

Penentuan Rute Distribusi Menggunakan Model *Integer Linear Programming* dengan Metode *Branch and Bound*

Gratia Melina Sari, Rainisa Maini Heryanto*, Santoso

Program Studi Teknik Industri, Universitas Kristen Maranatha
Jl. Prof. drg. Surya Sumantri MPH No. 65, Bandung 40164

Abstrak

Biaya distribusi merupakan biaya yang dapat diminimalisasi perusahaan. Biaya distribusi dalam jaringan distribusi memiliki kontribusi 10% sampai 20% dari biaya akhir barang. Salah satu cara untuk meminimalisasi biaya distribusi adalah menentukan rute distribusi yang optimal yang memberikan total biaya minimum. Penelitian ini membahas penentuan rute distribusi menggunakan model *Integer Linear Programming* untuk menyelesaikan masalah *Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows (CVRPTW)*. Metode yang digunakan untuk memecahkan masalah adalah *Branch and Bound* dengan bantuan MATLAB. Model matematis yang digunakan adalah model matematis total biaya perjalanan. Studi kasus yang digunakan dalam perhitungan adalah PT XYZ, perusahaan manufaktur cat yang melakukan pendistribusian produk dari gudang ke konsumen. Saat ini, kebijakan pemesanan dan pengiriman perusahaan membuat biaya distribusi tidak efisien dan terjadi gagal pengiriman. Penelitian ini memberikan 2 skenario usulan pengiriman. Pada skenario 1, pengiriman dilakukan sesuai dengan kebijakan pada perusahaan saat ini dengan mencari biaya optimal. Pada skenario 2, permintaan akan dikumpulkan pada hari Jumat dan pengiriman akan dilakukan pada minggu berikutnya. Dari hasil perhitungan didapatkan total biaya per bulan pada rute aktual perusahaan adalah Rp. 1.349.053,49 sedangkan skenario 1 memberikan hasil Rp. 1.067.207,73 (penghematan 20,89%) dan skenario 2 memberikan hasil Rp. 602.105,21 (penghematan 55,37%).

Kata kunci: Biaya; *Branch and Bound*; CVRPTW; Distribusi; *Integer Linear Programming*; Rute

Abstract

Distribution costs are costs that could be minimized by the company. Distribution cost in distribution network contributes 10% to 20% of the final cost of products. One of the ways to minimize distribution costs is to determine the optimal distribution route that provides minimum total costs. This research study about route determination using integer linear programming model in solving the problem of CVRPTW. Method that used to solve the problem is Branch and Bound with the support of MATLAB software. The mathematical model used was total travelling cost. Case study in this research is PT XYZ, a paint manufacturing company that distributes product from warehouse to several customers. Currently, order and delivery company's policies make inefficiency in distribution costs and delivery failures occur. This study gives 2 proposed delivery scenario. In first scenario, delivery was carried out according to the current system policies in the company by looking for optimal costs. In second scenario, demand was collected on Friday and deliveries were made at the following week. From the calculation results, the total cost per month generated

*Corresponding author
Alamat email: rainisa.mh@eng.maranatha.edu

by the actual route is IDR. 1,349,053.49, first scenario is IDR. 1,067,207.73 (20.89% saving), and second scenario is IDR. 602,105.21 (55.37% saving).

Keywords: *Branch and Bound; Cost; CVRPTW; Distribution; Integer Linear Programming; Route*

Pendahuluan

Kegiatan distribusi menjadi salah satu hal yang harus diperhatikan oleh perusahaan karena kegiatan ini dapat mempengaruhi biaya akhir barang. Biaya distribusi dalam jaringan distribusi memiliki kontribusi 10% sampai 20% dari biaya akhir barang [1]. Oleh karena itu, biaya distribusi harus dapat diminimalisasi oleh perusahaan. Faktor-faktor yang mempengaruhi kegiatan distribusi dapat berupa kapasitas yang tersedia, banyaknya permintaan konsumen, dan ketepatan waktu distribusi. Kegiatan distribusi juga dapat mempengaruhi kepuasan konsumen. Setiap konsumen berharap barang yang dipesan bisa sampai dengan tepat waktu, kondisi barang yang baik, dan jumlahnya sesuai dengan pesanan. Proses distribusi memiliki peran penting dalam sebuah jaringan bisnis, baik itu untuk konsumen maupun untuk kepentingan perusahaan [2].

Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk meminimalisasi biaya distribusi adalah penentuan rute distribusi yang optimal. Penentuan rute distribusi akan menentukan lamanya waktu yang diperlukan dan biaya yang harus dikeluarkan perusahaan [3]. Studi kasus yang digunakan dalam penelitian ini adalah PT XYZ, perusahaan manufaktur yang bergerak di bidang *paint industry and chemical construction*. Dalam kegiatan distribusi, perusahaan melakukan pendistribusian barang dari gudang bahan jadi (gudang pusat) ke beberapa lokasi tujuan seperti *retailer*, distributor, dan industri *property*.

Pada saat ini, waktu kegiatan distribusi belum sesuai dengan harapan perusahaan, dimana perusahaan menginginkan waktu pengiriman barang sesuai dengan waktu yang dialokasikan dan tidak ada yang gagal kirim. Perusahaan pernah mengalami masalah gagal kirim karena konsumen yang dituju sudah tutup. Selain itu, kebijakan yang diterapkan perusahaan saat ini membuat biaya distribusi menjadi kurang efisien karena dalam satu minggu, konsumen yang sama dapat dikunjungi lebih dari satu kali oleh supir jika konsumen tersebut sering melakukan pemesanan. Metode penentuan rute pada perusahaan juga masih bersifat impulsif karena rute pengiriman barang saat ini ditentukan sesuai dengan keinginan supir.

Studi Pustaka

Supply Chain Management (SCM)

SCM merupakan pengelolaan rantai siklus yang lengkap mulai dari bahan mentah dari berbagai *supplier*, dilanjutkan dengan kegiatan operasional di perusahaan, dan berlanjut dengan pendistribusian hingga sampai ke tangan konsumen [4]. *Supply chain* melibatkan seluruh bagian, baik secara langsung atau tidak langsung, untuk memenuhi permintaan konsumen. Rantai pasokan tidak hanya berkaitan dengan manufaktur dan pemasok, tetapi juga melibatkan transportasi, gudang, *retailer*, dan pelanggan itu sendiri. Tujuan dari *supply chain* yaitu untuk memaksimalkan keseluruhan nilai. Keseluruhan *value supply chain* tersebut adalah perbedaan di antara nilai dari produk akhir terhadap pelanggan dan upaya rantai pasokan dalam memenuhi permintaan [5]. Distribusi merupakan suatu proses penyampaian barang atau jasa dari produsen ke konsumen dan

para pemakai, sewaktu dan dimana barang atau jasa tersebut diperlukan. Agar suatu kegiatan penyaluran barang dapat berjalan dengan baik, maka para pemakai saluran pemasaran harus mampu melakukan sejumlah tugas penting, yaitu; penelitian, promosi, kontak, penyelarasan, negoisasi, distribusi fisik, pembiayaan, dan pengambilan resiko [6].

Vehicle Routing Problem (VRP)

VRP pertama kali diperkenalkan oleh Dantzig dan Ramser [7] dan semenjak itu telah dipelajari secara luas. VRP sebenarnya merupakan perkembangan atau perluasan dari *Travelling Salesman Problem (TSP)*. VRP merupakan sebuah cara pencarian atas penggunaan yang efisien dari sejumlah kendaraan yang harus melakukan perjalanan untuk mengunjungi sejumlah tempat untuk mengantar dan menjemput orang atau barang. Tujuan umum dari VRP yaitu mengantarkan barang kepada pelanggan dengan biaya minimum melalui rute kendaraan yang berangkat dari depot dan kembali ke depot. Pada umumnya fungsi tujuan dari permasalahan VRP adalah meminimalisasi total jarak yang ditempuh oleh kendaraan serta meminimalisasi jumlah kendaraan yang akan digunakan. Selain itu, fungsi tujuan lain yang dapat ditambahkan yaitu seperti rentang waktu penyelesaian antar kendaraan, ataupun jenis fungsi tujuan lain sesuai kebutuhan dan karakteristik dari masing-masing permasalahan [8].

Terdapat beberapa jenis VRP yang tergantung pada jumlah faktor pembatas dan tujuan yang akan dicapai. Pembatas yang paling umum digunakan yaitu jarak dan waktu. Berdasarkan faktor pembatasnya, VRP terbagi menjadi beberapa jenis, di antaranya adalah *Capacited Vehicle Routing Problem (CVRP)* dimana kendaraan yang memiliki keterbatasan daya angkut (kapasitas) barang yang harus diantarkan ke suatu tempat. Jenis lain dari VRP adalah *Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW)* dimana setiap konsumen yang dilayani oleh kendaraan memiliki batas waktu menerima pelayanan. Kombinasi dari CVRP dan VRPTW adalah *Capacited Vehicle Routing Problem with Time Windows (CVRPTW)* yang bertujuan untuk membentuk rute optimal untuk memenuhi permintaan konsumen yang dilakukan secara *delivery* dengan kendala kapasitas dan *time windows*.

Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk memecahkan masalah VRP yaitu metode eksak, metode heuristik, dan metode metaheuristik [9]. Ketiga metode mempunyai pendekatan yang berbeda dalam pencarian solusi. Metode eksak adalah metode yang mencari solusi dari seluruh ruang solusi yang ada sehingga dapat memberikan solusi yang optimal. Metode heuristik akan menyelesaikan masalah yang didasarkan pada konsep *trial and error* tetapi mengikuti langkah-langkah yang disusun secara sistematis untuk menghasilkan solusi.

Linear Programming dan Branch and Bound

Linear programming merupakan teknik optimisasi yang digunakan dalam pemecahan masalah dalam mengalokasikan variabel-variabel untuk mencapai fungsi tujuan (minimum/maksimum). Dalam model *linear programming* dikenal dua macam fungsi, yaitu fungsi objektif (*objective function*) dan fungsi kendala (*constraint function*). Pada model *linear programming* terdapat bentuk model yang lebih khusus seperti *integer linear programming* yang merupakan sebuah model pemrograman *linear* bilangan bulat yang dapat menghasilkan solusi dengan nilai-nilai baik *integer* maupun *non-integer*.

Metode *Branch and Bound* pertama kali diperkenalkan oleh Land dan Doig (1960). Ide dasarnya adalah untuk membagi daerah solusi *feasible* menjadi daerah solusi *feasible* yang lebih kecil. Metode *Branch and bound* merupakan suatu algoritma yang digunakan

dalam permasalahan optimisasi. Pencarian solusi pada algoritma ini dimulai dengan menjabarkan kandidat solusi yang akan dicabangkan menggunakan pohon pencarian (*search tree*) dimana setiap simpul menggambarkan kemungkinan solusi. Simpul yang lebih kecil ini kemudian dapat dievaluasi secara sistematis sampai solusi terbaik ditemukan.

Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, model matematis yang digunakan mengacu pada referensi tentang VRP dan penerapan model matematis dalam industri [10] dengan dilakukannya beberapa modifikasi yaitu penambahan indeks periode dan beberapa fungsi lain. Model matematis dibuat dengan mengidentifikasi faktor apa saja yang berpengaruh terhadap variabel keputusan.

Beberapa asumsi yang digunakan dalam membuat model permasalahan CVRPTW, yaitu jika jumlah permintaan pada suatu periode melebihi kapasitas kendaraan, maka kelebihanannya akan dikirimkan pada kendaraan berikutnya, jika waktu tempuh pada suatu periode melebihi waktu tutup konsumen, maka pengiriman akan dilakukan dengan beberapa kendaraan, tingkat kemacetan untuk setiap periode diasumsikan sama sehingga waktu tempuh untuk setiap periode sama, dan kegiatan istirahat dilakukan di tempat yang searah dengan tempat tujuan berikutnya.

Indeks, Parameter, dan Variabel Keputusan

Indeks:

- i = *node* (posisi) awal
- j = *node* (posisi) tujuan
- k = kendaraan
- p = periode pengiriman

Parameter:

- N = total lokasi yang diteliti (pusat dan konsumen)
- K = total jumlah kendaraan yang tersedia
- P = total periode pengiriman
- d_{ij} = jarak yang ditempuh dari *node* i ke j
- cb = biaya bahan bakar
- ck = konsumsi bahan bakar kendaraan
- clo_j = biaya tol dari gudang ke konsumen awal
- cli_0 = biaya tol dari konsumen akhir ke gudang
- M_{ip} = jumlah permintaan di *node* i pada periode ke p
- Y_{ikp} = $\begin{cases} 1, & \text{jika } \textit{node } i \text{ dilayani oleh kendaraan } k \text{ pada periode } p \\ 0, & \text{jika } \textit{node } i \text{ tidak dilayani oleh kendaraan } k \text{ pada periode } p \end{cases}$
- Q_{kp} = kapasitas kendaraan k pada periode p
- SS_{ikp} = waktu *node* i mulai dilayani oleh kendaraan k pada periode p
- a = jam buka perusahaan
- b = jam tutup perusahaan
- AT_{ikp} = waktu kendaraan k sampai ke *node* i pada periode p
- AT_{jkp} = waktu kendaraan k sampai ke *node* j pada periode p
- ST_{ikp} = waktu pelayanan (*unloading*) di *node* i oleh kendaraan k pada periode p
- m = bilangan bulat besar
- TW_{kp} = jam kerja tersedia pada kendaraan k untuk periode p

Variabel Keputusan:

$$X_{ijkp} = \begin{cases} 1, & \text{jika kendaraan } k \text{ dibebankan dari node } i \text{ ke } j \text{ pada periode } p \\ 0, & \text{jika kendaraan } k \text{ tidak dibebankan dari node } i \text{ ke } j \text{ pada periode } p \end{cases}$$

Persamaan Matematis Fungsi Tujuan dan Fungsi Pembatas

$$F(X) = \text{Min} \left[\left(\left(\sum_{i=0}^N \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^N \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P d_{ij} * X_{ijkp} \right) * cb * ck \right) + cl_{0j} + cl_{i0} \right] * X_{ijkp} \quad (1)$$

Persamaan 1 menunjukkan fungsi tujuan dari penelitian ini yaitu menentukan rute distribusi barang yang menghasilkan biaya terkecil. Adapun komponen biaya yang digunakan yaitu biaya perjalanan yang berhubungan dengan jarak tempuh dan biaya bahan bakar kendaraan dalam pendistribusian barang, serta biaya tol dari gudang ke konsumen pertama dan dari konsumen terakhir ke gudang.

Fungsi pembatas ditentukan sebagai berikut:

1. Total jumlah barang yang dibawa tidak melebihi kapasitas kendaraan ditunjukkan pada persamaan 2 berikut ini:

$$\sum_{i=1}^N M_{ip} * Y_{ikp} \leq Q_{kp}, \text{ untuk } k = \{1, \dots, 3\}; p = \{1, 2, \dots, 17\} \quad (2)$$

2. Jumlah kendaraan yang berangkat dan kembali ke pusat (node 0) tidak melebihi jumlah kendaraan yang tersedia ditunjukkan pada persamaan 3 berikut ini:

$$\sum_{k=1}^K Y_{ikp} \leq K, \text{ untuk } i = 0; p = \{1, 2, \dots, 17\} \quad (3)$$

3. Setiap kendaraan hanya bisa mengunjungi node (konsumen) satu kali ditunjukkan pada persamaan 4 berikut ini:

$$\sum_{k=1}^K Y_{ikp} = 1, \text{ untuk } i = \{1, 2, \dots, 45\}; p = \{1, 2, \dots, 17\} \quad (4)$$

4. Pengaturan time windows ditunjukkan pada persamaan 5 sampai dengan persamaan 10 berikut ini:

Waktu memulai pelayanan (SS_{ikp}) lebih besar dari jam buka perusahaan (a) dan lebih kecil dari jam tutup perusahaan (b) untuk semua node dan periode.

$$a \leq SS_{ikp} \leq b, \text{ untuk } i = \{1, 2, \dots, 45\}; k = \{1, \dots, 3\}; p = \{1, 2, \dots, 17\} \quad (5)$$

Waktu sampai di node ke-i (AT_{ikp}) lebih besar dari jam buka konsumen (a) untuk semua kendaraan dan periode

$$AT_{ikp} \geq a, \text{ untuk } i = \{1, 2, \dots, 45\}; k = \{1, \dots, 3\}; p = \{1, 2, \dots, 17\} \quad (6)$$

Waktu memulai pelayanan (SS_{ikp}) sama dengan waktu sampai di node i (AT_{ikp}) untuk semua konsumen, kendaraan dan periode.

$$SS_{ikp} = AT_{ikp}, \text{ untuk } i = \{1, 2, \dots, 45\}; k = \{1, \dots, 3\}; p = \{1, 2, \dots, 17\} \quad (7)$$

Waktu sampai di node j (node berikutnya) adalah penjumlahan dari waktu awal buka toko (a) dengan lamanya waktu perjalanan dari pusat ke node j (T_{ijkp}).

$$AT_{jkp} = a + T_{ijkp} - m * (1 - X_{ijkp}), \text{ untuk } i = \{1, 2, \dots, 45\}; k = \{1, \dots, 3\}; p = \{1, 2, \dots, 17\} \quad (8)$$

Waktu sampai di node j (node berikutnya) adalah penjumlahan dari waktu dimulainya pelayanan di node i (SS_{ikp}) dan lamanya waktu pelayanan/unloading (ST_{ikp}) dengan lamanya waktu perjalanan dari node i (node awal) ke node j (T_{ijkp}).

$$AT_{jkp} = SS_{ikp} + ST_{ikp} + T_{ijkp} - M * (1 - X_{ijkp}), \text{ untuk } i = \{1, 2, \dots, 45\};$$

$$j = \{0, 1, \dots, 45\}; k = \{1, \dots, 3\}; p = \{1, 2, \dots, 17\}; j \neq i \tag{9}$$

Total waktu pendistribusian tidak boleh melebihi waktu tutup toko

$$J_{kp} \leq TW_{kp}, \text{ untuk } k = \{1, \dots, 3\}; p = \{1, 2, \dots, 17\} \tag{10}$$

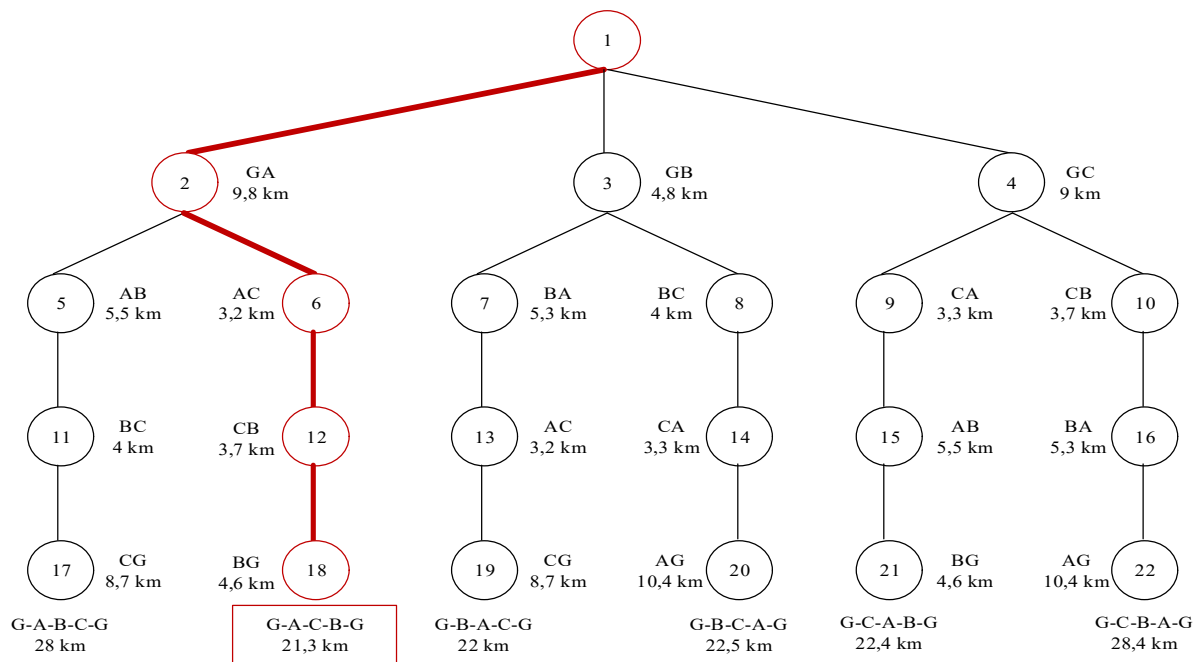
5. Y_{ikp} adalah bilangan biner yang menunjukkan pembebanan kendaraan terhadap konsumen seperti ditunjukkan pada persamaan 11 berikut ini:

$$Y_{ikp} \in \{0,1\}, \text{ untuk } i = \{0, 1, \dots, 45\}; k = \{1, \dots, 3\}; p = \{1, 2, \dots, 17\} \tag{11}$$

Pengolahan model matematis menggunakan *software* MATLAB R2019a. Dalam pengolahan data ini dibutuhkan data-data seperti data jarak, jumlah permintaan, lamanya waktu pelayanan, jam kerja yang tersedia, waktu buka dan waktu tutup konsumen, biaya tol, biaya bahan bakar per liter dan biaya konsumsi bahan bakar untuk kendaraan. Model tersebut dijalankan dengan spesifikasi laptop yang digunakan yaitu sebagai berikut :

| | |
|-------------------------|---|
| <i>Operating System</i> | : Windows 10 Pro (64 bit) |
| <i>Processor</i> | : Intel Core i5-7200U CPU up to 3,16 Hz |
| RAM | : 4,00 GB |
| HDD | : 1 TB |

Sebelum dilakukan perhitungan, *software* MATLAB divalidasi dengan menggunakan kasus sederhana yang dihitung secara manual. Validasi dilakukan untuk mengetahui apakah *coding* yang telah dibuat sudah sesuai dengan perhitungan. Kasus sederhana yang digunakan terdiri dari 1 gudang (G) dan 3 toko (A, B, dan C) menggunakan metode *branch and bound* dengan *search tree* yang dapat dilihat pada Gambar 1. Simpul yang lebih kecil dievaluasi secara sistematis sampai solusi terbaik ditemukan.



Gambar 1. Search tree

Dari perhitungan manual didapatkan biaya distribusi paling murah adalah Rp. 26.542,78 dengan rute G-A-C-B-G. Data yang sama dimasukkan ke dalam *software* MATLAB dan didapatkan hasil yang dapat dilihat pada Gambar 2.

Hasil perhitungan manual dan *software* memberikan hasil yang sama, dengan demikian *software* dapat dikatakan valid untuk digunakan pada kasus yang lebih kompleks pada penelitian ini.

```

Command Window
Percobaan ke 1 Biaya = 32390.37
Waktu tempuh: 98 menit

Percobaan ke 2 Biaya = 27448.74
Waktu tempuh: 86 menit

Percobaan ke 3 Biaya = 27531.11
Waktu tempuh: 93 menit

Percobaan ke 4 Biaya = 27119.30
Waktu tempuh: 91 menit

Percobaan ke 5 Biaya = 26542.78
Waktu tempuh: 85 menit

Percobaan ke 6 Biaya = 32060.93
Waktu tempuh: 97 menit

HASIL ALGORITMA:
Rute yang paling efisien adalah:
ans =

    1     2     4     3     1

Yang merupakan percobaan ke 5
Jarak tempuh jalur ini adalah 21.3 km
dan dapat ditempuh dalam waktu 85 menit
dan memerlukan biaya sebesar Rp.26542.78

```

Gambar 2. Output MATLAB

Pada penelitian ini, terdapat dua skenario yang diusulkan, skenario pertama yaitu pengiriman sesuai dengan sistem aktual dimana pada skenario 1 tersebut dilakukan pencarian total jarak, waktu tempuh, dan biaya yang optimalnya, sedangkan pada skenario kedua yaitu mengusulkan untuk mengelompokkan konsumen menjadi beberapa *cluster* dengan menggunakan *saving matrix* [11] serta melakukan pengiriman sesuai dengan *cluster* dengan data-data permintaan yang masuk pada hari Senin-Jumat dan akan dikumpulkan pada hari Jumat untuk dilakukan pengelompokkan pengirimannya sesuai dengan kode setiap toko pada minggu berikutnya. Hal tersebut dilakukan agar mempermudah supir dalam melakukan kegiatan distribusi yang sesuai dengan *clusternya*.

Hasil dan Pembahasan

Metode penentuan rute yang dilakukan perusahaan saat ini masih bersifat impulsif sehingga waktu tempuh dan jarak diperkirakan masih dapat diperbaiki. Dengan menggunakan metode penentuan saat ini, perusahaan terkadang masih mengalami gagal kirim karena kegiatan distribusi melebihi waktu jam tutup konsumen. Kebijakan pemesanan yang diterapkan perusahaan saat ini masih belum efisien, dimana pesanan konsumen dikumpulkan pada hari yang sama. Perusahaan melakukan pengiriman sehari setelah konsumen melakukan pemesanan. Dalam pandangan perusahaan, jika konsumen yang sama memesan beberapa kali dalam periode satu minggu maka perusahaan harus bisa melayani permintaan konsumen dengan mengirimkan produk di hari berikutnya lebih dari satu kali pengiriman walaupun jumlah pesanan konsumen tidak banyak. Hal ini membuat biaya distribusi yang dikeluarkan oleh perusahaan menjadi tidak efisien. Hasil perhitungan biaya operasional distribusi aktual, skenario 1, dan skenario 2 selama 1 bulan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Biaya operasional distribusi aktual

| No | Total drop point | Total muatan (Kg) | Rute aktual | Jarak tempuh (Km) | Waktu tempuh & pelayanan (menit) | Total biaya |
|-------|------------------|-------------------|--------------------------------|-------------------|----------------------------------|-----------------|
| 1 | 8 | 530 | G-C7-C9-C6-C10-D8-D15-A7-G | 88,30 | 207,68 | Rp 81.724,29 |
| 2 | 5 | 363 | G-D2-A5-A6-A1-B9-G | 85,40 | 156,86 | Rp 83.335,84 |
| 3 | 6 | 416 | G-D11-D10-D9-D6-A6-B8-G | 84,60 | 183,08 | Rp 82.676,96 |
| 4 | 7 | 378 | G-D2-D14-D1-C10-C9-C2-B4-G | 104,00 | 187,72 | Rp 98.654,89 |
| 5 | 8 | 362 | G-D6-D14-D1-C11-C8-B1-B6-A9-G | 90,90 | 202,22 | Rp 87.865,66 |
| 6 | 6 | 487 | G-C1-D6-C5-C10-A6-B5-A8-A10-G | 90,50 | 172,22 | Rp 85.536,22 |
| 7 | 5 | 424 | G-A8-A10-B7-C10-D15-G | 74,80 | 154,87 | Rp 74.605,63 |
| 8 | 9 | 639 | G-C11-C3-C10-C4-C8-D2-B4-A10-G | 102,20 | 222,71 | Rp 95.172,40 |
| 9 | 7 | 411 | G-D8-D5-C10-C1-B8-A4-A10-G | 93,60 | 192,94 | Rp 91.089,40 |
| 10 | 3 | 520 | G-D13-A6-B8-G | 52,20 | 108,36 | Rp 55.992,16 |
| 11 | 7 | 405 | G-C11-C5-C9-D2-A8-A7-A3-G | 97,10 | 184,94 | Rp 90.972,01 |
| 12 | 4 | 360 | G-C7-D4-B5-A3-G | 63,30 | 121,93 | Rp 63.134,18 |
| 13 | 5 | 309 | G-D13-C1-A10-A6-A2-G | 60,40 | 137,21 | Rp 62.745,72 |
| 14 | 5 | 343 | G-D2-A2-B2-B3-B8-G | 80,51 | 148,50 | Rp 79.308,41 |
| 15 | 1 | 200 | G-D2-G | 60,30 | 66,61 | Rp 62.663,36 |
| 16 | 4 | 481 | G-D2-D8-C8-A2-G | 72,30 | 129,10 | Rp 72.546,62 |
| 17 | 7 | 382 | G-A9-A4-A6-C10-D3-D12-D5-G | 82,60 | 176,65 | Rp 81.029,75 |
| Total | | | | 1.383,01 | 2.753,59 | Rp 1.349.053,49 |

Tabel 2. Biaya operasional distribusi skenario 1

| No | Total drop point | Total muatan (Kg) | Rute optimisasi | Jarak tempuh optimisasi (Km) | Waktu tempuh optimisasi (menit) | Biaya optimisasi |
|-------|------------------|-------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------------------|------------------|
| 1 | 8 | 530 | G-A10-A7-D15-D8-C6-C7-C10-C9-G | 66,7 | 181,66 | Rp 65.934,43 |
| 2 | 5 | 363 | G-A5-B9-D2-A1-A6-G | 45,4 | 129,34 | Rp 50.391,65 |
| 3 | 6 | 416 | G-B8-D6-D11-D10-D9-A6-G | 50,3 | 151,06 | Rp 54.427,31 |
| 4 | 7 | 378 | G-B4-C10-C9-D1-D2-D14-G | 67,3 | 166,2 | Rp 68.428,59 |
| 5 | 8 | 362 | G-B1-B6-C8-C11-D1-D6-D14-A9-G | 62,9 | 168,2 | Rp 64.804,73 |
| 6 | 4 | 137 | G-C5-C10-A6-A8-G | 45,5 | 137,37 | Rp 48.474,01 |
| | 4 | 350 | G-C1-D6-B5-A10-G | 61,4 | 165 | Rp 61.569,33 |
| 7 | 3 | 313 | G-D15-B7-C10-G | 57,5 | 99,19 | Rp 58.357,27 |
| 8 | 9 | 639 | -B4-A7-A10-D2-C8-C11-C10-C4-C3- | 67,8 | 263,68 | Rp 66.840,40 |
| 9 | 7 | 411 | G-C1-C10-B8-D8-D5-A10-A4-G | 68,1 | 174,92 | Rp 67.087,48 |
| 10 | 3 | 520 | G-B8-D13-A6-G | 38,3 | 103,37 | Rp 44.544,06 |
| 11 | 7 | 405 | G-C5-C9-C11-D2-A3-A7-A8-G | 66,9 | 159,92 | Rp 64.099,15 |
| 12 | 4 | 360 | G-C7-B5-D4-A3-G | 58,9 | 117,91 | Rp 59.510,32 |
| 13 | 5 | 309 | G-C1-D13-A2-A10-A6-G | 43,2 | 127,19 | Rp 46.579,72 |
| 14 | 5 | 343 | G-B3-B8-B2-D2-A2-G | 52,4 | 130,48 | Rp 56.156,88 |
| 15 | 1 | 200 | G-D2-G | 60,3 | 66,60 | Rp 62.663,36 |
| 16 | 4 | 481 | G-A2-D2-D8-C8-G | 57,2 | 123,07 | Rp 58.110,19 |
| 17 | 7 | 382 | G-C10-D3-D5-D12-A9-A4-A6-G | 70,7 | 168,63 | Rp 69.228,85 |
| Total | | | | 1.040,8 | 2.496,42 | Rp 1.067.207,73 |

Tabel 3. Biaya operasional distribusi skenario 2

| No | Total drop point | Total muatan (Kg) | Rute optimisasi | Jarak tempuh optimisasi (Km) | Waktu tempuh optimisasi (menit) | Biaya optimisasi |
|-------|------------------|-------------------|--|------------------------------|---------------------------------|------------------|
| 1 | 8 | 541 | G-A5-A10-A8-A1-A7-A11-A9-A6-G | 38,80 | 163,52 | Rp 44.955,86 |
| 2 | 6 | 461 | G-B5-B1-B9-B6-B7-G | 39,61 | 151,64 | Rp 45.622,98 |
| 3 | 7 | 434 | G-C7-C8-C5-C9-C6-C1-C4-G | 49,80 | 150,78 | Rp 50.015,51 |
| 4 | 10 | 1100 | G-D11-D8-D12-D6-D1-D2-D16-D10-D9-D15-G | 53,70 | 232,17 | Rp 57.227,57 |
| 5 | 7 | 725 | G-A10-A3-A11-A7-A8-A4-A6-G | 39,40 | 158,69 | Rp 45.450,02 |
| 6 | 5 | 751 | G-B2-B5-B9-B6-B8-G | 36,61 | 153,12 | Rp 43.152,00 |
| 7 | 7 | 621 | G-C7-C8-C5-C9-C6-C3-C2-G | 51,40 | 155,39 | Rp 51.333,28 |
| 8 | 6 | 551 | G-D14-D16-D8-D2-D5-D4-G | 60,10 | 157,52 | Rp 62.498,64 |
| 9 | 5 | 460 | G-A4-A9-A11-A2-A6-G | 36,80 | 119,64 | Rp 43.308,65 |
| 10 | 4 | 205 | G-B2-B4-B9-B3-G | 37,20 | 100,46 | Rp 43.638,09 |
| 11 | 2 | 225 | G-C8-C6-G | 48,90 | 81,89 | Rp 49.274,27 |
| 12 | 6 | 825 | G-D13-D5-D8-D3-D2-D14-G | 63,90 | 166,56 | Rp 65.628,34 |
| Total | | | | 556,22 | 1.791 | Rp 602.105,21 |

Dari hasil biaya aktual dan usulan yang telah diolah didapatkan masing-masing total biaya yang berbeda. Berikut merupakan perbandingan total biaya aktual dengan usulan yang dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan total biaya aktual dan usulan

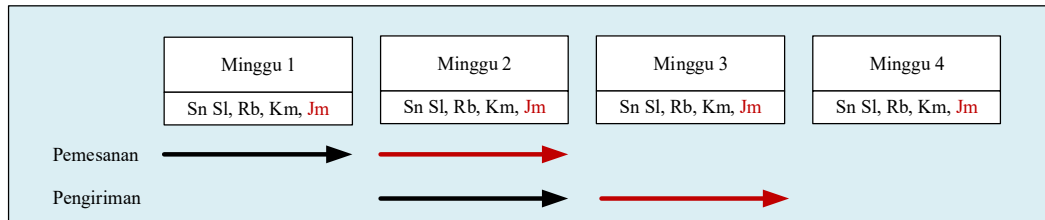
| Total biaya | |
|-------------|-----------------|
| Aktual | Rp 1.349.053,49 |
| Skenario 1 | Rp 1.067.207,73 |
| Skenario 2 | Rp 602.105,21 |

Total biaya yang dihasilkan rute aktual sebesar Rp. 1.349.053,49 per bulan, skenario 1 sebesar Rp. 1.067.207,73 per bulan, dan skenario 2 adalah sebesar Rp. 602.105,21 per bulan. Total penghematan biaya yang dihasilkan skenario 1 sebesar 20,89% dan skenario 2 sebesar 55,37%. Pada kasus ini, jika perusahaan ingin tetap menerapkan kebijakan pemesanan sebelumnya, maka skenario 1 memiliki biaya yang lebih kecil. Jika perusahaan ingin kebijakan pemesanannya diubah, maka skenario 2 memiliki biaya yang lebih kecil. Selain meminimalisasi biaya, pada skenario 1 juga meminimalisasi jarak sebesar 342,21 km atau 24,74%, serta dalam segi waktu dapat diminimalisasi sebesar 257,17 menit atau 9,34%. Skenario 2 juga meminimalisasi jarak sebesar 826,79 km atau 59,78%, serta dalam segi waktu dapat diminimalisasi sebesar 962,21 menit atau 34,94%.

Pada skenario 2 terdapat perubahan kebijakan pemesanan dan pengiriman yaitu dengan melakukan pengumpulan pesanan konsumen terlebih dahulu, yang melakukan pemesanan dari hari Senin sampai Jumat. Pesanan tersebut dikumpulkan pada hari Jumat dan akan dikirim pada hari Senin sampai Kamis minggu berikutnya, penggambaran skenario dapat dilihat pada Gambar 3. Pada skenario 2 ini, kegiatan pengiriman dilakukan sesuai dengan *cluster* sehingga jarak antar konsumen lebih dekat. Pertimbangan yang harus dilakukan dalam menerapkan skenario 2 ini adalah *penalty* pesanan konsumen yang diterima dimana pengirimannya harus mundur beberapa hari, selain itu perlu dipertimbangkan juga adanya *lost sales* karena adanya kemungkinan konsumen berpindah ke pesaing.

Dalam penerapan skenario 2 ini diperlukan negosiasi dengan konsumen dan dengan adanya perubahan kebijakan ini perlu dilakukan *benefit sharing* bagi perusahaan dan konsumen. Kebijakan usulan memungkinkan biaya distribusi menjadi lebih murah,

sehingga keuntungan yang didapat oleh perusahaan meningkat. Di sisi lain mungkin saja konsumen harus menunggu lama. Hal tersebut dapat diatasi dengan melakukan *benefit sharing* misalnya dengan memberikan potongan harga sesuai dengan hari pengirimannya. Tetapi dengan diterapkan perubahan kebijakan juga memungkinkan adanya ancaman bagi perusahaan karena kompetitor memiliki kesempatan untuk menguasai pasar karena kompetitor tersebut mungkin bisa melakukan pengiriman yang lebih cepat.



Gambar 3. Pemesanan dan pengiriman skenario 2

Kesimpulan

Metode yang diusulkan untuk memperbaiki masalah rute pengiriman saat ini adalah menggunakan model *Integer Linear Programming* yang diolah menggunakan metode *Branch and Bound* dengan bantuan *software* MATLAB (skenario 1). Model ini digunakan untuk mencari total biaya yang optimal yang bisa dikeluarkan oleh perusahaan dalam melakukan kegiatan distribusi.

Dalam studi kasus, diusulkan agar perusahaan mengubah kebijakan pemesanan dan pengiriman dimana pemesanan dilakukan dengan mengumpulkan semua permintaan konsumen selama hari Senin sampai Jumat terlebih dahulu, agar konsumen yang sama yang telah melakukan pemesanan beberapa kali bisa digabungkan pengirimannya. Data-data permintaan yang masuk pada hari Senin sampai Jumat akan dikumpulkan pada hari Jumat untuk dilakukan pengelompokan pengirimannya sesuai dengan kode setiap toko pada minggu berikutnya (skenario 2).

Manfaat dan kelebihan dari metode penentuan rute usulan bagi perusahaan adalah total biaya yang dihasilkan pada skenario 1 dan 2 lebih murah. Selain meminimalisasi biaya, usulan pada skenario 1 juga meminimalisasi jarak dan waktu.

Daftar Pustaka

- [1] P. Toth and D. Vigo, "An overview of vehicle routing problems," in *The vehicle routing problem*, ed: SIAM, 2002, pp. 1-26.
- [2] R. Yohanes, Santoso, and R. M. Heryanto, "Penentuan Rute Distribusi yang Mempertimbangkan Multi Trips, Time Window, Simultaneous Pickup Delivery dengan Menggunakan Algoritma Sequential Insertion," in *Seminar Nasional Teknik Industri, Universitas Gadjah Mada*, 2020.
- [3] Y. Stephanie, Santoso, and R. M. Heryanto, "Determination of Distribution Route using Linear Programming Model (Case Study at Washing Jeans Company)," in *2019 1st International Conference on Engineering and Management in Industrial System (ICOEMIS 2019)*, 2019.
- [4] S. Chopra, P. Meindl, and D. V. Kalra, *Supply chain management: strategy, planning, and operation* vol. 232: Pearson Boston, MA, 2013.

- [5] I. N. Pujawan and Mahendrawathi, *Supply Chain Management*, 3 ed. Yogyakarta: Andi, 2017.
- [6] P. Kotler, *Manajemen Pemasaran (Analisis, Perencanaan, Implementasi dan Pengendalian)*: Erlangga, 1993.
- [7] G. B. Dantzig and J. H. Ramser, "The truck dispatching problem," *Management science*, vol. 6, pp. 80-91, 1959.
- [8] R. Prana, "Aplikasi kombinatorial pada vehicle routing problem," *Jurnal Teknik Informatika ITB*, 2007.
- [9] K. Braekers, K. Ramaekers, and I. Van Nieuwenhuysse, "The vehicle routing problem: State of the art classification and review," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 99, pp. 300-313, 2016.
- [10] P. Toth and D. Vigo, *Vehicle routing: problems, methods, and applications*, Second ed.: SIAM, 2014.
- [11] G. M. Sari, "Laporan Kerja Praktek Magang Bagian Transportasi Rute di PT XYZ-Bandung," Universitas Kristen Maranatha, Bandung, 2018.