

Penentuan Rute Distribusi Pupuk Dolomite Guna Meminimasi Biaya Transportasi Dengan Menggunakan Metode *Capacitated Vehicle Routing Problem With Time Windows* (CVRPTW) Pada PT XYZ

Fifa Marisa Irwayu¹⁾, Putu Eka Dewi Karunia Wati²⁾

¹⁾Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, Jl. Semolowaru 45, Surabaya 60118, Jawa Timur, Indonesia.

Email: 1411900166@surel.untag-sby.ac.id, Putu_ekadkw@untag-sby.ac.id

ABSTRAK

PT XYZ adalah salah satu perusahaan di bidang manufaktur yang menghasilkan produk berupa pupuk dolomite. Perusahaan ini berkomitmen untuk menjadi *supplier* pupuk bagi *customer* tetap. Saat ini, perusahaan memiliki 12 *customer* yang tersebar di seluruh wilayah dengan total permintaan yang bervariasi. Proses pendistribusian dilakukan selama 6 hari dalam seminggu dengan bantuan 5 unit armada. Penerapan sistem pendistribusian yang diterapkan oleh perusahaan ini belum optimal dikarenakan masih terdapat rute eksklusif yang menyebabkan jalur pengiriman yang ditempuh semakin panjang sehingga biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan semakin mahal. Kondisi tersebut disebabkan karena dalam melakukan pengiriman perusahaan memprioritaskan pada ketepatan waktu tanpa memanfaatkan adanya rentang waktu pelayanan yang disediakan sehingga kapasitas armada yang digunakan untuk melakukan pengiriman masih belum dioptimalkan. Dengan demikian, dibutuhkan metode penentuan rute guna meminimasi biaya transportasi. Metode CVRPTW dengan pendekatan MILP (*Mixed Integer Linear Programming*) menggunakan bantuan *software* lingo merupakan metode yang tepat untuk menyelesaikan persoalan ini. Hasil pengolahan data menggunakan *software* didapatkan rute usulan dengan penghematan pada jarak tempuh, waktu tempuh, dan biaya transportasi. Jarak tempuh mengalami penurunan sebesar 340 km, waktu tempuh mengalami penurunan sebesar 261 menit, dan total biaya transportasi dapat dihemat sebesar Rp 824.107 atau 13,59%.

Kata Kunci: Biaya, CVRPTW, Pendistribusian, Penghematan, Pupuk Dolomite, Rute.

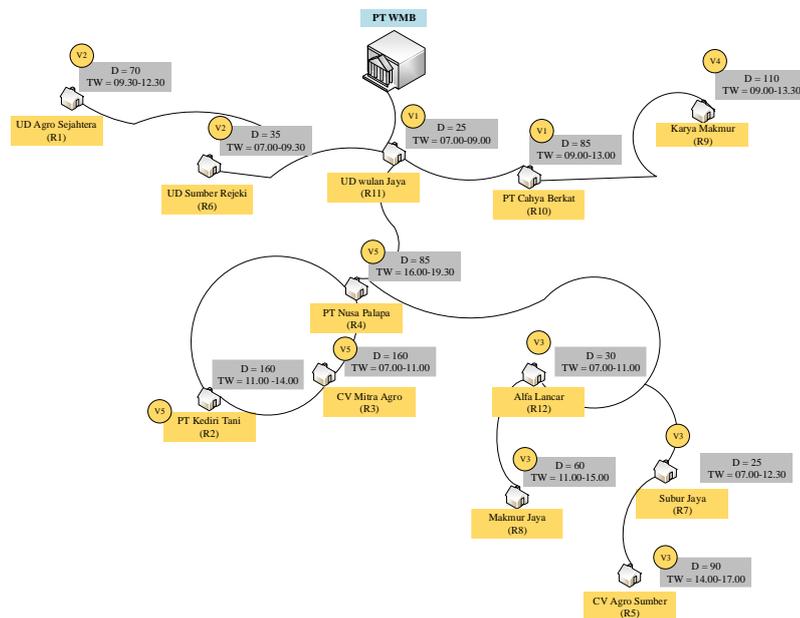
1. Pendahuluan

PT XYZ merupakan industri manufaktur penghasil produk berupa pupuk dolomite. Perusahaan ini berusaha untuk memberikan pelayanan yang terbaik kepada pelanggan. Proses distribusi menjadi salah satu aspek penting bagi perusahaan dalam memberikan layanan terbaik bagi pelanggan. Distribusi yang dilakukan secara langsung dapat mempengaruhi biaya dari *supplier* serta pengiriman produk. Ketepatan jaringan distribusi berguna untuk menggapai berbagai macam tujuan dari rantai pasokan seperti biaya rendah sampai respon tinggi akan permintaan agen (Chopra, 2007). Saluran atau jaringan distribusi diartikan sebagai perantara guna memindahkan produk dari produsen ke *customer* (Suwarlandono, 2022).

PT XYZ memiliki 12 pelanggan tetap yang tersebar di berbagai wilayah meliputi: Malang, Kediri, Jombang, Sidoarjo, Madura, Surabaya, Gresik, Lamongan dan Tuban. Perusahaan sebagai pihak distributor tentunya diharuskan untuk tetap mempertahankan kualitas pengiriman guna mempertahankan pelanggan serta penjualan. Alokasi pengiriman kepada pelanggan dengan menggunakan bantuan armada diharapkan mampu memberikan efisiensi

terhadap biaya. Hal ini perlu dilakukan agar kinerja dari perusahaan dapat ditingkatkan sehingga profit yang akan didapatkan semakin meningkat.

Sistem pengiriman yang saat ini diterapkan oleh perusahaan masih belum efektif karena adanya rute eksklusif yang menyebabkan jalur tempuh armada semakin panjang. Semakin panjang jarak yang ditempuh akan berpengaruh pada lamanya waktu tempuh armada menuju ke lokasi pelanggan serta meningkatnya utilitas dari armada yang digunakan untuk melakukan pengiriman produk kepada pelanggan. Kondisi itu menyebabkan biaya yang harus dikeluarkan oleh perusahaan untuk melakukan pengiriman produk kepada pelanggan juga semakin membengkak. Dengan demikian, penentuan rute distribusi yang optimal diperlukan guna meminimalkan biaya transportasi yang dikeluarkan oleh perusahaan. Rute *existing* yang ditempuh oleh perusahaan seperti pada gambar berikut:



Gambar 1. Rute *existing* PT XYZ

Gambar 1 diatas memberikan gambaran mengenai rute awal yang diterapkan oleh perusahaan dalam melakukan pengiriman pupuk dolomite kepada pelanggan. Berbagai simbol yang terdapat pada gambar tersebut diantaranya yaitu D, TW, V. D melambangkan *demand* pelanggan, TW melambangkan *time windows* (batas pelayanan yang diijinkan oleh pelanggan, sedangkan V melambangkan kendaraan.

Berdasarkan uraian diatas dapat diketahui bahwa masih banyak rute eksklusif yang menyebabkan armada harus bolak-balik ke perusahaan untuk melakukan pengambilan produk yang akan dikirim ke pelanggan selanjutnya. Rute eksklusif tersebut menyebabkan armada harus menempuh jarak yang panjang dan juga waktu tempuh yang lama. Pada rute awal perusahaan, jarak tempuh yang harus dilewati yakni sebesar 1.771,6 km dengan waktu tempuh sebesar 2.125,92 menit. Kondisi tersebut disebabkan karena pengambilan keputusan pada aspek pengiriman yang kurang tepat. Perusahaan hanya menginginkan agar pelanggan dapat terlayani secara tepat waktu tanpa memperhatikan adanya sisa waktu pelayanan yang ditetapkan oleh pelanggan serta kapasitas dari armada yang belum dioptimalkan. Oleh karena itu, perusahaan harus mengeluarkan biaya yang mahal untuk melakukan pendistribusian produknya ke pelanggan.

Biaya transportasi terbagi dalam 2 macam yaitu biaya tetap serta biaya marginal. Biaya tetap muncul apabila pengiriman tanpa dipengaruhi oleh jumlah dan jarak perjalanan, dan jenis barang yang dikirim. Sedangkan biaya variabel bergantung pada jarak yang ditempuh (Martono, 2018). Pada penelitian ini biaya transportasi yang dikeluarkan perusahaan tersusun dari beberapa biaya tetap dan biaya variabel antara lain: biaya bahan bakar, biaya e-toll, biaya uang makan, biaya upah/gaji, serta biaya perawatan. Berikut ini merupakan besarnya biaya transportasi awal yang harus dikeluarkan oleh perusahaan XYZ.

Tabel 1. Biaya transportasi rute awal PT XYZ

Keterangan	Biaya transportasi/hari
Biaya bahan bakar	Rp 3.293.337
Biaya e-toll	Rp700.000
Biaya uang makan supir + kuli	Rp325.000
Biaya upah supir + kuli	Rp1.250.000
Biaya perawatan	Rp 495.845,37
Total biaya transportasi/hari	Rp 6.064.183

Metode yang biasa digunakan dalam optimasi pengiriman adalah *Vehicle Routing Problem* (VRP). Metode ini diperkenalkan pertama kali oleh Dantzig dan Ramser pada tahun 1959 dalam penelitiannya guna memodelkan armada truk sejenis yang melayani permintaan minyak dengan jarak minimum. Penelitian ini selanjutnya menjadi dasar dari CVRP. Clarke dan Wright pada tahun 1964 memperbaiki model VRP dengan pendekatan greedy yang lebih efektif yang saat ini dikenal dengan sebutan *Algoritme Saving*. Dalam perkembangannya yang sejalan dengan kompleksitas kehidupan nyata, muncul beberapa variasi dari VRP (Pratama et al., 2022).

Permasalahan ini termasuk dalam permasalahan *Vehicle Routing Problem* (VRP). VRP dapat didefinisikan sebagai pemecahan masalah untuk menentukan rute dengan biaya minimum dari depot pelanggan yang lokasinya tersebar dengan berbagai total permintaan (Nuha et al., 2018). *Vehicle Routing Problem* (VRP) juga didefinisikan sebagai optimasi kombinatorial yang dapat digunakan untuk menentukan rute optimal yang dilalui oleh kendaraan untuk mengirimkan produk kepada pelanggan. Setiap titik lokasi pelanggan dikunjungi hanya sekali oleh satu armada yang berawal dari depot dan berakhir di depot (Asghari et al., n.d.). Istilah “pelanggan” mengacu pada aktivitas pemberhentian untuk mengantar dan/atau menjemput orang/barang (Slamet, Alim s, 2014). Permasalahan VRP sendiri membahas mengenai bagaimana langkah dalam menentukan sebuah rute yang terdiri atas beberapa lokasi tujuan. Lokasi tujuan tersebut tersebar secara geografis dan memiliki jarak yang berbeda-beda (Eka R et al., 2017).

Pada penelitian ini dikarenakan terdapat keterbatasan pada jendela waktu beserta kapasitas armada sehingga termasuk kedalam permasalahan VRP jenis *Capacitated Vehicle Routing Problem With Time Windows* (CVRPTW). CVRPTW sendiri diartikan sebagai kombinasi antara CVRP (*Capacitated Vehicle Routing Problem*) dan VRPTW (*Vehicle Routing Problem with Time Windows*). CVRPTW mempunyai tujuan untuk membangun serta mengoptimalkan rute pengiriman agar dapat melakukan delivery permintaan pelanggan dengan permasalahan yaitu muatan dan *time windows* (Purwadana et al., 2021). Dengan demikian,

diperlukan suatu metode yang dapat menghasilkan usulan rute yang optimal guna meminimalkan biaya transportasi perusahaan.

Metode CVRPTW dengan pendekatan MILP (*Mixed Integer Linear Programming*) merupakan pendekatan yang tepat dalam melakukan penyelesaian permasalahan yang dihadapi oleh perusahaan. Pembentukan rute usulan dengan Mixed Integer Linear Programming (MILP) merupakan formulasi model yang digunakan untuk mencari jarak minimum, MILP memungkinkan *variable* tidak hanya berupa integer dan pecahan melainkan berupa biner. MILP merupakan model matematis yang dengan menggunakan *software* (Oktaviani & Murnawan, 2022). Penentuan rute merupakan keputusan pemilihan jalur terbaik sebagai upaya pelayanan konsumen. Perencanaan rute mempunyai peran penting bagi kegiatan distribusi, agar suatu produk sampai secara cepat ke pelanggan. Penentuan rute tanpa disertai perencanaan yang baik akan beresiko terhadap keterlambatan pengiriman (Fariez Alkaisi, 2022). Adapun software yang digunakan dalam penyelesaian permasalahan yakni LINGO 18.0.

2. Metode

Faktor yang cukup berpengaruh terhadap keberhasilan perusahaan dalam menjual produk salah satunya yakni masalah distribusi. Secara garis besar, pendistribusian didefinisikan sebagai aktifitas pemasaran yang berusaha mempermudah proses penyampaian barang dan jasa dari produsen hingga sampai ke tangan konsumen, sehingga penggunaannya sesuai dengan yang diperlukan (Muhammad et al., 2017). Distribusi produk sendiri merupakan aktivitas logistik yang memastikan bahwa produk tiba di pelanggan pada lokasi, waktu, biaya, kuantitas, kualitas dan jenis produk yang tepat. Proses distribusi meliputi serangkaian kegiatan pemenuhan permintaan, diantaranya, pengelolaan gudang, pengelolaan persediaan, pengaturan transportasi, dan pelayanan pelanggan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa biaya transportasi merupakan komponen biaya terbesar yang harus dikeluarkan oleh perusahaan (Fatma & Manurung, 2020). Pemenuhan permintaan pelanggan, tidak cukup hanya memenuhi jumlah permintaannya saja, tapi juga mengenai masalah pelayanan serta ketepatan waktu pengiriman produk ke pelanggan. Kegiatan distribusi dapat berjalan dengan lancar dan efisien maka perusahaan membutuhkan urutan dalam menentukan rute transportasi (Ahsan & Lukmandono, 2021).

Penelitian ini memiliki tujuan untuk menentukan rute distribusi yang optimal guna meminimumkan biaya transportasi yang dikeluarkan. Penyelesaian masalah rute kendaraan pada penelitian ini menggunakan metode CVRPTW dengan aturan yang digunakan hampir sama dengan CVRP biasa, namun ada beberapa aturan yang terkait dengan *time windows* yang digunakan oleh kendaraan selama pengiriman. Dengan digunakannya metode ini, maka hasil jarak akan dibatasi dengan *time windows* (Natalia et al., 2021).

Tahapan awal yang dilakukan yaitu membentuk model matematis dengan pendekatan MILP (*Mixed Integer Linear Programming*). Selanjutnya yakni melakukan simulasi model matematis yang telah dibuat menggunakan bantuan *software* LINGO 18.0 dan dilanjutkan dengan verifikasi dan validasi model matematika yang telah dibuat. Model matematis yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Himpunan

- N : Himpunan keseluruhan *node* termasuk gudang dan pelanggan
- K : Himpunan dari keseluruhan armada

Indeks

- i : indeks pelanggan i
 j : indeks pelanggan j
 k : indeks armada
 c : indeks biaya transportasi
 d : indeks banyaknya *demand*
 D_s : indeks jarak antar pelanggan
 w : indeks kapasitas maksimum armada
 E : indeks biaya bahan bakar armada per km
 T : indeks waktu mulai pelayanan ke pelanggan
 a : indeks batas waktu awal pelayanan
 b : indeks batas waktu akhir pelayanan
 l : indeks waktu bongkar muat armada
 S : indeks durasi pengiriman

Parameter

c_{ijk} : Biaya perjalanan dari pelanggan i ke pelanggan j oleh armada k, dan

$$c_{ijk} = E_k \times D_{sij}$$

- d_i : Banyaknya *demand* dari pelanggan i
 D_{sij} : Jarak dari pelanggan i ke pelanggan j
 w_k : Kapasitas maksimum dari armada k
 T_i : Waktu mulai pelayanan di pelanggan i
 a_i : Waktu awal pelayanan di pelanggan i
 b_i : Waktu akhir pelayanan di pelanggan i
 l_i : Waktu bongkar muat kendaraan di pelanggan i
 S_i : Durasi waktu pengiriman ke pelanggan i
 R : Bilangan Riil

Variabel Keputusan

$X_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{jika terjadi perjalanan dari node i ke node j oleh armada K} \\ 0, & \text{jika tidak atau lainnya} \end{cases}$

Fungsi Tujuan

$$\text{Min } Z = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N, j \neq 1} \sum_{k \in K} c_{ijk} \cdot X_{ijk} \quad (1)$$

Fungsi Kendala

$$\sum_{i \in N} \sum_{k \in K} X_{ijk} = 1 \quad \forall j \in N, j \neq 1, j \neq 1 \quad (2)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{k \in K} X_{ijk} = 1 \quad \forall i \in N, j \neq i, j \neq 1 \quad (3)$$

$$\sum_{j \in N} X_{1jk} = 1 \quad \forall k \in K, j \neq 1 \quad (4)$$

$$\sum_{i \in N} X_{i1k} = 1 \quad \forall k \in K, i \neq 1 \quad (5)$$

$$\sum_{i \in N} X_{ihk} - \sum_{j \in N} X_{hjk} = 0 \quad \forall k \in K, \forall h \in N, \quad (6)$$

$$h \neq 1, h \neq j, h \neq i$$

$$\sum_{i \in N} d_i \sum_{j \in N} X_{ijk} \leq w(k) \quad \forall k \in K, i \neq j \quad (7)$$

$$\begin{aligned} a_i &\leq T_i \\ b_i &\geq T_i + l_i \end{aligned} \quad \forall i \in N \quad (8)$$

$$T_j \geq T_i + l_i + S_{(i,j)} - R(1 - X_{ijk}) \quad \forall i = 1 \quad \forall k \in K \quad (9)$$

$$X_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in N, \forall k \in K \quad (10)$$

Fungsi tujuan yang ingin dicapai terdapat pada persamaan (1) yaitu untuk meminimalkan biaya transportasi berupa biaya bahan bakar. Batasan (2) dan (3) memastikan bahwa pelanggan dilewati sebagai asal dan tujuan sebanyak 1 kali. Batasan (4) dan (5) memastikan bahwa armada berangkat dan pulang ke depot asal. Batasan (6) memastikan bahwa rute bersifat kontinyu. Batasan (7) memastikan bahwa total permintaan pelanggan dalam satu rute tidak melebihi kapasitas dari armada. Batasan (8) memastikan bahwa waktu mulai pelayanan harus dilakukan setelah batas awal waktu pelayanan dan diakhiri sebelum batas akhir waktu pelayanan. Batasan (9) menunjukkan bahwa armada diperbolehkan memulai waktu pelayanan ke pelanggan selanjutnya apabila telah melakukan pelayanan di pelanggan sebelumnya ditambahkan dengan waktu *loading/unloading* serta durasi pengiriman. Dan Batasan (10) menunjukkan bahwa keputusan bernilai integer.

3. Hasil dan Pembahasan

Data yang dibutuhkan untuk melakukan pengolahan data pada penelitian ini sebagai berikut: data permintaan pelanggan, jumlah armada beserta kapasitasnya, jendela waktu, jarak tiap pelanggan, waktu tempuh, dan data biaya transportasi. Data permintaan ke-12 pelanggan pada PT XYZ sebagai berikut:

Tabel 2. Data permintaan pupuk dolomite PT XYZ

Kode pelanggan	Jumlah permintaan	Kode pelanggan	Jumlah permintaan
R1	70	R7	25
R2	160	R8	60
R3	160	R9	110
R4	85	R10	85
R5	90	R11	25
R6	35	R12	30

Adapun jumlah armada yang dimiliki oleh perusahaan sebanyak 5 unit dengan kapasitas yang berbeda-beda. Kendaraan 1 dan 2 memiliki kapasitas angkut sebesar 100 unit, kendaraan 3 dan 4 memiliki kapasitas angkut sebesar 200 unit, dan kendaraan 5 memiliki kapasitas 400 unit. Dalam melakukan pengiriman kepada pelanggan, perusahaan memperhatikan *time windows* (jendela waktu) yang telah disediakan oleh pelanggan. Jendela waktu digunakan untuk mengetahui waktu armada harus memulai pelayanan terhadap pelanggan.

Time windows terdapat pada pelanggan dan juga depot. *Time windows* pelanggan diartikan sebagai interval waktu yang ditentukan oleh pelanggan untuk menerima barang sesuai dengan waktu yang diinginkan. Sedangkan *time windows* depot diartikan sebagai batas waktu kendaraan berangkat dan kembali ke depot (Manaqib & Pantoro, 2018). Batasan jendela waktu baik di perusahaan maupun pelanggan, tidak hanya membuat, penentuan rute kendaraannya memperhatikan rute pengiriman, namun juga harus menentukan urutan lokasi mana yang harus dilayani terlebih dahulu, supaya waktu kedatangan kendaraan, sesuai dengan batasan waktu pelayanannya (Fatma & Manurung, 2020). Jendela waktu masing-masing pelanggan dijelaskan pada tabel berikut:

Tabel 3. *Time windows* pelanggan PT XYZ

Kode pelanggan	Jendela Waktu	Kode pelanggan	Jendela Waktu
R1	09.30 – 12.30	R7	07.00 – 12.30
R2	11.00 -14.00	R8	11.00 – 15.00
R3	07.00 – 11.00	R9	09.00 – 13.30
R4	16.00 – 19.30	R10	09.00 – 13.00
R5	14.00 – 17.00	R11	07.00 – 09.00
R6	07.00 – 09.30	R12	07.0 – 11.00

Setiap perjalanan menuju pelanggan memiliki jarak tempuh yang berbeda. Jarak digunakan untuk mengetahui besarnya jarak yang harus ditempuh oleh armada dalam melakukan pengiriman. Jarak tempuh didapatkan menggunakan bantuan aplikasi *G-Maps*.

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13
R1	0	65	145	106	64	153	32	161	151	128	55	36	145
R2	65	0	125	83	110	199	74	209	192	176	103	77	193
R3	145	125	0	45	112	106	95	103	96	205	117	117	196
R4	106	83	45	0	73	162	45	173	156	162	78	78	156
R5	64	110	112	73	0	102	54	112	95	91	4,4	34	96
R6	153	199	106	162	102	0	139	10	9	192	103	123	5,6
R7	32	74	95	45	54	139	0	150	133	141	55	55	134
R8	161	209	103	173	112	10	150	0	18	202	114	133	16
R9	151	192	96	156	95	9	133	18	0	186	97	117	9,1
R10	128	176	205	162	91	192	141	202	186	0	85	101	185
R11	55	103	117	78	4,4	103	55	114	97	85	0	27	98
R12	36	77	117	78	34	123	55	133	117	101	27	0	117
R13	145	193	196	156	96	5,6	134	16	9,1	185	98	117	0

Gambar 2. Matriks jarak tempuh antar pelanggan PT XYZ

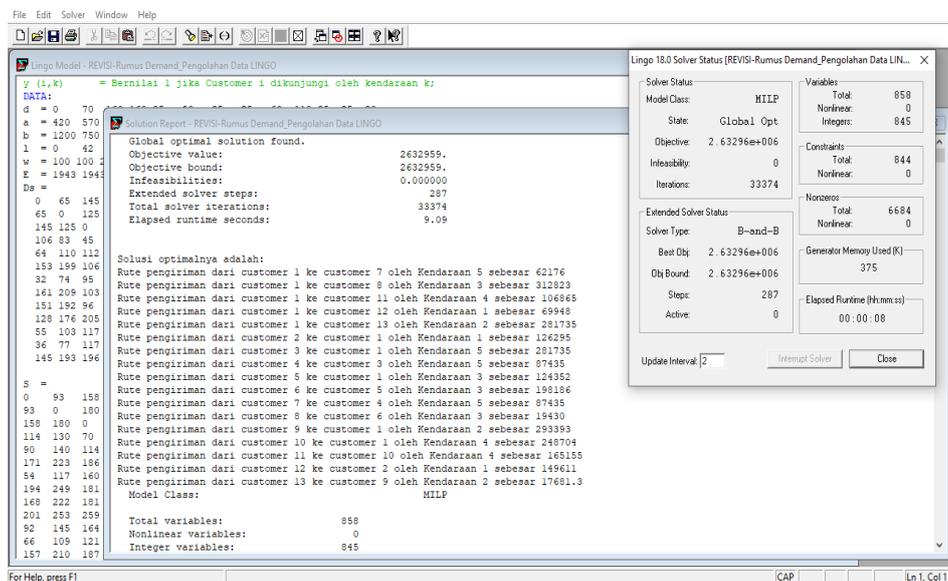
Pada penelitian ini, jarak yang ditempuh oleh kendaraan dalam melakukan pengiriman tidak memberikan pengaruh terhadap waktu tempuh. Hal ini dikarenakan kondisi jalan yang tidak selalu dalam keadaan normal atau tidak macet. Waktu tempuh didapatkan dengan bantuan

aplikasi *g-maps* dengan melihat lalu lintas normal pada jam kerja. Jarak dan waktu tempuh mempengaruhi biaya transportasi yang harus dikeluarkan oleh perusahaan.

Biaya transportasi terbagi dalam 2 macam yaitu biaya tetap serta biaya marginal. Biaya tetap muncul apabila pengiriman tanpa dipengaruhi oleh jumlah dan jarak perjalanan, dan jenis barang yang dikirim. Sedangkan biaya variabel bergantung pada jarak yang ditempuh. Pada penelitian ini biaya tetap meliputi: biaya e-toll, biaya uang makan, dan biaya upah (Martono, 2018). Sedangkan untuk biaya variabel meliputi: biaya bahan bakar dan biaya perawatan armada. Pada penelitian ini, armada menghabiskan 1 liter solar dengan harga Rp 6.800 untuk jarak 3,5 km dengan kecepatan armada sebesar 60 km/jam sehingga biaya bahan bakar untuk jarak 1 km sebesar Rp 1.943/km.

Berdasarkan hasil pengolahan data dengan cara melakukan pengkodean model matematis CVRPTW dengan pendekatan MILP menggunakan software LINGO 18.0 didapatkan hasil rute usulan sebagai berikut: Armada 1 dengan kapasitas angkut maksimum sebesar 100 karung melakukan pengiriman dengan urutan rute yakni PT XYZ – R11- R1 – PT XYZ dengan total permintaan sebanyak 95 karung. Armada 2 dengan kapasitas angkut maksimum sebesar 100 karung melakukan pengiriman dengan urutan rute PT XYZ – R12- R8 – PT XYZ dengan total permintaan sebanyak 90 karung. Armada 3 dengan kapasitas angkut maksimum sebesar 200 karung melakukan pengiriman dengan urutan rute PT XYZ – R7- R5 – R4 – PT XYZ dengan total permintaan sebanyak 200 karung. Armada 4 dengan kapasitas angkut maksimum sebesar 200 karung melakukan pengiriman dengan urutan rute yakni PT XYZ – R10 – R9 – PT XYZ dengan total permintaan sebanyak 195 karung. Dan armada 5 dengan kapasitas angkut maksimum sebesar 400 karung melakukan pengiriman dengan urutan rute PT XYZ– R6 – R3- R2 - PT XYZ dengan total permintaan sebanyak 355 karung.

Hasil rute usulan yang dihasilkan oleh *software* LINGO 18.0 dapat dilihat pada variabel keputusan X_{ijk} . Rute didapatkan dengan menyusun variabel keputusan X_{ijk} yang memiliki nilai 1. X_{ijk} dengan nilai 1 memiliki arti bahwa terdapat perjalanan dari pelanggan *i* ke pelanggan *j* oleh kendaraan *k*. Penentuan rute didasarkan dari *k* dengan nilai yang sama yang berarti bahwa rute yang dilalui dari *i* ke *j* dilalui oleh kendaraan *k*. *Output* rute usulan dari *software* LINGO 18.0 dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 3. Hasil running software LINGO 18.0

Berdasarkan gambar 3 diketahui bahwa fungsi tujuan untuk meminimalkan biaya bahan bakar pada rute usulan telah tercapai yang dapat dilihat pada nilai *objective value* yang dihasilkan. Biaya bahan bakar mengalami penurunan dari Rp 3.293.337 pada rute awal menjadi Rp 2.632.959 pada rute usulan. Penurunan biaya tersebut disebabkan karena semakin pendeknya jarak yang harus ditempuh serta waktu tempuh pengiriman. Total jarak tempuh pada rute usulan sebesar

Keterangan	Biaya transportasi/hari
Biaya bahan bakar	Rp 2.632.959
Biaya e-toll	Rp700.000
Biaya uang makan supir + kuli	Rp325.000
Biaya upah supir + kuli	Rp1.250.000
Biaya perawatan	Rp 332.117,82
Total biaya transportasi/hari	Rp 5.240.076

1.355,1 km dan waktu tempuh sebesar 1.811 menit.

Adapun biaya yang mengalami perubahan ketika jarak tempuh kendaraan semakin pendek yaitu biaya perawatan kendaraan. Biaya perawatan kendaraan pada rute usulan mengalami perubahan menjadi sebesar Rp 372.028,53. Berikut ini merupakan tabel total biaya transportasi pada rute usulan:

Tabel 4. Biaya transportasi rute usulan PT XYZ

Selisih biaya bahan bakar dan biaya perawatan kendaraan digambarkan pada grafik berikut:



Gambar 4. Grafik perbandingan biaya bahan bakar dan biaya perawatan PT XYZ

4. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa biaya transportasi yang dikeluarkan oleh perusahaan pada rute *existing* dan rute usulan memiliki perbedaan. Biaya transportasi yang dihasilkan pada rute usulan semakin rendah dari biaya rute *existing*. Biaya bahan bakar *existing* yang dikeluarkan oleh PT XYZ sebesar Rp 3.293.337 Dan dari hasil pengolahan data dengan menggunakan *software* LINGO 18.0 didapatkan biaya bahan bakar sebesar Rp 2.632.959. Sedangkan biaya perawatan *existing* yang dikeluarkan oleh PT XYZ sebesar Rp 495.845,37 dan pada biaya usulan menjadi Rp 332.117,82. Penurunan biaya-biaya tersebut mengakibatkan semakin kecilnya total biaya transportasi yang dikeluarkan perusahaan. Total biaya transportasi awal dapat dihemat sebesar Rp 824.107 artinya terjadi penurunan sebesar 17,45 %. Penurunan tersebut dikarenakan jarak tempuh pada rute *existing* dapat diperpendek sebesar 340 km atau 20,05 % dan waktu tempuh dapat diperpendek sebesar 261 menit atau 12,59 %.

Daftar Pustaka

- Ahsan, A. F., & Lukmandono. (2021). Application Of Saving Matrix Method In Determining 3 Kg Lpg Distribution Routes To Minimize Transportation Costs In. *Pojur Real Madura. Procedia of Engineering and Life Science*, 1(1). <https://doi.org/10.21070/pels.v1i1.842>
- Asghari, M., Systems, M., Systems, M., Asghari, M., & Systems, M. (n.d.). *Green vehicle routing problem : A state-of-the-art review Green vehicle routing problem : A state-of-the-art review*.
- Chopra, S. (2007). Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operation (3rd edition). In *International Journal of Productivity and Performance Management* (Vol. 56, Issue 4). <https://doi.org/10.1108/ijppm.2007.56.4.369.1>
- Eka R, V., Subchan, S., & Mudjiati, T. (2017). Pendekatan Goal Programming Untuk Penentuan Rute Kendaraan Pada Kegiatan Distribusi. *Limits: Journal of Mathematics and Its Applications*, 9(1), 1. <https://doi.org/10.12962/j1829605x.v9i1.2120>
- Fatma, E., & Manurung, S. (2020). Optimasi Biaya Transportasi Komponen dengan Batasan Jendela Waktu Layanan Sempit dan Kapasitas Kendaraan Beragam. *Jurnal Rekayasa Sistem & Industri (JRSI)*, 7(1), 30. <https://jrsi.sie.telkomuniversity.ac.id/JRSI/article/view/381>
- Manaqib, M., & Pantoro, R. D. (2018). Multi-Objective Vehicle Routing Problem With Times Windows Dengan Pendekatan Goal Programming Untuk Menyelesaikan Masalah Optimisasi Rute Perjalanan Bus Pariwisata. *Sainstek : Jurnal Sains Dan Teknologi*, 9(1), 76. <https://doi.org/10.31958/js.v9i1.529>
- Muhammad, Bakhtiar, & Rahmi, M. (2017). Penentuan Rute Transportasi Distribusi Sirup Untuk Meminimalkan Biaya. *Industrial Engineering Journal*, 6(1), 10–15.
- Natalia, C., Triyanti, V., Setiawan, G., & Haryanto, M. (2021). Completion of Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) and Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows (CVRPTW) Using Bee Algorithm Approach to Optimize Waste Picking Transportation Problem. *Journal of Modern Manufacturing Systems and Technology*, 5(2), 69–77. <https://doi.org/10.15282/jmmst.v5i2.6855>
- Nuha, H., Wati, P. E. D. K., & Widiasih, W. (2018). A Comparison of Exact Method - Metaheuristic Method in Determination for Vehicle Routing Problem. *MATEC Web of Conferences*, 204, 1–7. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201820402017>
- Oktaviani, D. S., & Murnawan, D. H. (2022). *Penentuan Rute Distribusi Pengiriman Es Balok Guna Meminimasi Biaya Pengiriman di PT Moya Kasri Wira Jatim*.
- Pratama, R. A., Utomo, P. H., & Wibowo, S. (2022). *PERBANDINGAN SOLUSI CVRP PADA DISTRIBUSI BUKU AQILA DI SURAKARTA MENGGUNAKAN ALGORITME TABU SEARCH DAN ALGORITME ACO*. 6(1), 13–22.
- Purwadana, P. I. A., Candiasa, I. M., & Sukajaya, I. N. (2021). Pengembangan Aplikasi Penentuan Rute Pengiriman Barang Berdasarkan Berat dan Time Windows Menggunakan Metode Nearest Neighbour dan Tabu Search. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 20(2), 299. <https://doi.org/10.24843/mite.2021.v20i02.p14>
- Slamet, Alim s, H. H. (2014). *8085-Article Text-22764-1-10-20140624.pdf* (pp. 1–10).
- Suwarlandono, U. D. (2022). *PENGIRIMAN TAS FASHION DI*.