \in N \quad (17)$$

$$x_{ijvm} = 0 \quad \forall (i, j) \in M, \forall v \in V, \forall m \in M \quad (18)$$

$$x_{iivm} = 0 \quad \forall i \in Nd, \forall v \in V, \forall m \in M \quad (19)$$

Persamaan (1) merupakan fungsi tujuan yang meminimalisasi total biaya yang terdiri dari beberapa ekspresi. Ekspresi pertama merupakan total biaya tetap moda transportasi pada rute. Ekspresi kedua merupakan total biaya transportasi antara gudang dengan pelanggan. Fungsi pembatas pada model ini terdiri atas dua bagian. Bagian pertama merupakan fungsi pembatas dari model terkait. Antara lain membatasi tiap pelanggan dikunjungi tepat sekali (2). Memastikan aliran kendaraan yang harus meninggalkan pelanggan setelah mengunjunginya (3) dan (4) memastikan suatu tipe kendaraan yang berangkat dari suatu gudang akan mengunjungi busur (i, j) . Total jumlah barang yang keluar dari seluruh depot sama dengan total jumlah permintaan pelanggan (5) sedangkan (6) memastikan jumlah barang yang sedang dimuat setelah mengunjungi pelanggan j adalah jumlah barang sebelum mengunjungi pelanggan ini dikurangi permintaan pelanggan ini. Tidak ada kelebihan muatan pada tiap kendaraan melebihi kapasitas maksimalnya (7). Persamaan (8) dan (9) memastikan kendaraan yang berangkat akan kembali ke depot yang sama. Persamaan (10) menunjukkan jumlah maksimal kendaraan tipe v yang digunakan. Persamaan (11) adalah keputusan biner untuk rute dan (12) sebagai pembatas untuk keputusan non-negatif. Bagian kedua adalah pembatas yang ditambahkan untuk mempersempit ruang lingkup pencarian dalam perhitungan. Muatan pada busur manapun tidak dapat melebihi muatan pada kendaraan yang melintasinya setelah mengantarkan permintaan pelanggan i pada busur (i, j) yang berasal dari depot manapun (13). Pembatas kecukupan jumlah muatan kendaraan saat ini untuk melayani *node* j saat menuju *node* j pada busur (i, j) (14). Persamaan (15) ditambahkan untuk memastikan bahwa semua kendaraan harus kosong saat menuju depot sedangkan (16) dan (17) mengharuskan ketiadaan muatan yang dibawa antardepot dan antara suatu titik pelanggan ke pelanggan itu sendiri. Persamaan (18) dan (19) mirip dengan pembatas sebelumnya yaitu tidak ada keputusan pembukaan rute yang ditempuh antardepot dan tidak ada rute dari suatu pelanggan ke pelanggan itu sendiri.

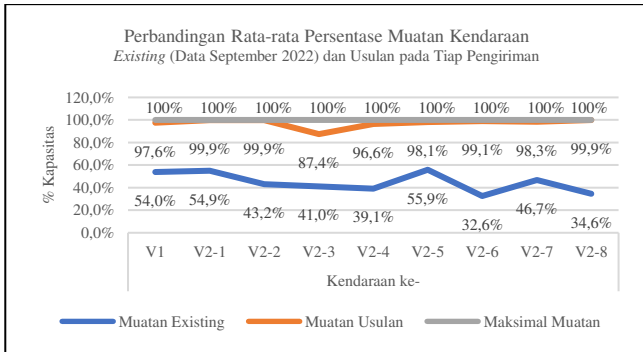
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan perhitungan VNS dengan model MILP pada aplikasi Gurobi dengan perangkat 16 *physical cores* dan 32 GB RAM, didapatkan hasil perhitungan berupa biaya transportasi dan menghasilkan usulan rute dengan muatan yang telah dimaksimalkan. Pada Gambar 7 terdapat

keputusan rute dan muatan yang dihasilkan dari perhitungan dari dua tipe kendaraan V1 dan V2 dan tiga titik depot.

Muatan Kendaraan pada Rute yang Dihaji																		
V1	Rute	G2	Q15	Q49	Q65	Q43	Q29	Q30	Q26	Q22	Q18	Q19	Q20	G2				
V1	Muatan (kg)	2879	2550	2549	2530	2526	2139	1973	1454	983	832	533	0	0				
V2	Rute	G2	Q10	Q62	Q52	Q51	Q50	Q34	G2									
V2	Muatan (kg)	3366	3222	2729	1730	830	781	0	0									
V2	Rute	G2	Q11	Q17	Q8	Q12	Q5	Q6	G2									
V2	Muatan (kg)	3365	2713	1848	1392	1087	785	0	0									
V2	Rute	G2	Q16	Q64	Q42	Q33	Q32	Q35	Q63	Q1	G2							
V2	Muatan (kg)	2947	2599	2284	2127	1731	1359	501	426	0	0							
V2	Rute	G1	Q2	Q57	Q45	Q14	G1											
V2	Muatan (kg)	3254	2782	1139	178	0	0											
V2	Rute	G1	Q23	Q41	Q40	Q55	Q67	Q68	Q54	Q38	Q66	Q37	Q61	Q36	Q48	Q47	Q53	G1
V2	Muatan (kg)	3305	3141	3139	2713	2575	2365	2342	2106	2082	2080	1659	1553	1327	1206	709	0	0
V2	Rute	G0	Q4	Q13	Q3	Q27	Q31	Q25	Q28	Q24	G0							
V2	Muatan (kg)	3340	3112	2673	2359	1533	998	757	494	0	0							
V2	Rute	G0	Q9	Q44	Q46	Q21	G0											
V2	Muatan (kg)	3313	2968	2273	465	0	0											
V2	Rute	G0	Q39	Q60	Q70	Q71	Q69	Q59	Q56	Q58	Q7	G0						
V2	Muatan (kg)	3367	3318	3310	3096	2317	1703	1058	1054	918	0	0						

GAMBAR 7 (Output Rute dan Muatan Kendaraan)



GAMBAR 8 (Perbandingan Rata-rata Persentase Muatan Kendaraan Existing dan Usulan pada Tiap Pengiriman)

Dari perhitungan menghasilkan usulan rute dengan memaksimalkan utilisasi kapasitas kendaraan. Dapat dilihat pada Gambar 8 persentase muatan dari yang semula pada rentang 32,6-55,9% diutilisasi secara maksimal sehingga dari hasil perhitungan persentase muatan kendaraan menjadi lebih tinggi dari 87,4-99,9%.

Dari rute yang dihasilkan ini juga dapat meminimasi biaya transportasi. Hasil perhitungan ini terpilih dua jenis kendaraan yaitu satu kendaraan tipe V1 dan delapan kendaraan tipe V2 yang membentuk rute tertentu bagi masing-masing kendaraan dengan memaksimalkan muatannya sehingga terdapat penghematan pada *fixed cost* sebesar 10,24%. Pada hasil usulan ini rute kendaraan telah terbentuk dengan pertimbangan kapasitas kendaraan yang dimaksimalkan sehingga menghasilkan biaya untuk rute yang lebih rendah dengan penghematan biaya hingga 73,54%. Dari kedua parameter biaya transportasi ini menghasilkan penghematan biaya total hingga 40,05%. Dapat dilihat pada Tabel 1 untuk biaya hasil perhitungan.

TABEL 1 (Perbandingan Biaya Transportasi Existing dan Usulan)

Biaya	Biaya Transportasi/Minggu		Penghematan Biaya (%)
	Existing	Usulan	
Fixed Cost	Rp14.129.171	Rp12.682.036	10,24%
Variable Cost	Rp12.573.334	Rp3.326.832	73,54%
Total	Rp26.702.506	Rp16.008.868	40,05%

Dari hasil perhitungan, biaya pengiriman dari seluruh rute sebesar Rp3.326.832,00/minggu atau 46,7% di bawah batas anggaran yang telah ditentukan yaitu Rp6.250.000,00/minggu. Selain itu di hasil rancangan diperoleh keputusan rute yang menggunakan 1 (satu) unit truk tipe L300 dan 8 (delapan) unit truk tipe FE 71. Ini menunjukkan bahwa hasil perhitungan solusi telah terverifikasi karena batas yang dimiliki oleh perusahaan adalah 1 (satu) unit truk tipe L300 dan 9 (sembilan) unit truk tipe FE 71 dengan total titik kunjung ke seluruh pelanggan yang dimiliki yaitu 71 pelanggan.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, penyelesaian MDHFVRP menggunakan *mixed integer linear programming* dapat memperoleh hasil usulan antara lain. Minimasi biaya transportasi diperoleh dengan memaksimalkan utilisasi kapasitas kendaraan sehingga membentuk sembilan rute dengan rincian tiga rute kendaraan tipe V2 yang berawal dan berakhir pada gudang CV XYZ, dua rute kendaraan tipe V2 pada gudang Toko 1, dan satu rute kendaraan tipe V1 dan dua rute kendaraan tipe V2 yang ketiganya berawal dan berakhir pada gudang Toko 2. Dengan rute pengiriman baru ini, maka CV XYZ tiap minggunya perlu mengeluarkan total biaya transportasi sebesar Rp16.008.868,00 atau menghemat 40,05% dari kondisi *existing*. Berdasarkan perbandingan jumlah muatan *existing* dengan hasil perhitungan usulan, didapatkan peningkatan jumlah muatan pada kendaraan dari yang awalnya berkisar antara 32,6%-55,9% kapasitas menjadi 87,4-99,9% kapasitas pada sembilan kendaraan terpilih.

REFERENSI

- [1] F. Hiola, "Analisa Kebutuhan Biaya Transportasi Material Semen, Studi Kasus : Transportasi Material Semen pada CV. Sumber Sentosa," pp. 10-21, 2017.
- [2] S. Salhi, A. Imran and N. A. Wassan, The Multi-depot Vehicle Routing Problem with Heterogeneous Vehicle Fleet: Formulation and a Variable Neighborhood Search Implementation, Elsevier Ltd., 2013.
- [3] M. E. Porter, The Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance, New York: Free Press, 1998.
- [4] S. Chopra and P. Meindl, Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation 6th Edition, United States of America: Pearson, 2016.
- [5] M. R. Czinkota and I. A. Ronkainen, International Marketing, Boston: Cengage Learning, 2012.
- [6] J. Heizer, C. Munson and B. Render, Operations Management: Sustainability and Supply Chain Management 12th Edition, Boston: Pearson Education, Inc., 2016.
- [7] G. Laporte, "The Vehicle Routing Problem: An Overview of Exact and Approximate Algorithms,"

- European Journal of Operational Research*, vol. 59, pp. 345-358, 1992.
- [8] I. T. Rini, Y. Palgunadi and B. Harjito, "Evaluation of Cost Structure and Impact of Parameters in Location Routing Problem with Time Windows," *Transportation Research Procedia*, vol. 12, pp. 213-226, 2016.
- [9] P. Toth and D. Vigo, *The Vehicle Routing Problem*, Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics, 2002.
- [10] Suprayogi, *Vehicle Routing Problem: Definition, Variants, and Application*, Bandung: Institut Teknologi Bandung, 2003.
- [11] S. Elatar, K. Abouelmehdi and M. E. Riffi, "The Vehicle Routing Problem in the Last Decade: Variants, Taxonomy and Metaheuristics," *Procedia Computer Science* 220, pp. 398-404, 2023.
- [12] F. D. Handayani, M. N. Ardiansyah and P. S. Mutaqqin, "Penjadwalan Kunjungan Salesman Divisi Kao Indonesia pada PT Kunci Sukses Abadi Menggunakan Integer Linear Programming untuk Meningkatkan Pencapaian Distribusi Produk," *e-Proceeding of Engineering : Vol 9*, p. 5181, 2022.
- [13] D. R. Anderson, D. J. Sweeney and T. A. Williams, *Quantitative Methods for Business*, Massachusetts: Cengage Learning, 2015.
- [14] A. Hutomo, A. Fitrananda, A. Marshadiany, G. Prikarti and E. Imah, "Implementasi Algoritma Integer Linear Programming untuk Sistem Informasi Penjadwalan Ruangan di Fakultas Ilmu Komputer Universitas Indonesia," *Jurnal Sistem Informasi*, vol. 7(1), pp. 25-33, 2012.