



Optimasi Biaya Transportasi Komponen dengan Batasan Jendela Waktu Layanan Sempit dan Kapasitas Kendaraan Beragam

Optimization of Component Transportation Costs with Narrow Service Time Window and Heterogenous Vehicle Capacity

Erika Fatma^{*1}, Supardi Manurung²

¹Program Studi Manajemen Logistik Industri Elektronika, Politeknik APP Jakarta

²Program Studi Teknik dan Manajemen Industri, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung

ARTICLE INFO

Article history:

Diterima 03-04-2020

Diperbaiki 17-05-2020

Disetujui 27-06-2020

Kata Kunci:

Transportasi, Biaya
Transportasi, Penentuan
Rute, Jendela waktu,
Kendaraan beragam

ABSTRAK

Biaya transportasi merupakan komponen biaya terbesar dalam aktivitas distribusi, Upaya penurunan biaya transportasi dapat dilakukan dengan memperbaiki rute distribusi produk ke pelanggan. Artikel ini bertujuan untuk meminimasi total biaya transportasi dengan menentukan penugasan dan penentuan rute kendaraan heterogen. Batasan yang dipertimbangkan adalah jumlah dan kapasitas kendaraan, konsumsi bahan bakar, waktu layanan di perusahaan dan pelanggan. Biaya transportasi yang dipertimbangkan adalah biaya tetap kendaraan, bahan bakar, dan penanganan material. Metode CVRPTW diterapkan pada masalah penugasan dan penentuan rute kendaraan pada perusahaan komponen plastik yang memasok komponen plastik untuk bahan baku produksi berbagai perusahaan manufaktur di wilayah Jabodetabek. CVRPTW dapat menurunkan biaya transportasi di perusahaan dengan tetap memenuhi seluruh batasan yang berlaku. CVRPTW mengurangi jumlah kendaraan yang digunakan dari sebelumnya 6 kendaraan, menjadi 5 kendaraan. Total biaya transportasi untuk seluruh rute pengiriman sebesar Rp. 4.563.620. Biaya ini lebih rendah dibandingkan dengan biaya perusahaan senilai Rp. 4.694.100. Penugasan dan penentuan rute ini menurunkan biaya transportasi sebesar Rp. 400.480, atau sebesar 8% dari biaya awal.

ABSTRACT

Transportation costs are one of the largest cost components in distribution activities. Transportation costs can be reduced by improving distribution routes. The aims of this article are to minimize transportation costs by determining vehicle assignments and routing for heterogeneous vehicles. The constraints that considered are the number and capacity of the vehicle, fuel consumption, service time at the company and at customers plant. Total transportation costs are considered as vehicle fixed costs, fuel costs, and material handling costs. CVRPTW is applied to the problem of assigning and determining vehicle routes of plastic component companies that supply plastic components for various manufacturing companies in the Greater Jakarta area. CVRPTW can reduce transportation costs in the company while still meet all applicable constraints. CVRPTW reduced the number of vehicles used from the previous 6 vehicles to 5 vehicles. Total transportation costs for all shipping routes are Rp. 4,563,620. This cost is lower than the company costs of Rp. 4,694,100, this routing problem reduces transportation costs by 8% of the initial cost.

Keywords:

Transportation,
Transportation Cost,
Routing Problem, Time
Window, Heterogenous
Vehicle

1. Pendahuluan

Distribusi produk merupakan aktivitas logistik yang memastikan bahwa produk tiba di pelanggan pada lokasi, waktu, biaya, kuantitas, kualitas dan jenis produk yang tepat. Distribusi merupakan salah satu rangkaian proses logistik yang dapat menentukan tingkat layanan atau kepuasan pelanggan. 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. [1]

Penurunan biaya distribusi umumnya diselesaikan dengan melakukan optimasi penjadwalan dan penentuan rute kendaraan. Pada penjadwalan dan penentuan rute kendaraan, ada tiga hal yang harus ditentukan yaitu penentuan rute setiap kendaraan, penentuan rute dan penugasan kendaraan serta penjadwalan petugas kendaraan. Penentuan rute bertujuan untuk menentukan set rute yang dapat meminimasi jarak tempuh untuk memenuhi seluruh permintaan pelanggan [2]. *Vehicle routing problem* (VRP) banyak digunakan untuk menyelesaikan permasalahan penentuan rute kendaraan, dari titik distribution centre ke sejumlah titik pelanggan yang tersebar di beberapa lokasi. VRP bertujuan untuk meminimasi total jarak tempuh dan meminimasi biaya distribusi dengan memperhatikan berbagai Batasan yang berlaku.

Artikel ini bertujuan untuk meminimasi total biaya transportasi dengan menentukan penugasan dan rute kendaraan. Formulasi matematis dari model ini mempertimbangkan jumlah dan kapasitas angkut kendaraan, konsumsi bahan bakar, waktu layanan di perusahaan dan pelanggan. Optimasi biaya transportasi, didefinisikan sebagai minimasi total biaya, meliputi biaya tetap kendaraan, bahan bakar yang digunakan, dan biaya penanganan material di perusahaan dan di lokasi pelanggan.

Masalah optimisasi penugasan dan penentuan rute kendaraan diformulasikan berdasarkan masalah *Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Window* (CVRPTW). Penyelesaian menggunakan *Integer Linier Programming*. Berdasarkan beberapa asumsi terkait kecepatan dan konsumsi bahan bakar kendaraan, serta biaya bahan bakar dihitung proporsional dengan jarak tempuh.

2. Tinjauan Literatur

Vehicle Routing Problem (VRP) merupakan salah satu metode yang banyak digunakan dan dianalisis pada bidang logistik, khususnya transportasi dan distribusi. Tujuan utama dari metode VRP adalah menentukan rute dengan jarak, biaya atau waktu minimum untuk setiap set kendaraan pengiriman. Asumsi klasik yang digunakan pada VRP, setiap kendaraan memulai rutenya dari sebuah depo (titik sumber) lalu mengunjungi, suatu set pelanggan yang telah melakukan pemesanan (pengantaran / pengiriman) barang tersebut [2]

Vehicle Routing Problem (VRP), digunakan untuk mendesain rute optimal untuk kendaraan ke satu set (kelompok) pelanggan dengan memperhatikan serangkaian kendala/batasan yang harus dipenuhi. Berbagai varian VRP dikembangkan berdasarkan sifat barang yang diangkut,

kualitas layanan yang diperlukan, karakteristik pelanggan dan kendaraan [3]. VRP merupakan masalah NP-hard yang terdiri dari pemecahan masalah untuk menentukan satu set rute optimal yang mencakup semua permintaan dari satu set pelanggan tanpa melanggar kapasitas kendaraan yang ditugaskan [4].

Ketika kendaraan yang digunakan lebih dari satu, maka permasalahan diklasifikasikan menjadi dua masalah: yaitu penentuan rute dengan kendaraan heterogen dan penentuan rute dengan kendaraan homogen. Dalam penyelesaian masalah actual di industri, penggunaan kendaraan yang heterogen, umumnya cenderung menghasilkan hasil yang lebih baik daripada masalah dengan kendaraan homogen [5]

Vehicle routing problem with time window (VRPTW) merupakan perpanjangan VRP. Kendala yang ditambahkan adalah adanya waktu dimulainya dan diakhirinya layanan penerimaan barang di lokasi pelanggan, sesuai dengan waktu yang ditentukan. Dalam permasalahan penentuan rute kendaraan dengan jendela waktu yang ketat (*Vehicle routing problem with hard time window*), pengiriman barang di luar jendela waktu tidak diperbolehkan sama sekali. Metode ini merupakan varian penting dari VRP dan telah menjadi pusat penelitian terkait VRP. Varian lain yang lebih flexible adalah masalah penentuan rute kendaraan dengan jendela waktu fleksibel (*Vehicle routing problem with Soft Time Window*), di mana pengiriman dimungkinkan untuk dilakukan di luar jendela waktu, namun dengan konsekuensi adanya biaya penalti. [6].

Batasan jendela waktu baik di perusahaan maupun pelanggan, tidak hanya membuat, penentuan rute kendaranya memperhatikan rute pengiriman, namun juga harus menentukan urutan lokasi mana yang harus dilayani terlebih dahulu, supaya waktu kedatangan kendaraan, sesuai dengan batasan waktu pelayanannya [7]

3. Metodologi

3.1 Definisi Sistem

Tujuan dari sistem penugasan dan penentuan rute kendaraan adalah untuk mencari himpunan rute dan penugasan kendaraan yang layak dan dapat memenuhi kondisi sebagai Tiap pelanggan hanya dilayani oleh satu rute dan Tiap rute hanya dilayani oleh satu kendaraan

Rute kendaraan merupakan urutan kunjungan suatu kendaraan, dengan mendatangi beberapa pelanggan yang diawali dari suatu depo (titik awal) kemudian kembali ke depo awal. Untuk setiap rute yang dilalui, suatu kendaraan akan mengunjungi pelanggan tepat satu kali., dan satu pelanggan hanya akan dilayani oleh tepat satu kendaraan. Kendaraan yang digunakan memiliki keterbatasan kapasitas. Masalah penentuan rute umumnya memasukkan kapasitas angkut sebagai batasan (*Capacitated Vehicle Routing Problem*) [8].

Solusi yang dicari adalah solusi yang memberikan biaya total transportasi paling rendah. Penelitian dikembangkan berdasarkan model matematis dari Azi, dkk [9]. Model matematis ini digunakan untuk menyelesaikan permasalahan penentuan rute kendaraan angkutan barang berdasarkan jumlah permintaan di setiap lokasi pelanggan.

Dalam penyelesaian permasalahan CVRPTW ini, digunakan beberapa asumsi untuk membatasi lingkup masalah transportasi. Beberapa asumsi yang digunakan adalah:

- Produk untuk tiap pelanggan yang berbeda, dikirimkan menggunakan box dengan dimensi yang seragam.
- Biaya operasional tiap kendaraan, terdiri dari biaya tetap dan biaya variable.
- Biaya variable kendaraan hanya menghitung BBM, yang diasumsikan proporsional dengan jarak tempuh kendaraan.
- Kecepatan kendaraan adalah konstan
- Jarak antar pelanggan adalah simetris
- Waktu penanganan material di titik pelanggan proporsional dengan jumlah barang yang di-kirimkan..

3.2 Pemodelan matematis

Model matematis CVRPTW dikembangkan dari Azi, dkk [9]. Pengembangan model yang dilakukan dalam penelitian ini adalah perhitungan waktu layanan di setiap pelanggan di-perhitungkan proporsional dengan permintaan. Tujuan pemodelan ini adalah untuk meminimasi biaya total.

Notasi yang digunakan pada model ini adalah sebagai berikut.

Indeks:

- i, j indeks pabrik asal
- j Indeks pabrik tujuan
- k indeks kendaraan, $k=1,2,..K$

Parameter:

- D_i : jumlah permintaan di pabrik i (box)
- a_i : waktu awal pelayanan di pabrik i
- b_i : waktu akhir pelayanan di pabrik i
- s_i : waktu setup pelayanan di pabrik i (menit)
- l_i Waktu loading dan unloading barang di pelanggan i
- T_{ik} : waktu minimum kendaraan k berada di pelanggan i
- τ_i : waktu pelayanan (setup dan bongkar muat) di pelanggan i
- C_{ijk} : biaya perjalanan kendaraan k dari i ke j
- $d_{i,j}$: jarak dari pabrik i ke pabrik j (km)
- v_k : kecepatan rata-rata kendaraan k (km/menit)
- V Jumlah maksimal kendaraan yang dapat digunakan
- $w_{i,j,k}$: waktu perjalanan dari pabrik i ke j dengan kendaraan k (menit)
- Q_k : kapasitas maksimum kendaraan k (box)
- ct_k : biaya tetap kendaraan k untuk tiap *trip* per hari (Rp/*trip*)
- cb_k : biaya bahan bakar kendaraan k (Rp/km)
- ch : biaya handling material pada kendaraan k per box (Rp/box)
- M Bilangan riil yang nilainya Besar (Big-M)

Variabel :

- π_k waktu berangkat kendaraan k
- X_{ijk} bernilai 1, jika pabrik j dikunjungi setelah i oleh kendaraan k , bernilai 0, untuk lainnya
- Y_{ik} bernilai 1, jika pelanggan i dilayani oleh k , bernilai 0, untuk lainnya
- z_k bernilai 1, jika kendaraan (truk) k digunakan, bernilai 0, untuk lainnya
- A jumlah kendaraan yang ditugaskan.

Fungsi Tujuan

Min $Z =$

$$\sum_{k \in K} ct_k z_k + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} d_{ij} cb_k X_{ijk} + \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} D_i ch_k Y_{ik} \quad (1)$$

Fungsi tujuan (1) dari model matematis ini adalah untuk meminimasi biaya transportasi pengiriman produk dari depo ke pelanggan, yang memenuhi semua batasan yang berlaku. Biaya transportasi yang dipertimbangkan adalah biaya tetap masing-masing kendaraan, biaya bahan bakar, dan biaya penanganan material. Biaya tetap tiap kendaraan meliputi biaya penyusutan, perawatan dan pajak. Biaya bahan bakar dihitung dari biaya BBM dan rasio penggunaan kendaraan untuk tiap km yang ditempuh. Biaya penanganan material (bongkar-muat) dihitung dari biaya setup dan biaya *handling* sejumlah barang yang diangkut.

Fungsi Pembatas

$$\sum_{k=1}^K Y_{ik} = 1, \quad i \neq 1 \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^J X_{ijk} = Y_{ik}, \quad i \in I; k \in K \text{ dimana } i \neq j \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^I X_{ijk} - \sum_{j=1}^J X_{ijk} = 0, \quad i \in I; k \in K; i \neq j \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^J X_{ijk} = 1, \quad i \in I; k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^I D_i \cdot Y_{ik} \leq Q_k \cdot z_k, \quad \forall k \in K \quad (6)$$

$$a_i \cdot Y_{ik} \leq \tau_i \leq b_i \cdot Y_{ik}, \quad \forall i \in I \quad (7)$$

$$T_{ik} \geq \pi_k, \quad \forall k \in K \quad (8)$$

$$\tau_i \geq T_{ik}, \quad \forall k \in K; i \in I; i \neq 1 \quad (9)$$

$$\pi_k + w_{ijk} - M(1 - X_{ijk}) \leq T_{jk} \quad \forall k \in K; j \neq 1 \quad (10)$$

Pembatas Biner:

$$x_{ijk} \in \{0,1\}; \quad \forall k \in K; i \in I \quad (11)$$

$$y_{ik} \in \{0,1\}; \quad \forall k \in K; i \in I \quad (12)$$

$$z_k \in \{0,1\}; \quad \forall k \in K \quad (13)$$

Persamaan (2) membatasi setiap rute hanya dilayani oleh satu kendaraan. Batasan (3) menjamin setiap pelanggan hanya boleh dikunjungi tepat satu kali oleh kendaraan atau rute tertentu. Persamaan (4) memastikan bahwa saat suatu kendaraan tiba di pelanggan, menyelesaikan proses bongkar muat, kemudian meninggalkan pelanggan, selanjutnya kendaraan berangkat ke lokasi pelanggan lain. Pembatas (5) memastikan jika kendaraan k melayani pelanggan i , maka kendaraan yang sama harus keluar dari pelanggan tersebut kemudian kembali ke depo. Batasan (6) memastikan agar jumlah permintaan dari seluruh pelanggan yang dilayani suatu rute atau kendaraan, tidak melebihi kapasitas angkut kendaraan yang digunakan untuk melayani rute tersebut.

Pembatas (7) memastikan bahwa waktu mulai pelayanan di pelanggan i oleh kendaraan k sesuai dengan jendela waktu pelayanan di pelanggan i yaitu waktu awal pelayanan (a_i) dan waktu akhir pelayanan (b_i). Pembatas (8) memastikan bahwa waktu minimum kendaraan k berada di pelanggan i dilakukan setelah waktu berangkat kendaraan k . Pembatas (9) menyatakan bahwa waktu layanan kendaraan k pada pelanggan i dilakukan setelah kendaraan k tiba di pelanggan i . Pembatasan (10) memastikan waktu pengiriman antar pelanggan dalam satu rute terpenuhi, yaitu waktu pelayanan di suatu pelanggan T_{jk} dimulai setelah kendaraan k berangkat dari pelanggan I ditambah waktu tempuh dari pelanggan i ke pelanggan j dan waktu pelayanan di pelanggan i selesai.

Pembatas (11), (12) dan (13) merupakan bilangan biner. Pembatas (11) akan bernilai 1 jika pabrik j dilayani setelah pabrik I , dengan kendaraan k , dan bernilai 0, jika terjadi kondisi lainnya. Pembatas (12) akan bernilai 1 jika pelanggan i dilayani oleh kendaraan k , dan bernilai 0 jika terjadi kondisi lainnya. Pembatas (13) bernilai 1 jika kendaraan k digunakan, dan bernilai 0, jika terjadi sebaliknya.

3.3 Aplikasi Model

Aplikasi CVRPTW diterapkan pada masalah penugasan penentuan rute kendaraan pada suatu perusahaan komponen/*part* plastik. Perusahaan memasok komponen plastik sebagai bahan baku produksi untuk beberapa pabrik elektronika dan otomotif. Komponen yang dikirimkan memiliki spesifikasi dan dimensi berbeda-beda untuk setiap pelanggan. Saat ini, perusahaan memasok komponen/*part* untuk lima belas pabrik di wilayah Jabodetabek.

Perusahaan harus memastikan produk yang diproduksi tiba di pelanggan pada jendela waktu yang telah ditetapkan. Hal ini dilakukan untuk memenuhi perjanjian yang telah disepakati dengan pelanggan. Keterlambatan penerimaan di sisi pelanggan akan merugikan pelanggan karena dapat menyebabkan gangguan jadwal produksi.

Saat ini perusahaan menggunakan enam unit kendaraan untuk mendistribusikan produknya. Perusahaan mengerahkan seluruh armada, untuk memastikan bahwa perusahaan dapat memenuhi waktu pengiriman yang dijanjikan. Permasalahan yang terjadi adalah penggunaan kapasitas kendaraan yang belum optimal, hal ini berdampak pada biaya transportasi yang dikeluarkan tidak optimal.

Pada Tabel 1, dapat dilihat kebutuhan pelanggan untuk setiap kali pengiriman pada satu hari yang diamati. Permintaan produk untuk tiap pelanggan memiliki spesifikasi berbeda, untuk mempermudah perhitungan, jumlah unit permintaan dikonversi dalam satuan jumlah box yang digunakan untuk pengangkutan. Box ini memiliki dimensi seragam. Selain itu, pelanggan hanya melayani penerimaan barang pada jendela waktu yang telah ditetapkan.

Tabel 2 menunjukkan kapasitas angkut kendaraan, biaya tetap dan rasio penggunaan BBM untuk tiap kendaraan. Rasio BBM menjadi dasar perhitungan kebutuhan bahan bakar untuk tiap kendaraan. Matriks jarak antar perusahaan dan pelanggan di-tampilkan pada Tabel 3. Perhitungan jarak antar depo dengan pelanggan dan pelanggan dengan pelanggan dilakukan menggunakan peta digital dalam satuan km. Dari beberapa alternatif yang tersedia, rute yang dipilih adalah rute terpendek dengan kondisi/ukuran jalan yang dapat dilalui oleh kendaraan. Tabel 1. Data Permintaan dan jendela waktu pelayanan pada Depo dan Konsumen.

Data jumlah permintaan pelanggan diperoleh dari bagian distribusi perusahaan. Bagian distribusi berkoordinasi dengan bagian *production* dan *warehouse*, untuk mengolah data pesanan untuk mensinkronkan jadwal produksi dan pengiriman agar produk yang dipesan tersedia sesuai jadwal pengiriman yang diminta. Petugas warehouse dan supir kendaraan memiliki waktu kerja dari jam 08.00 sampai pukul 20.00, namun kendaraan harus kembali ke perusahaan, paling lambat pukul 18.00, untuk penyelesaian administrasi dan persiapan pengiriman hari berikutnya.

Tabel 1.
Data Pelanggan

Plant	Demand (box)	Open	Close
Depo		8:00	18:00
A	120	8:00	17:00
B	42	9:00	17:30
C	99	8:30	17:00
D	129	8:00	20:00
E	86	13:00	18:00
F	126	8:00	16:00
G	80	10:00	12:00
H	45	8:00	17:00
I	112	9:00	18:00
J	109	9:00	17:00
K	48	8:00	18:00
L	60	8:00	18:00
M	88	8:00	12:00
N	98	7:00	18:00
O	59	10:00	18:00

Tabel 2.
Data Kapasitas Kendaraan

Kendaraan	Kapasitas (box)	Biaya Tetap	Rasio BBM
Truk 1	250	226,250	1 / 8
Truk 2	250	226,250	1 / 8
Truk 3	250	226,250	1 / 8
Truk 4	250	226,250	1 / 8
Truk 5	300	278,500	1 / 6
Truk 6	300	278,500	1 / 6

Tabel 3.

Jarak antara Pabrik (dalam KM)

	Depo	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
Depo	0	39.1	34.2	5.1	52.0	51.6	6	14	5.6	15.8	3.1	20.6	24.3	10.6	19.9	7.5
A	39.1	0	7.1	46.6	90.7	93.1	46.3	59	11.8	5.6	22.5	20.3	14.6	6.3	9.4	13
B	34.2	7.1	0	40.0	84.0	86.4	39.8	50.8	22.5	24.6	18.6	9.2	2.2	17.1	11.2	14.2
C	5.1	46.6	40.0	0	49.9	52.3	3	11.9	22.9	8.3	19	11.4	24.4	9.9	5.4	5
D	52.0	90.7	84.0	49.9	0	7.6	48.6	42.3	23.1	17	21.8	5.7	14.5	13	9.2	6.1
E	51.6	93.1	86.4	52.3	7.6	0	54	47.7	9.4	18.4	25.3	23	21	19.1	6.8	24.7
F	6	46.3	39.8	3.0	48.6	54	0	13.3	3.7	8.5	18.1	7.8	19.2	17.4	16.3	19.3
G	14.0	59.0	50.8	11.9	42.3	47.7	13.3	0	19.7	11.7	17.8	21.8	2.1	12.2	7.9	5.5
H	5.6	11.8	22.5	22.9	23.1	9.4	3.7	19.7	0	2.7	25.8	24.6	24.9	4	17.5	16.7
I	15.8	5.6	24.6	8.3	17.0	18.4	8.5	11.7	2.7	0	20.2	16	23.5	7.9	21.2	10.2
J	3.1	22.5	18.6	19.0	21.8	25.3	18.1	17.8	25.8	20.2	0	18.4	9.8	20.8	25	25
K	20.6	20.3	9.2	11.4	5.7	23	7.8	21.8	24.6	16	18.4	0	18.2	23.8	5	25.6
L	24.3	14.6	2.2	24.4	14.5	21	19.2	2.1	24.9	23.5	9.8	18.2	0	13.9	3.5	12.6
M	10.6	6.3	17.1	9.9	13.0	19.1	17.4	12.2	4	7.9	20.8	23.8	13.9	0	3.3	12.9
N	19.9	9.4	11.2	5.4	9.2	6.8	16.3	7.9	17.5	21.2	25	5	3.5	3.3	0	8.3
O	7.5	13.0	14.2	5.0	6.1	24.7	19.3	5.5	16.7	10.2	25	25.6	12.6	12.9	8.3	0

Saat ini perusahaan melayani 15 pelanggan untuk pengiriman dalam satu hari. Permintaan untuk tiap pelanggan memiliki dimensi dan berat berbeda. Karena berat produk relative ringan, maka bagian distribusi menggunakan dimensi box yang diguna-kanhandling untuk pengiriman saat mengitung kebutuhan ruang di kendaraan. Box yang digunakan adalah kotak plastik dengan ukuran 60 x 40 x 25 cm. Box ini nantinya akan diambil kembali, untuk digunakan pada proses pengiriman selanjutnya. Namun dalam tulisan ini, proses pengembalian box plastik ini tidak diperhitungkan.

Perusahaan saat ini memiliki dua jenis kendaraan angkut, yaitu empat unit dengan kapasitas 9 CBM (*cubic meter*) dan dua unit dengan kapasitas 11 CMB. Kendaraan dengan kapasitas 9 CBM dapat mengangkut maksimal 250 box, dan kendaraan dengan kapasitas 11 CBM dapat mengangkut maksimal 300 box. Perbedaan lain dari kedua kendaraan adalah dari biaya tetap kendaraan per-hari dan rasio penggunaan bahan bakar solar.

Saat ini, penjadwalan pengiriman yang dilakukan oleh perusahaan dilakuan dengan membuat rute kendaraan dan membagi wilayah pengiriman atas dasar kedekatan, lalu menyusun rute pengiriman berdasarkan jendela waktu pelayanan di masing-masing pelanggan. Hal ini menyulitkan karena batasan yang harus dipenuhi tidak hanya waktu tetapi juga keterbatasan kapasitas angkut. Hal ini menyebabkan waktu penyelesaian satu rute pengiriman menjadi lebih panjang, dan hal ini berdampak pada biaya transportasi.

4. Hasil dan Pembahasan

Permasalahan dalam penelitian ini, diselesaikan dengan metode *Integer Linear Programming*. Metode ini merupakan metode eksak yang digunakan dalam penyelesaian penentuan rute transportasi. Pendekatan yang digunakan adalah dengan algoritma branch and bound. Pencarian rute untuk optimasi biaya transportasi diperoleh menggunakan *software* optimasi. Hasil penugasan kendaraan, penentuan rute dan total jarak tempuh untuk setiap rute yang digunakan, ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4.

Penugasan Kendaraan dan Penentuan Rute Kendaraan Optimum

Pelanggan	Datang	Demand	Jarak
Kendaraan 1			
C	14:07	99	5.1
F	15:52	126	3
Depo	18:00		6
TOTAL		225	14.1
Kendaraan 2			
G	10:00	80	14
L	11:28	60	2.1
J	12:52	109	9.8
Depo	14:44		3.1
TOTAL		249	29
Kendaraan 3			
N	13:19	4	19.9
E	15:08	98	6.8
J	16:52	86	9.4
Depo	18:00	45	5.6
TOTAL		229	41.7
Kendaraan 4			
Tidak digunakan			
Kendaraan 5			
O	10:00	3	10.6
D	13:19	59	6.3
I	15:47	129	7.1
Depo	18:00	112	9.2
TOTAL		298	53.8
Kendaraan 6			
M	8:45	1	10.6
A	10:26	88	6.3
B	12:32	120	7.1
K	13:42	42	9.2
Depo	15:14	48	20.6
TOTAL		300	46.4

Tabel 5.
Data Biaya Distribusi Produk

Kendaraan	Palanggan	Kapasitas Truk	Demand (box)	Biaya Tetap	Biaya Variable	Biaya Handling	Biaya Total
Truk 1	C-F	250	225	226,250	64,155	375,000	665,405
Truk 2	G-L-J	250	249	226,250	131,950	474,000	832,200
Truk 3	N-E-J	250	229	226,250	189,735	454,000	869,985
Truk 5	O-D-I	300	298	278,500	277,070	523,000	1,078,570
Truk 6	M-A-B-K	300	300	278,500	238,960	600,000	1,117,460

Berdasarkan hasil penugasan dan rute kendaraan pada Tabel 4, diketahui bahwa perusahaan hanya memerlukan lima kendaraan dari enam kendaraan yang dimiliki. Tiga unit truk dengan kapasitas 250 box dan dua unit truk dengan kapasitas 300 box. Seluruh truk tidak mengangkut permintaan lebih dari kapasitas yang dimiliki. Hal ini membuat satu kendaraan yang tidak digunakan, dialokasikan untuk pengiriman ke tujuan lain. Sehingga perusahaan tidak perlu melakukan penambahan armada, melalui sistem sewa kendaraan,.

Biaya tetap diperoleh dari biaya penyusutan truk, yang diperoleh dengan mendepresiasi harga perolehan dengan perkiraan umur ekonomis truk selama 10 tahun, ditambah biaya tetap lain seperti pajak, biaya uji kir, asuransi kendaraan dan biaya pemeliharaan tetap. Total biaya ini dihitung untuk satuan rupiah per hari. Biaya variable dihitung dari biaya BBM, penyusutan ban/km, penggantian oli/ filter dan biaya lain per *trip*.

Tabel 5, menampilkan rekapitulasi hasil penentuan rute dan biaya yang terlibat dalam pengiriman tersebut. Total biaya distribusi untuk seluruh rute pengiriman sebesar Rp. 4.563.620. Biaya ini lebih rendah dibandingkan dengan biaya yang telah dikeluarkan oleh perusahaan senilai Rp. 4.694.100. Penentuan rute dapat menurunkan biaya sebesar Rp. 400.480, atau sebesar 8% dari biaya awal.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Beberapa asumsi yang digunakan menyebabkan model yang digunakan belum dapat menangkap berbagai kondisi di kondisi nyata secara tepat. Salah satunya adalah asumsi bahwa kecepatan kendaraan tepat, sehingga waktu pengiriman belum dapat mengantisipasi kemacetan atau kejadian lain selama proses pengiriman barang,

5. Kesimpulan

Penerapan metode CVRPTW dapat menurunkan biaya transportasi di perusahaan dengan tetap memenuhi seluruh batasan yang berlaku. Metode ini mengurangi jumlah kendaraan yang digunakan dari sebelumnya 6 kendaraan, setelah dilakukan optimasi, hanya 5 kendaraan yang diperlukan untuk melakukan pengantaran. Total biaya transportasi untuk seluruh rute pengiriman sebesar Rp. 4.563.620. Biaya ini lebih rendah dibandingkan dengan biaya perusahaan senilai Rp. 4.694.100. Penugasan dan penentuan rute ini menurunkan biaya transportasi sebesar Rp. 400.480, atau sebesar 8% dari biaya awal.

Pengembangan yang dapat dilakukan dari hasil penelitian ini adalah dengan mempertimbangkan permintaan pada waktu yang berbeda, karena jumlah permintaan pelanggan dapat berubah. Pengembangan lain yang dapat dilakukan adalah dengan menggabungkan pengiriman box dengan pengangkutan kembali box (*pick-up and delivery*), secara simultan.

Referensi

- [1] Y. Fang dan S. T. Ng., "Applying activity-based costing approach for construction logistics cost analysis.," *Construction Innovation*, vol. 11, no. 3, pp. 259-281, 2011.
- [2] R. Yuniarti dan M. Astuti, "Metode Saving Matrix Dalam Penjadwalan Dan Penentuan Rute Distribusi Premium Di SPBU Kota Malang.," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 4, no. 1, pp. 17-26, 2013.
- [3] R. T. Takoudjou, J.-C. Deschamps dan R. Dupas., "A MIP Formulation for the Pickup and Delivery Problem with Time Window and Transshipment.," *IFAC Proceedings*, vol. 45, no. 6, pp. 333-338, 2012.
- [4] S. N. Kumar dan P. Ramasamy, "A survey on the vehicle routing problem and its variants.," *Intelligent Information Management*, vol. 4, no. 3, p. 66, 2012.
- [5] K. Govindan, A. Jafarian, R. Khodaverdi dan K. Devika, "Two-echelon multiple-vehicle location-routing problem with time windows for optimization of sustainable supply chain network of perishable food.," *International Journal of Production Economics*, vol. 9, no. 28, p. 152, 2014.
- [6] K. Soonpracha, A. Mungwattana, G. K. Janssens dan T. Manisri, *Heterogeneous VRP review and conceptual framework.*, Hong Kong: Newswood Limited., 2014.
- [7] A. G. Qureshi, E. Taniguchi dan T. Yamada, "An exact solution approach for vehicle routing and scheduling problems with soft time windows.," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 45, no. 6, pp. 960-977, 2009.
- [8] E. Fatma dan W. Kartika, "Penjadwalan dan Penentuan Rute Distribusi Komoditas ke Wilayah Timur Indonesia.," *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, vol. 16, no. 1, pp. 40-49, 2017.
- [9] P. Toth dan V. Daniele, *The vehicle routing problem : "Branch-and-bound algorithms for the capacitated VRP"*, SIAM, 2002, pp. 29-51.
- [10] N. Azi, G. Michel dan P. Jean-Yves, "A dynamic vehicle routing problem with multiple delivery routes.," *Annals of Operations Research*, vol. 199, no. 1, pp. 103-112, 2012.