

Perancangan Sistem Rute Kendaraan VRP-MT Di PT.XYZ Outlet A Menggunakan *Nearest Neighbor Algorithm* Dan *Greedy-Based Load Balancing* Untuk Minimasi Biaya Transportasi

1st Luh Putri Kirana Maharani

Fakultas Rekayasa Industri

Universitas Telkom

Bandung, Indonesia

kiranamaha@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Iphov Kumala Sriwana

Fakultas Rekayasa Industri

Universitas Telkom

Bandung, Indonesia

iphovkumala@telkomuniversity.ac.id

3rd Ari Yanuar Ridwan

Fakultas Rekayasa Industri

Universitas Telkom

Bandung, Indonesia

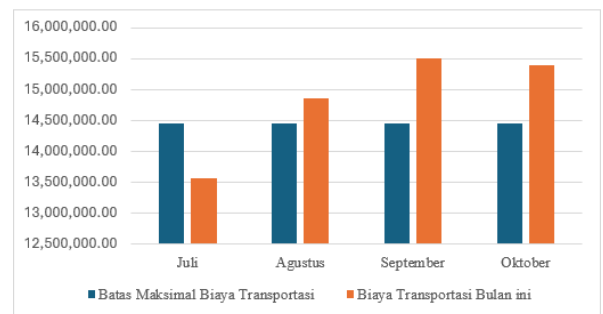
ariyanuar@telkomuniversity.ac.id

Transportasi memegang peranan krusial dalam sistem rantai pasok, khususnya pada tahap *last mile delivery* yang sering menjadi komponen biaya terbesar. Salah satu outlet PT.XYZ yang berlokasi di Baktisegara, Buleleng mengalami peningkatan biaya transportasi hingga melebihi budget perusahaan yakni > Rp 14.450.000 selama tiga bulan terakhir akibat rute yang belum terstandarisasi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem perutean yang lebih efisien guna menekan biaya transportasi. Permasalahan diklasifikasikan sebagai *Vehicle Routing Problem* dengan tipe *Multiple Trips*, serta diselesaikan menggunakan pendekatan *heuristic nearest neighbor* berbasis *Google Spreadsheet*. Selain itu, strategi *Greedy-Based Load Balancing* diterapkan untuk pembagian beban kerja antar kendaraan secara proporsional. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sistem perutean yang diusulkan mampu mengurangi jarak tempuh yang hingga 38,27% dan menurunkan biaya transportasi sebesar 9% atau sekitar Rp1.333.321,43. Temuan ini membuktikan bahwa penerapan metode VRP menggunakan pendekatan heuristik dapat meminimalkan biaya transportasi dalam proses distribusi *last mile delivery*.

Kata kunci: *Vehicle Routing Problem*, *last mile delivery*, *nearest neighbor*, *load balancing*, transportasi

I. PENDAHULUAN

Transportasi merupakan komponen vital dalam rantai pasok yang berperan penting dalam kegiatan ekonomi suatu negara [1]. Keberadaan sistem transportasi yang efektif dapat membantu negara mencapai pertumbuhan ekonomi yang lebih baik. Biaya transportasi memainkan peran penting dalam struktur pengeluaran logistik, terutama pada tahap akhir pengiriman atau *last mile delivery* [2]. Permasalahan tercermin pada operasional salah satu outlet milik PT. XYZ dengan kode A yang mengalami peningkatan biaya transportasi hingga lebih dari Rp 14.450.000,00 selama tiga bulan terakhir.

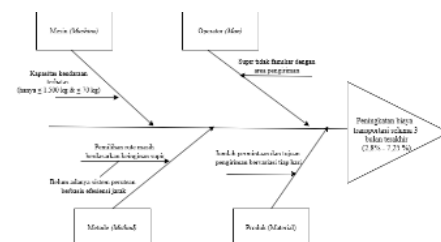


GAMBAR 1

Biaya Transportasi Outlet A (Juli - Oktober 2024)

(Sumber: Data Tertulis PT.XYZ 2024)

Berdasarkan Gambar 1.1 outlet A mengalami peningkatan biaya transportasi sejak Bulan Agustus hingga Oktober 2024, berdasarkan informasi yang diberikan outlet A bahwa biaya transportasi normal outlet berada direntang Rp 12.950.000 – Rp 14.450.000 per bulannya. Biaya ini termasuk gaji supir, bahan bakar, dan biaya pemeliharaan kendaraan. Namun, pada Bulan Agustus biaya transportasi meningkat mencapai Rp 14.854.600 (2,8%), Bulan September mengalami kenaikan menjadi Rp 15.496.125 (7,25%), dan Rp 15.393.585 (6,53%) di Bulan Oktober. Kenaikan ini disebabkan satunya ialah rute yang tidak terstandarisasi. Berdasarkan studi lapangan, diperoleh informasi bahwa supir cenderung memilih rute berdasarkan preferensi pribadi. Ditambah lagi keterbatasan kapasitas muat kendaraan yang mengharuskan kendaraan untuk kembali ke outlet A guna mengambil muatan baru (*reload*). Akar permasalahan yang dihadapi outlet A dijabarkan pada Gambar 1.2



GAMBAR 2

Fishbone Diagram

Permasalahan yang digambarkan pada Gambar 1.2 dianalisis sebagai berikut:

Permasalahan pengiriman mencakup metode, tenaga kerja, peralatan, dan variasi permintaan. Dari sisi metode, pemilihan rute masih berdasarkan keinginan supir menyebabkan keputusan pemilihan rute bersifat subjektif. Selain itu, ketiadaan sistem perutean mengakibatkan tidak efisiennya penentuan rute pengiriman setiap harinya. Tanpa mempertimbangan efisiensi jarak dan kapasitas kendaraan, dapat menyebabkan terjadi pemborosan biaya. Dari aspek tenaga kerja, tidak familiar dengan area pengiriman yang mengakibatkan pemilihan rute yang tidak selalu tepat sehingga berakibat pada tingginya konsumsi bahan bakar kendaraan. Sementara itu, kendaraan dengan kapasitas terbatas menyebabkan frekuensi pengiriman meningkat terutama disaat jumlah permintaan tinggi, hal ini berpengaruh terhadap peningkatan biaya transportasi. Terakhir, permintaan dan tujuan pengiriman yang bervariasi setiap hari menyulitkan perencanaan karena belum adanya sistem yang dapat menyesuaikan rute secara fleksibel.

Kondisi ini menunjukkan perlunya evaluasi ulang terkait rute pengiriman barang agar lebih efisien sehingga dapat menekan biaya transportasi. Salah satu pendekatan yang relevan untuk menjawab kebutuhan tersebut ialah penerapan metode *Vehicle Routing Problem* (VRP) yang telah terbukti dalam meningkatkan efisiensi rute pengiriman dan menurunkan biaya operasional [3].

II. KAJIAN TEORI

A. Manajemen Rantai Pasok

Rantai pasok merupakan kumpulan entitas yang berkolaborasi dalam memproduksi serta mengantarkan suatu barang sampai ke tangan konsumen. Berbagai entitas yang dimaksud meliputi pemasok bahan baku, fasilitas produksi, distributor, jaringan ritel, serta pihak ketiga seperti penyedia jasa logistik [4]. Dalam *supply chain* terdapat tiga buah aliran yang perlu dikelola, yakni aliran material, dana, serta informasi.

B. Biaya Transportasi

Biaya Transportasi merupakan salah satu komponen dengan porsi biaya terbesar dalam proses distribusi karena melibatkan berbagai aspek [5]. Salah satu biaya utama adalah bahan bakar, yang harganya cenderung fluktuatif. Pengeluaran lainnya meliputi biaya penggunaan infrastruktur seperti jalan tol dan terminal turut menjadi penyumbang tingginya biaya transportasi. Biaya tenaga kerja, seperti gaji sopir dan karyawan transportasi, juga melambung tinggi, tergantung pada tingkat keterampilan yang dibutuhkan. Lokasi dan jarak pengiriman turut menjadi penyumbang total biaya

C. *Vehicle Routing Problem* (VRP)

Menurut [6] *Vehicle Routing Problem* (VRP) merupakan suatu masalah dalam sistem distribusi yang bertujuan untuk menentukan rute pengiriman yang efisien menggunakan sejumlah armada dengan kapasitas tertentu, guna memenuhi permintaan pelanggan yang telah ditentukan lokasinya. Dalam merancang rute tersebut, perlu diperhatikan sejumlah kendala operasional, seperti upaya untuk meminimalkan total jarak tempuh dan waktu pengiriman, serta mempertimbangkan ketersediaan armada yang terbatas.

C. Algoritma *Nearest Neighbor*

Algoritma *nearest neighbor* adalah salah satu pendekatan heuristik yang paling sederhana dalam pemecahan masalah

rute. Prinsip kerjanya adalah dengan selalu memilih pelanggan terdekat dari lokasi saat ini untuk ditambahkan ke dalam rute. Proses ini berulang hingga semua pelanggan terkunjungi [7].

D. Load Balancing

Load balancing atau pemerataan beban merupakan elemen krusial dalam pengelolaan armada serta penyusunan rute kendaraan. Dengan membagi beban secara merata, potensi ketidakpuasan dari pengemudi dapat diminimalkan [8].

Adapun tujuan utama dari *load balancing* ialah:

- Meminimalkan selisih distribusi beban antar unit kendaraan
- Meningkatkan efisiensi pengiriman (biaya, waktu, kapasitas)
- Mencegah *overload* pada kendaraan tertentu
- Menekan jumlah perjalanan dengan muatan kosong

Adapun model matematis sederhana yang merupakan bentuk dasar dari tujuan pemerataan beban dalam VRP:

$$\text{Min } |B1 - B2| \quad (1-1)$$

Di mana:

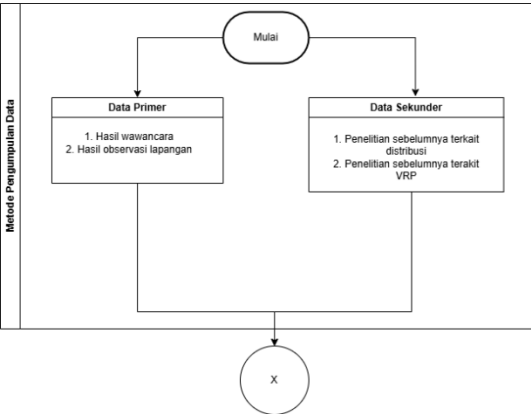
- $B1 - B2$ adalah total beban yang dialokasikan ke masing-masing kendaraan
- Fungsi $|B1 - B2|$ merepresentasikan selisih absolut antar beban kendaraan

III. METODE

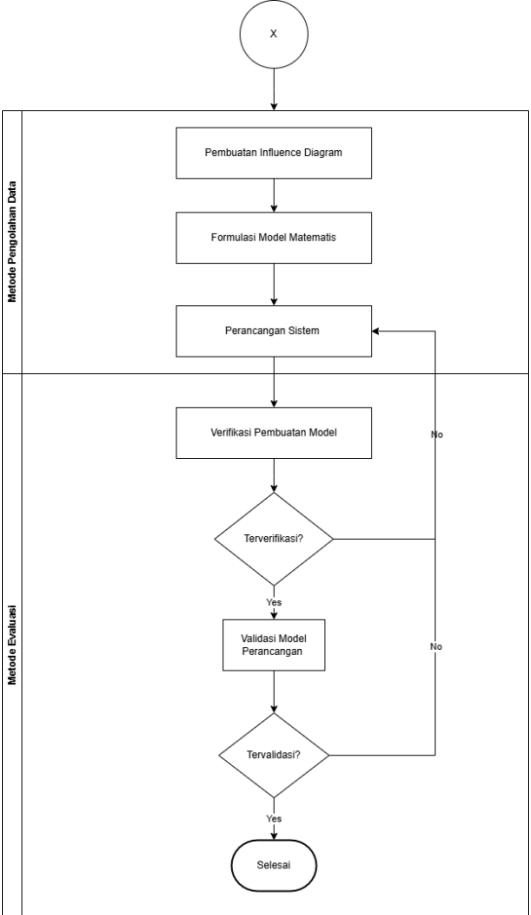
Permasalahan yang diangkat merupakan *Vehicle Routing Problem* (VRP) dengan tipe *Multi Trips*, dimana setiap kendaraan dapat melakukan pengiriman lebih dari satu kali. Pemilihan metode penyelesaian menggunakan pendekatan *heuristic nearest neighbor* didasarkan pada kebutuhan untuk menyelesaikan masalah secara cepat, selain itu algoritma ini juga mudah dipahami serta diimplementasikan karena hanya membutuhkan perhitungan jarak terdekat antar titik tanpa proses pemodelan yang rumit. Metode *nearest neighbor* telah digunakan oleh [3] untuk menyelesaikan masalah VRP dan terbukti efektif dalam menekan biaya transportasi.

Google spreadsheet merupakan aplikasi daring yang dimiliki oleh *google* yang memiliki fungsi serupa dengan *Microsoft Excel*, namun lebih baik dalam hal kolaborasi, aksesibilitas, serta otomatisasi [9]. Dalam konteks penelitian ini, penggunaan *spreadsheet* menjadi solusi yang praktis mengingat kebutuhan untuk memperbaharui data secara dinamis. Oleh karena itu, metode *nearest neighbor* yang sederhana namun adaptif menjadi pilihan yang paling sesuai untuk mencapai tujuan penelitian ini. Selain itu, kapasitas kendaraan yang terbatas membuat perlunya pembagian beban kerja yang lebih adil antar kendaraan agar dapat mengantarkan barang dengan efektif. Salah satu pendekatan yang digunakan adalah *load balancing* agar kapasitas armada dapat dimanfaatkan secara optimal serta menghindari beban berlebih pada kendaraan tertentu. Maka dari itu, diterapkan pendekatan *Greedy-Based Load Balancing* yang berfokus pada penyeimbangan beban antar kendaraan. Dimana pendekatan ini mengadopsi prinsip *greedy* yakni membagi permintaan pada wilayah yang memiliki jalur distribusi yang tumpang tindih. Strategi ini dilakukan dengan membagi permintaan secara proporsional sehingga beban kerja tiap kendaraan menjadi lebih merata.

Hasil dari beban kerja yang merata dilihat melalui selisih bobot permintaan antar kendaraan (1-1).



GAMBAR 3
Sistematika Penyelesaian Masalah

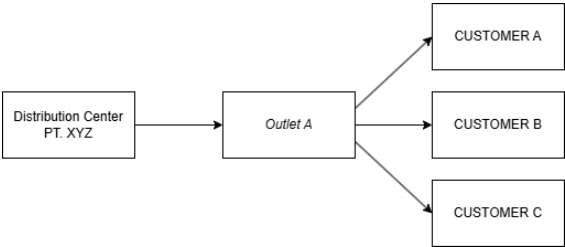


GAMBAR 4
Sistematika Penyelesaian Masalah (Lanjutan)

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengumpulan Data

Alur distribusi yang dimiliki oleh PT.XYZ outlet A dari *Distribution Center* hingga ke konsumen ditunjukkan sebagai berikut.



GAMBAR 5
Distribusi Incoming Goods

Gambar 4.1, diketahui bahwa *outlet A* perlu mendistribusikan barang yang telah diterima dari *Distribution Center* ke seluruh pelanggan yang berada di wilayah Kecamatan Buleleng, Bali. Pengiriman dilakukan menggunakan 2 jenis armada yang berbeda yakni 2 buah sepeda motor dengan kapasitas 70 Kg dan 1 buah mobil box dengan kapasitas 1.500 Kg.

TABEL 1
Jumlah dan Kapasitas Kendaraan

Jenis Armada	Kapasitas	Jumlah
Daihatsu Gran Max Pick Up AC PS 1.5 STD	1.500 Kg	1
Honda Vario 150 Tahun 2021	70 Kg	1
Honda Scoopy Sporty Tahun 2023	70 Kg	1

Berdasarkan Tabel 4.2 ditunjukkan bahwa bobot maksimal yang dimiliki oleh masing-masing kendaraan ialah 1.500 Kg dan 70 Kg.

TABEL 2
Biaya Depresiasi Kendaraan

Jenis Kendaraan	Investasi (Rp)	Usia Pakai (Tahun)	Pemakaian dalam 1 Tahun	Total Pemakaian (Hari)	Nilai Depresiasi/Hari
Daihatsu Gran Max Pick Up AC PS 1.5 STD	Rp180,900,000	12	365	4380	Rp41,301
Honda Vario 150 Tahun 2021	Rp18,500,000	10	365	3650	Rp5,068
Honda Scoopy Sporty Tahun 2023	Rp21,200,000	10	365	3650	Rp5,808

Tabel 4.3 menunjukkan biaya depresiasi yang dialami kendaraan di outlet A. Disisilain, Tabel 4.4 menunjukkan biaya pemeliharaan untuk masing-masing kendaraan yang dikeluarkan setiap 6 bulan sekali yang diubah kedalam bentuk harian.

TABEL 3
Biaya Pemeliharaan Kendaraan

Jenis Kendaraan	Oli/6 Bulan	Oli/Bulan	Oli/Hari
Daihatsu Gran Max Pick Up AC PS 1.5 STD	Rp500,000	Rp83,333	Rp2,778
Honda Vario 150 Tahun 2021	Rp120,000	Rp20,000	Rp667
Honda Scoopy Sporty Tahun 2023	Rp120,000	Rp20,000	Rp667

Tabel 4.4 menunjukkan gaji yang diperoleh supir perbulan yang dikonversikan dalam bentuk harian. Jumlah ini diperoleh melalui wawancara langsung terhadap pemilik *outlet A*.

TABEL 4
Gaji Pengemudi

Pengemudi		
Gaji	Rp 3,000,000	Perbulan
	Rp 100,000	Perhari

Tabel 4.5 menunjukkan gaji yang diperoleh supir perbulan yang dikonversikan dalam bentuk harian. Jumlah ini diperoleh melalui wawancara langsung terhadap pemilik *outlet A*.

TABEL 5
Biaya Tetap

BIAYA TETAP		
Jenis Kendaraan	Biaya Tetap/ Bulan	Biaya Tetap/ Hari
Daihatsu Gran Max Pick Up AC PS 1.5 STD	Rp4,322.374	Rp144.079
Honda Vario 150 Tahun 2021	Rp3,172.055	Rp105,735
Honda Scoopy Sporty Tahun 2023	Rp3,194.247	Rp106.475

Tabel 4.6 memaparkan lebih lanjut terkait dengan biaya tetap yang dikeluarkan oleh perusahaan untuk masing-masing kendaraannya. Biaya ini meliputi penjumlahan dari biaya depresiasi kendaraan, biaya pemeliharaan kendaraan, dan gaji pengemudi. Dijelaskan bahwa biaya tetap untuk kendaraan Daihatsu Gran Max ialah sebesar Rp 4.322.374/bulan, sedangkan untuk kendaraan Honda Vario 150 Tahun 2021 ialah Rp 3.172.055/bulan dan Honda Scoopy Tahun 2023 adalah Rp3.194.247/bulan.

TABEL 6
Biaya Konsumsi BBM

Jenis Kendaraan	Jarak Tempuh (Km/L)	Konsumsi BBM (L/Km)	Harga BBM	Biaya BBM/Km
Daihatsu Gran Max Pick Up AC PS 1.5 STD	10.5	0.095	Rp10,000	Rp952
Honda Vario 150 Tahun 2021	40	0.025	Rp10,000	Rp250
Honda Scoopy Sportv Tahun 2023	40	0.025	Rp10,000	Rp250

Berdasarkan Tabel 4.6 diketahui bahwa biaya variabel untuk kendaraan Daihatsu Gran Max ialah Rp 952/Km, sedangkan untuk dua kendaraan motor menghabiskan sebesar Rp 250/Km.

Cakupan wilayah pengiriman paket yang dilakukan *outlet A* adalah seluruh wilayah di Kecamatan Buleleng yang mencakup 29 desa atau kelurahan yakni Alasangker, Anturan, Astina, Banjar Bali, Banjar Jawa, Banjar Tegal, Banyuasari, Banyuning, Beratan, Bhakti Seraga, Jinengdalem, Kalibukbuk, Kaliuntu, Kampung Anyar, Kampung Baru, Kampung Bugis, Kampung Kajanan, Kampung Singaraja, Kendran, Liligundi, Naga Sepaha, Paket Agung, Pamaron, Penarukan, Penglatan, Petandakan, Poh Bengong, Sarimekar, dan Tukadmungga. Perhitungan jarak antar konsumen dilakukan dengan menggunakan data jarak yang diperoleh dari *Google Maps*, dengan rincian sebagai berikut.

[illegible]

	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0.42	0.22	2.91	2.08	9.82	4.67	4.38	2.74	2.59	2.90
1.95	1.77	16.8	15.77	8.81	15.85	16.86	12.73	8.34	5.87
1.22	1.29	0.86	5.12	18.71	7.12	7.62	7.22	6.44	6.88
0.53	0.13	-1.73	1.2	2.96	1.01	1.61	1.70	0.77	1.41
0.14	0.24	0.94	2.41	2.42	1.12	0.92	2.49	1.5	2.2
0.47	0.88	1.38	2.78	3.87	1.46	1.94	2.81	1.79	1.77
0.9	0.26	0.11	2.19	4.12	2.39	2.55	2.65	1.27	1.62
1.50	7.01	-1.68	1.33	4.83	2.31	2.91	5.58	2.46	2.8
4.92	12.06	4.52	2.99	2.15	4.48	4.54	2.98	2.99	2.99
8.47	8.6	3.48	5.30	4.07	3.64	3.33	2.67	1.76	2.73
0.92	2.48	0.93	2.69	4.92	3.98	3.23	2.46	2.98	2.98
0.0009	11.46	-1.44	-0.01	4.70	6.76	6.77	8.64	6.43	4.18
12.46	0.0009	0.96	1.12	11.03	0.12	0.42	6.48	-1.79	0.2
7.8	8.68	0.0009	1.13	3.10	1.68	1.83	4.13	2.52	3.74
0.86	0.82	0.82	0.0009	2.21	0.12	0.12	1.51	2.51	2.78
7.15	11.13	0.13	3.1	0.0009	2.66	2.96	3.14	4.96	3.13
0.84	0.40	-1.18	0.05	2.16	0.0009	0.48	2.08	1.93	2.1
6.53	0.47	1.17	0.61	3.16	0.85	0.0009	3.67	1.50	1.65
0.84	0.57	1.87	2.7	4.15	2.71	2.41	0.0009	1.83	2.01
0.84	0.50	1.87	1.87	3.16	1.87	1.90	0.0009	1.83	2.01
0.16	0.39	-2.14	2.61	2.71	2.72	2.52	0.81	1.46	0.0009
8.90	17.48	7.73	8.6	6.46	7.61	7.31	3.8	8.74	1.71
2.91	2.14	2.09	2.17	2.17	2.20	2.26	2.02	1	1.46
0.77	1.08	0.7	4.38	4.38	4.37	4.37	4.37	3.71	1.46
0.0009	12.99	9.49	4.27	2.94	2.61	2.52	5.83	4.5	4.44
3	15.74	4.34	5.82	2.68	4.4	4.4	5.8	2.78	3.2
4.19	12.15	6.79	6.29	4.71	7.09	7.09	5.67	9.22	3.87
0.14	15.17	4.34	5.82	2.71	4.4	4.4	5.8	2.78	3.2
9.12	11.12	6.1	5.67	6.72	9.29	9.90	2.49	4.41	2.39
12.13	3.04	8.48	6.71	6.72	6.71	6.51	5.33	5.54	5.50

21	22	23	24	25	26	27	28	29
7.26	7.61	1.15	7.49	5.16	7.53	11.14	5.02	3
9.42	9.43	13.29	7.29	6.37	1.64	2.75	12.83	14.94
11.78	6.4	2.73	10.08	9.32	11.87	15.03	9.81	1.68
5.7	0.99	4.93	4.62	2.91	0.95	0.27	4.77	6.52
6.05	1.75	6.04	4.38	3.41	5.85	0.66	5.16	8.73
6.41	1.69	4.01	4.72	7.27	5.77	0.90	5.09	6.57
5.57	1.19	2.73	5.17	4.16	4.61	0.81	4.4	4.57
1.90	2.49	3.57	5.57	4.04	0.99	10.1	9.09	4.51
3.14	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14
7.88	0.76	4.62	5.14	7.77	1.97	9.23	2.69	4.67
7.58	7.66	1.77	7.82	6.51	7.66	11.17	9.56	3.64
5.90	5.71	9.72	2.69	3	4.19	7.54	9.12	11.22
13.13	7.75	4.08	11.98	10.77	13.17	16.38	11.16	3.03
0.07	2.29	4.01	4.04	5.07	7.49	10.42	6.77	5.56
7.08	7.36	4.58	7.16	3.88	6.37	0.84	5.75	8.37
6.49	2.32	0.90	2.62	2.55	4.7	7.71	6.72	0.52
6.95	7.25	5.73	7.11	3.5	6.35	0.56	5.65	5.07
0.90	2.24	5.22	4.11	2.38	0.79	9.52	6.96	1.90
3.16	5.23	4.5	5.81	3.5	6.87	0.46	7.58	6.38
5.72	0.99	7.77	4.19	2.10	5.22	0.44	7.95	5.54
4.74	2.48	4.11	5.43	3.47	5.87	0.87	3.05	6.06
99999	4.74	0.4	0.74	6.17	1.19	9.01	2.14	10.25
4.74	090909	3.67	4.68	2.97	5.47	8.53	5.41	8.51
9.05	2.67	99999	5.77	6.04	9.09	12.29	7.07	1.95
8.15	5	8.66	090909	7.77	6.37	5.50	8.41	0.50
6.07	2.57	6.04	2.19	99999	4.26	0.4	7.0	0.49
5.42	5.42	5.35	4.34	990909	7.72	3.5	10.53	10.14
9.01	12.67	12.29	5.10	6.4	7.22	99999	12.04	14.14
2.14	3.41	7.07	8.39	6.38	3	12.74	090909	8.37
10.00	5.1	1.87	8.47	9.09	11.54	19.25	8.91	99999

GAMBAR 6
Matriks Jarak

Berdasarkan masalah yang terjadi di PT.XYZ outlet A, dapat dikategorikan ke dalam *Heterogenous Fleet Vehicle Routing Problem with Multiple Trips* dimana kendaraan perlu kembali ke *outlet* untuk melakukan *reload* barang. Permasalahan yang terjadi pada *outlet* A dirumsukan ke dalam model matematis dengan fungsi tujuan untuk meminimasi jarak sehingga dapat meminimasi biaya transportasi, Perumusan model matematis merujuk pada model yang digunakan oleh [10].

Himpunan dan Indeks:

$i, j = 0, 1, \dots, N$ = jumlah konsumen (indeks 1 sampai N), outlet indeks 0
 $k=1, 2, \dots, K$ = jumlah kendaraan
 $m = 1, 2, \dots, M$ = indeks trip (jumlah trip per kendaraan)
 Parameter
 d_{ij} = jarak antara wilayah i dan j
 q_i = permintaan konsumen i
 Q_k = kapasitas kendaraan k (berbeda untuk tiap jenis kendaraan)

M = jumlah trip yang dipertimbangkan (fleksibel, tidak membatasi operasional)

Variabel Keputusan:

$x_{ij}^{k,m} \in \{0,1\}$: 1 jika kendaraan (k) melakukan perjalanan dari i ke j pada trip ke m , 0 jika tidak.

$z_{ik}^m \geq 0$: jumlah permintaan konsumen i yang dipenuhi oleh kendaraan k pada trip ke- m

$\delta_{k,m} \in \{0,1\}$: indikator apakah trip ke- m kendaraan k aktif (1) atau tidak (0)

Fungsi objektif:

$$\min = \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N d_{ij} \cdot x_{ij}^{k,m} \quad (4-1)$$

Minimasi total jarak tempuh seluruh kendaraan dan seluruh trip

Constraint:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M z_{ik}^m = q_i \quad \forall i = 1, \dots, N \quad (4-2)$$

$$\sum_{i=1}^N z_{ik}^m \leq Q_k \cdot \delta_{k,m}, \quad \forall k = 1, \dots, K; \quad \forall m = 1, \dots, M \quad (4-3)$$

$$\sum_{j=1}^N x_{0j}^{k,m} = \delta_{k,m}, \quad \forall k, m \quad (4-4)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{i0}^{k,m} = \delta_{k,m}, \quad \forall k, m \quad (4-5)$$

$$\sum_{j=0}^N x_{ij}^{k,m} = \sum_{j=0}^N x_{ji}^{k,m}, \quad \forall i = 1, \dots, N; \quad \forall k, m \quad (4-6)$$

$$z_{ik}^m \leq q_i \cdot \sum_{j=0}^N x_{ji}^{k,m}, \quad \forall i, k, m \quad (4-7)$$

$$x_{ij}^{k,m} \leq \delta_{k,m}, \quad \forall i, j, k, m \quad (4-8)$$

Permintaan konsumen terpenuhi (4-2). Kapasitas kendaraan per trip (4-3). Kondisi rute per trip yakni mulai dan berakhir di *outlet* (4-4) (4-5). *Flow conservation* per trip yakni setiap lokasi yang dikunjungi kendaraan harus dimasukkan dan ditinggalkan (4-6). Hubungan antara pelayanan dan rute (4-7) dan aktivasi trip (4-8).

Pada penelitian ini, *load balancing* berfungsi sebagai mekanisme tambahan untuk menjaga distribusi beban antar kendaraan agar lebih seimbang. Meskipun bukan tujuan utama, fungsi ini penting dilakukan untuk mendukung kinerja sistem secara keseluruhan. Hal ini sesuai dengan tujuan penyelesaian *Vehicle Routing Problem* (VRP) menurut [11] dimana keseimbangan beban kerja antar kendaraan merupakan aspek krusial yang perlu dipertimbangkan untuk meningkatkan efisiensi operasional serta menghindari ketimpangan distribusi antar armada.

Formulasi pembagian beban ini adalah:

$$y_{ik1} = \left\lfloor \frac{d_i}{2} \right\rfloor, y_{ik2} = d_i y_{ik1} \quad (4-9)$$

Di mana:

y_{ik1} dan y_{ik2} adalah beban yang dialokasikan ke kendaraan 1 dan 2 pada wilayah i

d_i adalah total permintaan di wilayah i

Pengembangan utama model ini adalah penambahan aturan pembagian beban diskrit yang bersifat *greedy-based*, yaitu apabila dua kendaraan (roda dua) melewati wilayah yang sama. Hasil *load balancing* kemudian dianalisis berdasarkan selisih total permintaan antar kendaraan (1-1).

B. Hasil Penelitian

TABEL 7

Hasil Pengurangan Jarak

Kendaraan	Jarak Tempuh (Km)		Persentase Pengurangan Jarak Tempuh (%)
	Eksisting	Usulan	
Daihatsu Gran Max Pick Up AC PS 1.5 STD	96.26	59.42	38.27
Honda Vario 150 Tahun 2021	75.01	54.52	27.32
Honda Scoopy Sporty Tahun 2023	75.76	58.81	22.37

Pada kendaraan jenis Daihatsu Gran Max *Pick Up*, rata-rata pengurangan jarak tempuh mencapai 38,27%. Selanjutnya, kendaraan jenis Honda Scoopy *Sporty* Tahun 2023 menunjukkan penurunan sebesar 27,32%, sedangkan kendaraan jenis Honda Vario 150 Tahun 2021 mengalami pengurangan tertinggi yaitu sebesar 22,37%. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa metode perutean yang digunakan berhasil meningkatkan efisiensi operasional pada ketiga jenis kendaraan.

TABEL 8

Persentase Penurunan Biaya Transportasi

Kendaraan	Total Biaya Transportasi		Persentase Pengurangan Total Biaya (%)
	Eksisting	Usulan	
Daihatsu Gran Max Pick Up AC PS 1.5 STD	Rp7,072,755.38	Rp6,020,184	14.88
Honda Vario 150 Tahun 2021	Rp3,734,604.79	Rp3,580,930	4.11
Honda Scoopy Sporty Tahun 2023	Rp3,762,421.58	Rp3,635,347	3.38
Total Biaya Transportasi/Bulan	Rp14,569,781.75	Rp13,236,460	9

Tabel 4.8 menunjukkan perbandingan total biaya tetap antara skema eksisting dan usulan untuk tiga jenis kendaraan. biaya transportasi mengalami penurunan sebesar 9% atau Rp1.333.321,43/bulan dari Rp14.569.781,75 menjadi Rp13.236.460.

TABEL 9

Selisih Kapasitas Kendaraan

Usulan	Tanggal	Selisih Eksisting (%)	Selisih Usulan (%)
	02/04/2025	14.65	2.55
	03/04/2025	12.31	13.08
	04/04/2025	3.53	2.75
Persentase Rata-rata		10.16	6.12

Tabel 4.9 menunjukkan bahwa selisih bobot permintaan (*demand*) antar kendaraan motor 1 dan motor 2 mengalami penurunan dari rata-rata 10,16% pada kondisi eksisting menjadi 6,12 % setelah penerapan sistem usulan. Penurunan ini terjadi karena penerapan *Greedy-Based Load Balancing* yang berfokus pada penyeimbangan bobot khususnya ketika kedua kendaraan melewati wilayah yang sama. Dalam hal ini, *Greedy-Based Load Balancing* bekerja dengan cara membagi bobot *demand* secara lebih proporsional di antara kedua kendaraan tersebut. Dengan demikian, distribusi barang menjadi lebih merata, dan masing-masing kendaraan dapat beroperasi secara lebih efisien, baik dari segi kapasitas angkut maupun pemerataan beban kerja.

V. KESIMPULAN

Perbandingan antara rute eksisting dan rute hasil sistem perutean berbasis *spreadsheet* menunjukkan adanya peningkatan efisiensi jarak tempuh untuk setiap armada. Kendaraan Daihatsu Gran Max *Pick Up* mengalami pengurangan jarak tempuh sebesar 38,27%, sedangkan kendaraan roda dua seperti Honda Scoopy *Sporty* dan Honda Vario 150 masing-masing mengalami pengurangan jarak tempuh sebesar 22,37% dan 27,32%. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem perutean yang diusulkan mampu menghasilkan rute pengiriman yang lebih efisien, sehingga jarak tempuh menjadi lebih pendek. Efisiensi jarak ini turut berdampak pada penurunan penggunaan bahan bakar sehingga dapat mendukung pengurangan biaya transportasi *outlet A*.

Solusi yang diusulkan juga menghasilkan penurunan biaya transportasi pada seluruh jenis kendaraan yang dianalisis.

Berdasarkan data, kendaraan Daihatsu Gran Max *Pick Up* AC PS 1.5 STD menunjukkan penurunan biaya tertinggi, yaitu sebesar 14,88%, dari Rp7.072.755,38 menjadi Rp6.020.184. Sementara itu, pada kendaraan roda dua, yaitu Honda Vario 150 Tahun 2021 dan Honda Scoopy *Sporty* Tahun 2023, masing-masing tercatat mengalami pengurangan biaya sebesar 4,11% dari Rp3.734.604,79 menjadi Rp3.590.930 dan 3,38% dari Rp 3.762.421,58 menjadi Rp3.635,347. Dengan kata lain, sistem ini mampu menghasilkan total penghematan biaya transportasi sebesar 9% dari total Rp14.569.781,75/bulan menjadi Rp13.236.460/bulan atau hemat sebesar Rp1.333.321,43/bulan.

REFERENSI

- [1] A. Soekirman, "Meningkatkan Efisiensi Rantai Pasok melalui Penyedia Logistik, Transportasi Intermoda, Teknologi Informasi, dan Regulasi Pemerintah," *Ranah Research Journal*, vol. 6, pp. 476-483, 2024.
- [2] S. Santoso, R.Nurhidayat, G. Mahfud and A. M. Arijuddin, "Measuring the Total Logistics Costs at the Macro Level: A Study of Indonesia," *Logistic MPDI*, vol. 5, no. 4, pp. 1-19, 2021.
- [3] A. P. Abdi, "Penentuan Rute Pengiriman Produk Dengan Meminimalkan Biaya Transportasi Menggunakan Metode Saving Matrik Dan Nearest Neighbour DI Pt. Aisyah Berkah Utama," *Jurnal Sains dan Teknologi: Jurnal Keilmuan dan Aplikasi Teknologi Industri*, pp. 130-145, 2022.
- [4] I. N. Pujawan, *Ekonomi Teknik*, Surabaya: Guna Widya, 2009.
- [5] O. T. M. A. S. R. F. Amir Izadi, "Cost Models and Cost Factors of Road Freight Transportation: A Literature Review and Model Structure," *European Transport Research Review*, pp. 257-278, 2020.
- [6] R. Yuniarti and M. Astuti, "Penerapan Metode Saving Matrix Dalam Penjadwalan Dan Penentuan Rute Distribusi Premium Di SPBU Kota Malang," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 4, pp. 17-26, 2013.
- [7] Hutasoit, S. Susanty and Imran, "Penentuan Rute Distribusi Es Balok Menggunakan Algoritma Nearest Neighbour dan Local Search (Studi Kasus di PT X)," *Reka Integra*, pp. 268-276, 2014.
- [8] Nughroho, D.P, "Optimasi Solusi Permasalahan Rute Kendaraan dengan Pemerataan Beban Menggunakan Genetic Algorithm," *Jurnal Teknik Informatika*, pp. 1-10, 2015.
- [9] Ardiansyah, M. N., *Sistem Informasi & Aplikasi Berbasis Google Spreadsheet*, Bandung: Tel-U Press, 2023, pp. 6-7.
- [10] F. Setiawan and dkk, "On Modelling and Solving Heterogeneous Vehicle Routing Problem," *Jurnal Teknik Industr*, pp. 91-102, 2019.
- [11] P. Toth and D. Vigo, *The Vehicle Routing Problem*, Philadelphia, Pennsylvania, USA: Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM), 2002, p. 487.
- [12] G. Ghiani, G. Laporte and R. Musmanno, *Introduction to Logistics Systems Management*, 2nd ed ed., Wiley, 2013, pp. 359-432.
- [13] A. P. A. Wijharnasir, "Greedy Approach for Solving Capacitated Vehicle Routing Problem of LNG Distribution to Power Plants," *Jurnal Teknik ITS*, pp. 25-26, 2018.