

OPTIMASI RUTE PENGIRIMAN BAHAN BAKU CKD PART DENGAN PENDEKATAN *CAPACITATED VEHICLE ROUTING PROBLEMS (CVRP)* DI PT XYZ

Purnawan Adi Wicaksono*¹, Lia Kusniawati²

Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,

Jl. Prof. Soedarto, SH, Semarang, Indonesia 50275

Telp. (024) 7460052

Email: liakusniawati@students.undip.ac.id

Abstrak

Aktivitas transportasi logistik berkontribusi besar terhadap pengeluaran biaya perusahaan. Setiap perusahaan akan membentuk strateginya dalam mengatasi permasalahan pemilihan rute kendaraan, armada kendaraan, hingga penjadwalan kendaraan atau yang biasa dikenal dengan istilah *Vehicle Routing Problem (VRP)*. Permasalahan yang terjadi pada PT XYZ adalah perusahaan belum menggunakan metode yang terstruktur dalam menentukan rute transportasi logistik sehingga tidak dapat mengkalkulasikan seberapa efektif rute yang dibentuk. Selama ini penentuan rute hanya dibentuk di awal pengerjaan *project* dan seterusnya akan mengikuti rute tersebut meskipun terjadi perubahan jumlah permintaan, yang mana hal ini akan menurunkan efisiensi kendaraan dan meningkatkan biaya logistik. Untuk itu dibutuhkan perancangan rute yang optimal dengan metode yang tepat agar rute yang terbentuk efektif dan menghasilkan biaya yang minimum. Permasalahan pada perusahaan ini dikategorikan ke dalam model *Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)*. Pada penelitian ini digunakan algoritma *insertion heuristic* dan *large neighborhood search* dalam perancangan program dengan bahasa pemrograman *Vehicle Basic for Application (VBA)* untuk menyelesaikan permasalahan penentuan rute optimal. Perancangan program ini bertujuan untuk menentukan rute yang optimal secara lebih cepat dalam menghadapi permintaan bahan baku yang berubah setiap harinya. Hasil akhir pada penelitian ini adalah berupa penentuan rute optimal berdasarkan output program dengan biaya terendah serta masih berada di dalam batasan waktu kerja dan kapasitas kendaraan. Berdasarkan hasil kalkulasi program rancangan, diperoleh total jarak tempuh dan total biaya pada rute optimal untuk data *forecast* adalah 464,5 km dan Rp 5.574.000,00 menggunakan 3 kendaraan homogen.

Kata kunci: Logistik, VRP, CVRP, *Insertion Heuristic*, *Large Neighborhood Search*, VBA

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Logistik berperan penting dalam operasi suatu perusahaan. Logistik didefinisikan sebagai proses strategis dalam pengelolaan pada pengadaan barang, perpindahan barang hingga penyimpanan barang, bahan baku dan bahan jadi beserta aliran informasi pada perusahaan dan pasar dalam rangka mencapai keuntungan maksimal dengan biaya minimal serta untuk pemenuhan kebutuhan konsumen (Christopher, 2005).

Pada aspek transportasi, logistik berperan dalam menentukan moda transportasi yang paling efisien untuk mengangkut bahan baku maupun produknya. Dengan merencanakan rute pengiriman yang optimal, memilih kendaraan yang sesuai, serta menetapkan penjadwalan kendaraan, perusahaan dapat mengurangi biaya transportasi dan meningkatkan efisiensi transportasi tersebut. Kalimat tersebut sesuai dengan pernyataan Bodin et al. (1983) dalam Arvianto et al. (2014) yang menyebutkan bahwa beberapa pertimbangan utama dalam permasalahan sistem distribusi atau pengiriman yaitu pemilihan rute kendaraan, armada kendaraan, hingga penjadwalan kendaraan. Pertimbangan utama inilah yang saat ini akrab dengan istilah *Vehicle Routing Problem (VRP)*.

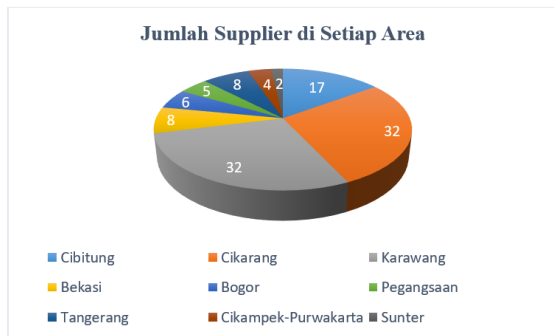
Vehicle Routing Problem (VRP) adalah permasalahan optimalisasi dalam riset operasional dan logistik yang melibatkan penentuan rute yang efisien untuk armada kendaraan dalam melayani kebutuhan beberapa pelanggan atau lokasi. Tujuannya adalah untuk meminimalkan total jarak tempuh, waktu yang dibutuhkan, maupun biaya yang dikeluarkan oleh kendaraan sekaligus memenuhi berbagai kendala seperti kapasitas kendaraan, jangka waktu, dan persyaratan pengiriman (Toth & Vigo, 2002).

PT XYZ adalah salah satu perusahaan manufaktur otomotif terbesar di Indonesia. Proses bisnis yang dijalankan PT XYZ selain merakit mobil adalah membuat alat pencetak *body* mobil (*jig* dan *dies*), membuat komponen kendaraan, serta sebagai eksportir kendaraan dan komponen kendaraan ke beberapa negara. Perusahaan ini memiliki sebuah *project* untuk mempersiapkan ekspor CKD *part* pada model *Multi Purpose Vehicle (MPV)* ke salah satu negara di Asia Tenggara dalam jumlah besar dan berkelanjutan. CKD merupakan singkatan dari *Completely Knocked Down* yang mengacu pada produk yang sebagian dirakit, dibongkar atau tidak dirakit, dan dikirim sebagian untuk dirakit di lokasi lain atau dalam hal ini oleh negara pengimpor (Jacobs & Chase, 2018).

PT XYZ dalam menjalankan proses bisnis logistiknya, berkolaborasi dengan jasa logistik perusahaan lain atau yang biasa disebut dengan *logistic partner* untuk membantu aktivitas pengiriman bahan baku produksinya. Dalam hal ini, PT XYZ berperan dalam merancang sistem pengiriman bahan baku produk sebaik mungkin untuk selanjutnya pihak *logistic partner* yang akan menjalankan aktivitas pengiriman tersebut dengan kendaraan miliknya.

Saat ini, perusahaan telah mengadopsi sistem *milkrun delivery* pada pengiriman bahan baku CKD *part* dengan batasan pada kapasitas kendaraan pengangkut. *Milkrun delivery* adalah sistem pengiriman dimana kendaraan yang digunakan untuk mengambil barang dari beberapa *supplier* di lokasi berbeda, kemudian mengirimkannya ke satu pelanggan berdasarkan rute yang telah dirancang sebelumnya sehingga dapat meminimalkan waktu, jarak, dan biaya transportasi (Handfield & Nichols, 1999).

Dalam memenuhi kebutuhan produksinya, PT XYZ melakukan pengiriman secara *milkrun* dengan total 114 *supplier* yang terbagi menjadi 9 area yaitu Cibitung, Bekasi, Tangerang, Cikarang, Bogor, Cikampek-Purwakarta, Karawang, Pegangsaan, dan Sunter yang jumlah setiap *supplier*-nya berbeda-beda. Berikut merupakan grafik persebaran *supplier* bahan baku CKD *part* model BMPV di PT XYZ.



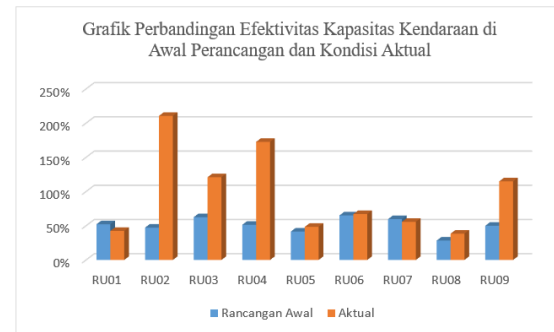
Gambar 1. Persebaran *Supplier* CKD *Part* MPV

Dari seluruh *supplier* yang tersebar di berbagai daerah, Cikarang dan Karawang memiliki jumlah *supplier* terbanyak yang berjumlah 32 *supplier*. Diantara keduanya, area Karawang memiliki jarak distribusi yang lebih jauh dibandingkan dengan area Cikarang. Atas dasar alasan tersebut, maka dipilih area *supplier* yang berada di area Karawang untuk dijelaskan perbaikan sistem transportasi pengiriman bahan bakunya.

Perusahaan dalam menentukan rute pengirimannya, hanya berdasarkan perkiraan saja dengan menggabungkan beberapa *supplier* yang memiliki posisi geografis berdekatan ke dalam 1 rute dan 1 kendaraan dengan mempertimbangkan kapasitas volume kendaraan. Volume yang digunakan untuk pertimbangan kapasitas kendaraan ini adalah rata-rata volume permintaan bahan baku berdasarkan hasil *forecasting* dari *Original Annual*

Plan (OAP) dan rencana produksi *vehicle* dari pihak importir. Kelemahan dari penentuan rute secara tradisional ini adalah apabila suatu waktu *demand* meningkat atau menurun secara signifikan, kapasitas kendaraan yang mulanya telah diperkirakan optimal, menjadi tidak optimal. Kebijakan yang ditetapkan oleh perusahaan apabila *demand* meningkat adalah dengan menambah jumlah kendaraan pada rute tersebut.

Berikut merupakan grafik perbandingan kapasitas kendaraan di awal perancangan *milkrun* dengan kondisi aktual per tanggal 29 November 2022.



Gambar 2. Grafik Perbandingan Efektivitas Kendaraan

Grafik biru merepresentasikan efektivitas kapasitas kendaraan ketika awal perancangan *milkrun*, sementara grafik coklat merepresentasikan kondisi aktualnya per tanggal 29 November 2022. RU01 hingga RU09 adalah nomor rutenya. Berdasarkan grafik tersebut, menunjukkan bahwa adanya perubahan efektivitas kapasitas kendaraan yang cukup signifikan pada beberapa rute. Hal ini menyebabkan perusahaan perlu menambah jumlah kendaraan yang dibutuhkan untuk mengirim bahan baku dari *supplier* ke pabrik, yang mana hal ini bisa mengurangi optimalitas pada muatan kendaraan tersebut. Selain itu, yang menjadi permasalahan adalah efektivitas kapasitas kendaraan pada beberapa rute masih belum optimal diakibatkan oleh metode penentuan rutenya yang berdasarkan wilayah-wilayah tertentu. Sebagai contoh, RU06 yang mewakili wilayah Karawang Timur memiliki efektivitas 65% sementara RU08 yang mewakili wilayah Sunter hanya 28%. Sehingga terjadi ketimpangan antara efektivitas kapasitas kendaraan pada rute satu dengan yang lainnya. Akibatnya, efektivitas kapasitas kendaraan yang seharusnya optimal atau setara dengan 68,5%, menjadi jauh di bawah angka tersebut.

Berdasarkan fakta-fakta di atas, maka perlu dilakukan perbaikan dalam optimalisasi rute dan kapasitas kendaraan sehingga potensi muatan kendaraan yang tidak optimal dapat dikurangi sekaligus mereduksi jumlah kendaraan yang digunakan dan menekan total biaya logistik. Selain itu, untuk mengatasi ketidakpastian jumlah permintaan bahan baku setiap harinya, diperlukan sebuah program untuk membantu perusahaan dalam menentukan rute terbaik secara otomatis.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini sebagai berikut:

1. Menentukan rute optimal pengiriman bahan baku CKD *part* dari *supplier* ke PT XYZ berdasarkan karakteristik *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP).
2. Mengembangkan program penyelesaian *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) untuk mengatasi ketidakpastian jumlah permintaan bahan baku CKD *part* setiap harinya.

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini, masalah yang dibatasi agar penelitian tidak menyimpang dari pokok permasalahan adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan di PT XYZ tepatnya di pabrik yang berada di Sunter, Jakarta Utara.
2. Varian yang dibahas hanya untuk pengiriman bahan baku CKD *part* model *Multi Purpose Vehicle* (MPV).
3. Estimasi jarak dan waktu perjalanan menggunakan bantuan *google maps* dengan asumsi jalur yang dilewati mampu dijangkau kendaraan roda 4 dan tidak melewati jalan alternatif.
4. *Supplier* yang diteliti hanya untuk area Karawang.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Manajemen Logistik

Manajemen logistik adalah komponen penting dari *supply chain management* yang bertujuan memenuhi permintaan pelanggan. Manajemen logistik melibatkan perencanaan, pengendalian, serta pelaksanaan pergerakan dan penyimpanan barang dan jasa dari titik awal (*point of origin*) ke titik konsumsi (*point of consumption*). Dengan demikian, hal ini memungkinkan organisasi untuk mengurangi biaya dan meningkatkan kepuasan pelanggan. Asal usul istilah 'logistik' sebelumnya dikenal dalam basis militer yang mencakup bagaimana personel militer memperoleh, menyimpan, dan memindahkan peralatan dan persediaan tentara. Istilah ini sekarang banyak digunakan di seluruh industri bisnis, terutama oleh organisasi di sektor manufaktur (Indian Institute of Materials Management, 2020). Sementara itu, logistik didefinisikan sebagai proses strategis dalam pengelolaan pada pengadaan barang, perpindahan barang hingga penyimpanan barang, bahan baku dan bahan jadi beserta aliran informasi pada perusahaan dan pasar dalam rangka mencapai keuntungan maksimal dengan biaya minimal serta untuk pemenuhan kebutuhan konsumen (Christopher, 2005).

2.2 Transportasi

Transportasi merupakan aktivitas perpindahan manusia atau barang dari satu tempat ke tempat lain. Menurut Nasution (1996), beberapa faktor yang mempengaruhi terjadinya transportasi adalah ketersediaan muatan yang diangkut, barang yang diangkut, dan jalan yang dilalui. Transportasi menjadi kunci utama bagi perusahaan dalam rantai persediaan karena proses pengiriman bahan baku yang tidak hanya berasal dari satu *supplier* saja, melainkan bisa dari puluhan hingga ratusan *supplier*. Transportasi merupakan komponen biaya yang cukup besar dalam pengeluaran perusahaan (Nasution, 1996). Selain itu, transportasi juga berperan besar khususnya perusahaan yang bergerak di bidang pendistribusian atau pengiriman barang karena produk harus tiba di konsumen dengan tepat waktu dan dalam kondisi yang baik.

2.3 CVRP

Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) adalah permasalahan perancangan pengiriman yang optimal dari satu atau lebih depot ke beberapa *customer* yang lokasinya tersebar dengan kapasitas muatan kendaraan yang terbatas (Baldacci et al., 2004). Umumnya CVRP memiliki *n*-kendaraan dengan kapasitas *homogen* untuk melayani sejumlah *customer* dengan asumsi bahwa perjalanan kendaraan dimulai dan diakhiri di depot yang sama dengan mempertimbangkan kapasitas kendaraan.

Biaya transportasi akan sangat dipengaruhi oleh keputusan tentang jadwal pengiriman dan rute yang akan ditempuh oleh setiap kendaraan. Secara umum, masalah penjadwalan dan penentuan rute pengiriman dapat memiliki beberapa tujuan, seperti meminimalkan biaya transportasi, meminimalkan waktu pengiriman, dan meminimalkan jarak tempuh. Batasan-batasan yang terdapat pada CVRP dalam satu siklus yaitu satu kendaraan hanya mengunjungi satu pemasok, setiap kendaraan berawal dan berakhir di depot, dan setiap rute hanya membawa muatan yang tidak melebihi kapasitas kendaraannya.

2.4 Algoritma *Insertion Heuristic*

Algoritma *insertion heuristic* adalah algoritma untuk menyelesaikan permasalahan penentuan rute kendaraan yang mengadopsi prinsip dasar penyisipan pelanggan di antara busur penyisipan berupa lintasan penghubung pada rute yang dibuat supaya didapatkan hasil yang optimal (Rosenkrantz et al., 1977). Algoritma *insertion heuristic* dimulai dengan membentuk solusi kosong dan secara iteratif menyisipkan pelanggan ke dalam rute, dan membangun solusi secara bertahap.

Proses penyisipan melibatkan evaluasi terhadap dampak pemilihan pelanggan pada posisi yang berbeda di rute yang ada dan memilih titik penyisipan yang paling menjanjikan berdasarkan kriteria tertentu. Kriteria tersebut dapat mencakup

faktor-faktor untuk meminimalkan jarak, meminimalkan waktu tempuh, ataupun pemanfaatan kendaraan. Pemilihan pelanggan pertama dapat dilakukan berdasarkan pada jarak terjauh pelanggan dari depot ataupun pelanggan mana yang mendesak harus segera dilayani (Joubert & Claasen, 2006).

2.5 Algoritma Large Neighborhood Search

Algoritma *Large Neighborhood Search* diperkenalkan pertama kali di tahun 1998 oleh Shaw (Pisinger & Ropke, 2010). Algoritma ini memanfaatkan metode *local search* untuk pencarian solusi terbaik dengan pencarian solusi berdasarkan lingkungan dari suatu solusi awal. Pada algoritma *Large Neighborhood Search*, terdapat tiga tahapan utama dalam menyelesaikan permasalahan VRP, diantaranya:

1. Pembentukan solusi awal. Pada tahap ini solusi awal dapat dibentuk secara acak maupun menggunakan algoritma heuristic. Tujuannya adalah untuk memperoleh solusi awal yang memenuhi kriteria dan meminimalkan biaya.
2. Pembentukan solusi sementara. Pada tahap ini terdiri dari dua metode yaitu metode *destroy* (perusakan) dan metode *repair* (perbaikan). *Destroy* akan menghapus sebagian solusi yang ada agar diciptakan solusi yang nantinya dapat dibangun kembali. Sedangkan metode *repair* akan memperbaiki solusi yang hancur dengan menambahkan kembali komponen yang sebelumnya dihapus.
3. Perhitungan nilai fungsi evaluasi. Tahapan ini digunakan untuk membandingkan solusi awal dan solusi sementara yang dihasilkan untuk mencapai fungsi tujuan. Dengan membandingkan solusi awal dan sementara, dapat diperoleh solusi terbaik. Tahapan ini dilakukan secara iteratif hingga menemukan solusi terbaik.

2.6 Visual Basic for Application

Visual Basic for Applications (VBA) adalah bahasa pemrograman yang terintegrasi ke dalam aplikasi *Microsoft Office*, seperti *Excel*, *Word*, dan *Access*. VBA adalah varian dari bahasa *Visual Basic* (VB) klasik, tetapi dengan fitur dan fungsionalitas tambahan untuk mendukung otomatisasi dan penyesuaian Office. VBA memungkinkan pengguna membuat makro dan *script* yang mengotomatiskan tugas berulang, melakukan perhitungan rumit, dan berinteraksi dengan aplikasi perangkat lunak lain. Secara keseluruhan, *Visual Basic for Applications* adalah *tool* yang tepat untuk mengotomatiskan tugas, menganalisis data, dan membuat solusi khusus di *Microsoft Office suite*.

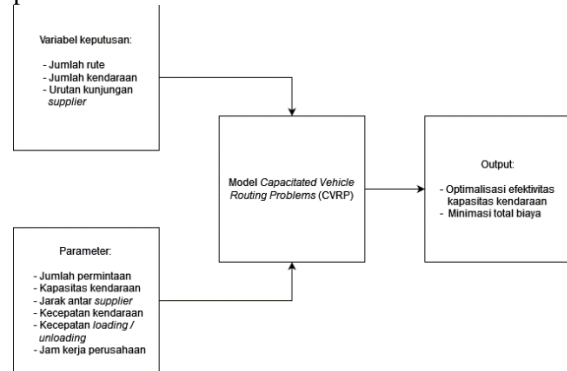
3. Metode Penelitian

3.1 Model Konseptual

Model yang akan dikembangkan dalam transportasi bahan baku CKD *part* ini memiliki beberapa Batasan, diantaranya:

1. *Capacitated Vehicle* (Kendaraan yang digunakan untuk pengiriman bahan baku memiliki kapasitas terbatas).
2. *Time Windows* (Waktu pengiriman bahan baku dibatasi hanya pada jam kerja saja).
3. *Multiple Trips* (Satu kendaraan dapat melayani lebih dari satu rute dalam sekali periode pengiriman).
4. *Homogeneous fleet* (Kendaraan yang digunakan memiliki jenis dan kapasitas yang sama).

Berikut merupakan model konseptual yang dikembangkan pada sistem pengiriman di perusahaan ini.



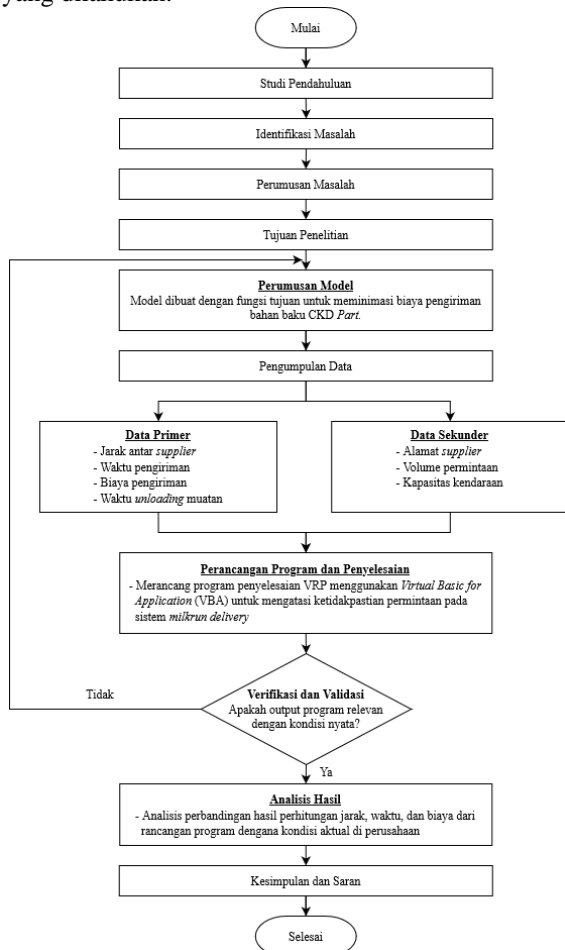
Gambar 3. Model Konseptual

Model konseptual dibentuk guna memperlihatkan keterkaitan variabel yang dapat memengaruhi penelitian. Adapun input dan output dari permasalahan penelitian ini yang akan dijelaskan sebagai berikut.

- Input pada penelitian ini terbagi menjadi variabel keputusan dan parameter. Variabel keputusan digunakan untuk mewakili keputusan yang harus dibuat dalam suatu model. Yang termasuk ke dalam variabel keputusan adalah jumlah rute, jumlah kendaraan, dan urutan kunjungan *supplier*. Sementara parameter digunakan untuk menggambarkan karakteristik permasalahan yang diteliti. Yang termasuk ke dalam parameter adalah jumlah permintaan, kapasitas kendaraan, jarak antar *supplier*, rata-rata kecepatan kendaraan, kecepatan proses *loading/unloading* muatan, serta lamanya jam kerja perusahaan.
- Output pada penelitian ini adalah optimalisasi efektivitas kapasitas kendaraan dengan merancang rute terbaik menggunakan algoritma *savings matrix*. Sekaligus, meminimasi total biaya dengan rute optimalnya.

3.2 Tahapan Penelitian

Berikut merupakan *flowchart* penelitian yang dilakukan.



Gambar 4. Metode Penelitian

3.3 Karakterisasi Sistem

Pada penelitian ini berfokus pada distribusi berbagai bahan baku CKD *part* dari 32 *supplier* yang berada di area Karawang menuju PT XYZ. Fungsi tujuan pada penelitian ini adalah meminimasi total biaya pengiriman dengan mencari total jarak minimum yang ditempuh kendaraan berdasarkan kapasitas waktu dan muatan kendaraan. Dalam penelitian ini depot berjumlah satu atau dapat dikatakan proses pengiriman bahan baku dimulai ketika kendaraan berangkat dan kembali lagi ke PT XYZ. Kendaraan akan digunakan untuk membawa produk dari *supplier* ke PT XYZ, dan pada waktu bersamaan PT XYZ akan mengembalikan rak produk yang sudah kosong ke *supplier*. Dalam hal ini, tidak semua produk menggunakan *returnable rack* (rak yang harus dikembalikan), tergantung pada jenis dan bentuk produk.

Produk dibawa dengan sebuah kendaraan Hino berjenis *wing box* dengan kapasitas 29 m3 dan memiliki kecepatan rata-rata 50 km/jam. Ketersediaan jumlah kendaraan tidak terbatas, alias menyesuaikan kebutuhan perusahaan karena nantinya kendaraan akan diperoleh dari *logistic*

partner. Pola pengiriman bahan baku / produk tersebut dilakukan dua kali sehari yaitu satu kali pada *shift* pertama, dan satu kali lagi pada *shift* kedua dengan asumsi bahwa volume yang dibawa pada setiap *shift*nya jumlahnya sama. Data permintaan bahan baku diperoleh berdasarkan hasil *forecasting* dari *Original Annual Plan* (OAP) dan rencana produksi *vehicle* dari pihak importir.

Waktu *loading* muatan ke dalam kendaraan diasumsikan sama yaitu 30 menit, terhitung ketika kendaraan memasuki gudang *supplier*, menyerahkan dokumen untuk izin pengambilan barang, proses *loading* muatan, hingga kendaraan keluar dari gudang. Kemudian waktu *unloading* seluruh muatan truk di PT XYZ juga diasumsikan 30 menit. Saat melakukan pengiriman, setiap kendaraan hanya mengunjungi tepat satu kali *supplier* dalam satu kali perjalanan di setiap rute. Total muatan yang dibawa tidak boleh melebihi kapasitas kendaraan. Selain itu total waktu yang ditempuh pada satu kali perjalanan rute tidak boleh melebihi waktu sehari kerja yaitu 8 jam. Untuk data biaya operasional kendaraan, pihak perusahaan tidak memberikannya karena merupakan data yang bersifat rahasia bagi perusahaan. Sehingga, peneliti menggunakan acuan data dari *website* jasa pengiriman barang “Deliverree” yang biaya per kilometernya sebesar Rp 12.000. Penentuan jarak setiap lokasi menggunakan data aproksimasi yang diperoleh dari fitur *Google Maps*.

3.4 Formulasi Sistem

Berikut ini adalah formulasi matematis *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP):

- 1) Indeks
 - i = indeks lokasi, $i = 0$ adalah depot, $i = 1, 2, \dots, n$ adalah *supplier*
 - r = indeks rute, $r = 1, 2, \dots, p$
 - k = indeks kendaraan, $k = 1, 2, \dots, m$
- 2) Parameter
 - d_{ij} = Jarak tempuh perjalanan dari *supplier* i ke *supplier* j
 - D_j = Jumlah permintaan yang dikirim *supplier*, $j \in J$
 - C = Biaya perjalanan per km dari *supplier* i ke *supplier* j
 - Q = Kapasitas maksimum kendaraan k
 - V = Kecepatan kendaraan
 - H = Horizon perencanaan waktu
 - WL_i = Waktu proses *loading* dan *unloading* muatan
 - WP_{ijk} = Waktu perjalanan dari *supplier* i ke *supplier* j dengan kendaraan k
 - WT_r = Waktu total perjalanan tiap rute
- 3) Fungsi Objektif

$$\text{Min } Z = \sum_{i \in J} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} d_{ij} C x_{ijk}$$
- 4) Kendala

- Setiap *supplier* dikunjungi tepat satu kali oleh satu kendaraan

$$\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} x_{ijk} = 1, \quad i \in J$$

- Total permintaan semua titik dalam satu rute tidak melebihi kapasitas kendaraan

$$\sum_{i \in J} \sum_{j \in J} D_j x_{ijk} \leq Q_k, \quad k \in K$$

- Setiap rute berawal dari depot 0

$$\sum_{j \in J} x_{0jk} = 1, \quad k \in K$$

- Setiap kendaraan yang mengunjungi 1 titik pasti akan meninggalkan titik tersebut.

$$\sum_{i \in J} x_{ijk} - \sum_{j \in J} x_{ijk} = 0, \quad k \in K$$

- Setiap rute berakhir di depot

$$\sum_{i \in J} x_{i0k} = 1, \quad k \in K$$

- Lama perjalanan dipengaruhi oleh jarak antara *supplier* dan kecepatan kendaraan

$$WP_{ijk} = \frac{d_{ij}}{V_k}, \quad i, j \in J, \quad k \in K$$

- Waktu *loading* muatan di setiap *supplier* memenuhi *time windows*

$$a_i \leq Z_{ik}, \quad i \in J, \quad k \in K$$

$$Z_{ik} + WL_i \leq b_i, \quad i \in J, \quad k \in K$$

- Waktu penyelesaian tiap rute tidak melebihi horizon perencanaan

$$WT_r \leq H$$

- Variabel x_{ijk} merupakan variabel integer biner

$$x_{ijk} \in \{0,1\}, (i, j \in J, k \in K)$$

Model yang dibuat memiliki fungsi tujuan untuk meminimalkan jarak tempuh perjalanan kendaraan pengangkut sebagaimana dapat dilihat pada persamaan (1). Sementara fungsi pembatas atau kendala dijelaskan pada persamaan (2), (3), (4), (5), (6), dan (7). Fungsi pembatas (2) digunakan untuk memastikan bahwa setiap *supplier* dikunjungi tepat satu kali oleh satu kendaraan. Fungsi pembatas (3) digunakan untuk memastikan bahwa total permintaan semua titik dalam satu rute tidak melebihi kapasitas kendaraan. Fungsi pembatas (4) digunakan untuk memastikan bahwa setiap rute berawal dari depot 0. Fungsi pembatas (5) digunakan untuk memastikan bahwa setiap kendaraan yang mengunjungi 1 titik pasti akan meninggalkan titik tersebut. Fungsi pembatas (6) digunakan untuk memastikan bahwa setiap rute akan berakhir di depot setelah melakukan perjalanan ke beberapa *supplier*. Fungsi pembatas (7) digunakan untuk menghitung lama perjalanan dari *supplier* satu ke *supplier* lainnya yang dipengaruhi oleh jarak dan kecepatan kendaraan. Fungsi pembatas (8) dan (9) digunakan untuk memastikan waktu proses *loading* muatan memenuhi *time windows* jam kerja dimana pembatas (8) mengindikasikan waktu awal proses dan pembatas (9) mengindikasikan waktu akhir proses *loading* muatan. Fungsi pembatas (10)

digunakan untuk memastikan total waktu penyelesaian perjalanan tiap rute tidak melebihi horizon perencanaan waktu yakni 8 jam kerja. Terakhir, fungsi pembatas (11) menandakan variabel x_{ijk} merupakan variabel integer biner.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Data Permintaan

Berikut merupakan data volume total pemesanan setiap *supplier* yang diperoleh berdasarkan hasil *forecasting* dari *Original Annual Plan* (OAP) dan rencana produksi *vehicle* dari pihak importir.

Tabel 1. Data Volume Pesanan

No	Supplier	Volume (m ³)
1	AFA	0.274
2	AJI	5.551
3	ANBI	2.020
4	API	1.228
5	ATI	0.737
6	AWI	1.530
7	CHI	1.767
8	DNM	0.119
9	EAT	0.319
10	FAI	15.140
11	IPI	0.950
12	ISI	1.584
13	JTI	6.791
14	KBI	0.475
15	MDH	0.047
16	MRI	0.396
17	MSK	0.519
18	MTS	0.040
19	NFC	0.462
20	OSI	0.048
21	PLI	0.024
22	SDI	0.158
23	SGT	14.781
24	SRI	0.012
25	SUI	0.063
26	SXE	1.534
27	TBI	0.735
28	TGI	2.930
29	TI	16.856
30	TMI	0.179
31	TRI	1.505
32	TRSI	0.475

4.2 Rute Awal Perusahaan

Rute awal perusahaan dibentuk berdasarkan perkiraan kedekatan jarak *supplier* yang satu dengan lainnya. Sementara itu urutan node didasarkan atas jarak terdekat dari *supplier* sebelumnya. Berikut merupakan rute awal *milkrun delivery* pada area Karawang yang telah dibentuk perusahaan sebelumnya.

Tabel 2. Rute Awal Perusahaan

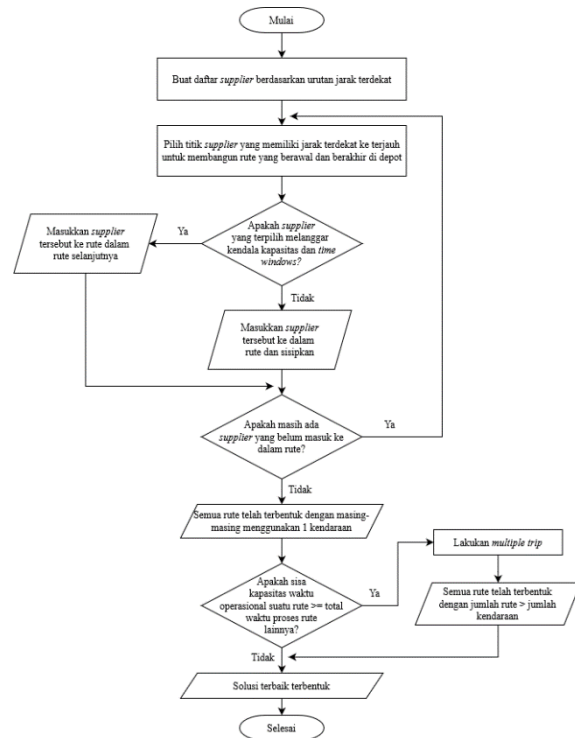
Rute	Urutan Node
RU03	DEPOT-DNM-AJI-TRI-MSK-TRSI-OSI-ISI-API-AFA-FAI-DEPOT
RU06	DEPOT-MTS-SUI-MDH-CHI-JTI-TMI-AWI-SRI-SGT-EAT-ANBI-DEPOT
RU07	DEPOT-MRI-PLI-TBI-NFC-SDI-KBI-ATI-SXE-TGI-TI-IPI-DEPOT

4.3 Algoritma *Insertion Heuristic* dalam Pembentukan Solusi Awal

Langkah-langka algoritma *insertion heuristic* dalam membangun solusi awal pada permasalahan CVRP yang diadopsi dari Priwarnela (2012) adalah sebagai berikut.

1. Membuat daftar *supplier* berdasarkan pengurutan jarak terdekat.
2. Memilih *supplier* yang memiliki jarak dari yang terdekat ke terjauh untuk membangun rute yang berawal dan berakhir di depot.
3. Periksa apakah *supplier* yang terpilih melanggar kendala kapasitas kendaraan dan *time windows* atau tidak.
 - a. Jika melanggar kendala, maka masukkan *supplier* tersebut ke rute selanjutnya.
 - b. Jika tidak melanggar kendala, maka masukkan *supplier* ke rute pertama.
4. Periksa apakah masih ada *supplier* yang belum masuk ke dalam rute.
 - a. Jika masih ada *supplier* yang belum masuk ke dalam rute, maka ulangi langkah 2 dan seterusnya.
 - b. Jika sudah tidak ada *supplier* belum masuk ke dalam rute, maka lanjut ke tahap 5.
5. Semua rute telah terbentuk dengan masing-masing 1 kendaraan.
6. Periksa apakah sisa kapasitas waktu operasional suatu rute \geq total waktu aktivitas rute lainnya.
 - a. Jika sisa kapasitas waktu operasional suatu rute \geq total waktu aktivitas rute lainnya, maka lakukan *multiple trip*. Sehingga jumlah rute yang terbentuk $>$ jumlah kendaraan
 - b. Jika sisa kapasitas waktu operasional suatu rute \leq total waktu aktivitas rute lainnya, maka dilakukan *single trip*.

Proses algoritma *insertion heuristic* telah selesai dan diperoleh solusi berupa sekumpulan rute yang memenuhi kendala. Langkah-langkah algoritma *insertion heuristic* secara sederhana ditampilkan pada *flowchart* sebagai berikut.



Gambar 5. Flowchart Algoritma *Insertion Heuristic*

4.4 Penggunaan Algoritma *Large Neighborhood Search (LNS)*

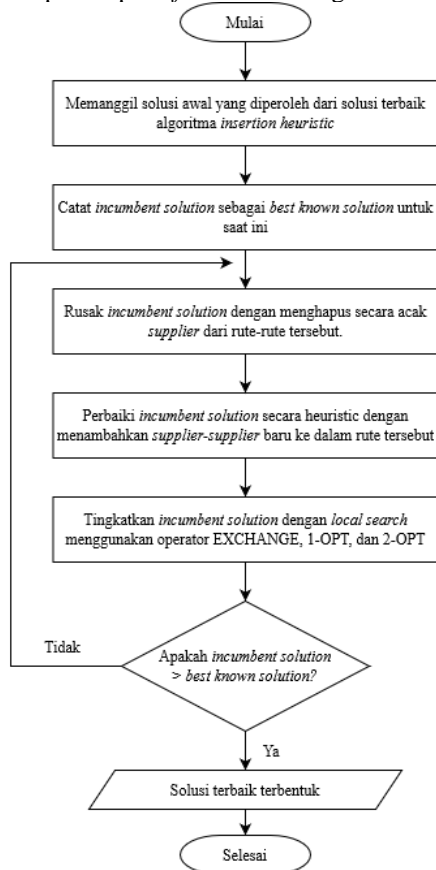
Algoritma *Large Neighborhood Search* (LNS) dapat diterapkan untuk menyelesaikan permasalahan optimasi dengan memanfaatkan metode *local search*, yaitu metode pencarian solusi berdasarkan lingkungan dari suatu solusi awal. Langkah-langkah algoritma *Large Neighborhood Search* pada permasalahan CVRP ini diantaranya sebagai berikut.

1. Tentukan solusi awal. Solusi awal diperoleh dari solusi terbaik algoritma *insertion heuristic*.
2. Catat solusi awal (*incumbent solution*) sebagai solusi terbaik (*best known solution*) untuk saat ini.
3. Rusak *incumbent solution* dengan menghapus secara acak *supplier* dari rute-rute tersebut.
4. Perbaiki *incumbent solution* secara heuristik dengan menambahkan *supplier-supplier* baru ke dalam rute tersebut.
5. Tingkatkan *incumbent solution* dengan *local search* menggunakan operator EXCHANGE, 1-OPT, dan 2-OPT.
6. Periksa apakah *incumbent solution* lebih baik daripada *best known solution* yang diperoleh dari algoritma *insertion heuristic*.
 - a. Jika *incumbent solution* lebih baik daripada *best known solution*, maka diterima sebagai solusi baru dan lanjut ke tahap 7.
 - b. Jika *incumbent solution* tidak lebih baik daripada *best known solution*,

maka tidak diterima sebagai solusi baru dan kembali lagi ke tahap 3.

7. Proses algoritma *Large Neighborhood Search* telah selesai dan didapatkan solusi akhir sebagai *best know solution*.

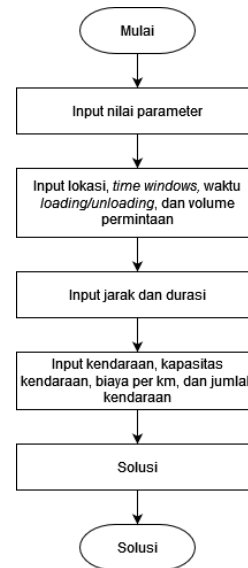
Langkah-langkah algoritma *Large Neighborhood Search* (LNS) secara singkat ditampilkan pada *flowchart* sebagai berikut.



Gambar 6. Algoritma *Large Neighborhood Search*

4.5 Program Penyelesaian VRP

Berikut merupakan tahapan dalam mengoperasikan rancangan program VRP.



Gambar 7. Alur Tahapan Penyelesaian CVRP

Dalam program penyelesaian VRP, digunakan algoritma *Large Neighborhood Search* (LNS) sebagai algoritma penyelesaian solusi. Sedangkan, dalam mencari solusi alternatif, digunakan operator pencarian local yaitu, EX-CHANGE, 1-OPT, dan 2-OPT.

Operator EX-CHANGE melibatkan pertukaran dua *supplier* antara dua rute kendaraan yang berbeda. Dengan menggunakan operator ini, *supplier* dari satu kendaraan dapat ditukar dengan *supplier* dari kendaraan lain, sehingga memungkinkan penyempurnaan solusi dengan mengoptimalkan pengaturan *supplier* di antara kendaraan. Operator 1-OPT melibatkan penghapusan satu *supplier* dari rute kendaraan dan penempatannya kembali di antara *supplier* lain di rute yang sama. Dengan menerapkan operator ini, solusi dapat diperbaiki dengan mencoba berbagai penempatan ulang *supplier* di dalam rute yang sama untuk mengurangi jarak total atau waktu perjalanan. Operator 2-OPT melibatkan penghapusan dua *supplier* yang berdekatan dari rute kendaraan dan penempatannya kembali dalam urutan yang berbeda. Dengan menggunakan operator ini, solusi dapat ditingkatkan dengan mencoba semua kemungkinan perubahan urutan *supplier* yang berdekatan untuk memperbaiki jarak total atau waktu perjalanan.

4.5.1 Worksheet Input Menu Awal

Worksheet input menu awal digunakan untuk mengatur parameter-parameter terkait penyelesaian VRP yang terdiri dari kode BingMaps, jumlah *supplier*, metode perhitungan jarak, metode perhitungan durasi, kecepatan rata-rata kendaraan, pilihan untuk melakukan *multiple trip*, dan batas waktu perlakuan iterasi. Berikut merupakan tampilan *worksheet*.

	B	C
1	Parameter	Nilai
3	Kode BingMaps	
6	Jumlah Supplier	32
8	Metode Perhitungan Jarak	Manual entry
9	Metode Perhitungan Durasi	Average vehicle speed
13	Kecepatan Rata-Rata Kendaraan	50
17	Apakah kendaraan kembali ke depot?	Yes - may do so multiple times
26	CPU time limit (seconds)	60

Gambar 8. Worksheet Input Menu Awal

4.5.2 Worksheet Lokasi

Worksheet ini digunakan untuk menginput alamat setiap supplier, time windows, waktu proses loading/unloading, serta volume permintaan kepada supplier yang akan diangkut. Berikut merupakan tampilan worksheet.

Gambar 9. Worksheet Lokasi

4.5.3 Worksheet Tampilan Jarak dan Durasi

Worksheet ini digunakan untuk menampilkan jarak dan durasi hasil komputasi dari bingmaps. Berikut merupakan tampilan worksheet.

	A	B	C	D
2	Dari	Ke	Jarak (KM)	Durasi (jam)
3	Depot	Depot	0,00	0:00
4	Depot	AFA	70,60	1:10
5	Depot	AJI	67,80	1:07
6	Depot	ANBI	69,90	1:09
7	Depot	API	69,30	1:09
8	Depot	ATI	60,50	1:00
9	Depot	AWI	72,80	1:12
10	Depot	CHI	69,70	1:09
11	Depot	DNM	72,00	1:12
12	Depot	EAT	69,00	1:09
13	Depot	FAI	47,40	0:47
14	Depot	IPI	60,80	1:00
15	Depot	ISI	69,20	1:09
16	Depot	JTI	70,30	1:10
17	Depot	KBI	60,30	1:00
18	Depot	MDH	70,10	1:10
19	Depot	MRI	64,80	1:04
20	Depot	MSK	68,40	1:08
21	Depot	MTS	73,60	1:13
22	Depot	NFC	63,00	1:03
23	Depot	OSI	69,30	1:09
24	Depot	PII	64,60	1:04
25	Depot	SDI	60,60	1:00
26	Depot	SGT	68,90	1:08
27	Depot	SRI	68,80	1:08
28	Depot	SUI	70,40	1:10
29	Depot	SXE	60,90	1:00
30	Depot	TBI	63,10	1:03
31	Depot	TGI	63,30	1:03
32	Depot	TI	58,00	0:58

Gambar 10. Worksheet Jarak

4.5.4 Worksheet Kendaraan

Worksheet kendaraan digunakan untuk menginput nama atau jenis kendaraan, kapasitas kendaraan, biaya yang harus dikeluarkan per km, waktu awal bekerja, batasan jam kerja, hingga jumlah kendaraan. Berikut merupakan tampilan worksheet.

Tipe Kendaraan	Kapasitas	Biaya per km	Mulai Jam Kerja	Batas Jam Kerja	Jumlah Kendaraan
HINO Wingbox	29	12000,00	08:00	8:00	3

Gambar 11. Worksheet Kendaraan

4.5.5 Worksheet Solusi

Terakhir, setelah semua sheet diinput, maka tampilan solusi akan terkalkulasi dengan baik. Berikut merupakan tampilan worksheet.

Gambar 12. Worksheet Kendaraan

4.6 Implementasi Program Rancangan Menggunakan Data Volume Forecasting

Berikut merupakan hasil penentuan rute berdasarkan perhitungan metode Insertion Heuristic dan Large Neighborhood Search pada program rancangan yang telah dibuat.

Vehicle:	V1	Stops:	12	Biaya:	1795200,00		
Stop count	Node	Jarak (KM)	Waktu Perjalanan	Waktu Kedatangan	Waktu Keberangkatan	Waktu Layanan	Kapasitas
0	Depot	0,00	0:00	08:00	08:00	0,00	0
1	TRU	68,10	1:08	09:08	09:38	1:38	1.5048
2	MSK	68,40	1:08	09:38	10:08	2:08	2.02356
3	ANBI	69,90	1:09	10:09	10:39	2:39	4.04316
4	AFA	72,90	1:12	10:42	11:12	3:12	4.31746
5	TRSI	73,50	1:13	11:13	11:43	3:43	4.79266
6	OSI	73,60	1:13	11:43	12:13	4:13	4.84018
7	ISI	73,70	1:13	12:13	12:43	4:43	4.62418
8	API	73,80	1:13	12:43	13:13	5:13	7.6519
9	EAT	75,40	1:15	13:15	13:45	5:45	7.9709
10	AJI	76,40	1:16	13:46	14:16	6:16	13.5221
11	SGT	80,70	1:20	14:20	14:50	6:50	28.3029
12	Depot	149,60	2:29	15:59		7:59	0

Gambar 13. Solusi Rute Kendaraan Pertama

Pada kendaraan 1, supplier yang akan diangkut bahan bakunya adalah TRI, MSK, ANBI, AFA, TRSI, OSI, ISI, API, EAT, AJI, dan SGT. Total jarak perjalanan pada rute pertama adalah 149,6 KM dengan total muatan yang diangkut sebanyak 28,303 m³ dari kapasitas muatan sebesar 29 m³. Estimasi selesainya aktivitas pada rute 1 masih di bawah batas jam kerja perusahaan yakni 15.59, sehingga rute ini dapat dikatakan optimal.

Vehicle:	V2	Stops:	11	Biaya:	2054400,00		
Stop count	Node	Jarak (KM)	Waktu Perjalanan	Waktu Kedatangan	Waktu Keberangkatan	Waktu Layanan	Kapasitas
0	Depot	0,00	0:00	08:00	08:00	0,00	0
1	TRU	47,40	0:47	08:47	09:17	1:17	15.1405
2	DNM	78,10	1:18	09:48	10:18	2:18	15.2593
3	MDH	88,10	1:28	10:28	10:58	2:58	15.3066
4	SUI	88,40	1:28	10:58	11:28	3:28	15.3698
5	MTS	92,20	1:32	11:32	12:02	4:02	15.4094
6	AWI	96,70	1:36	12:06	12:36	4:36	16.939
7	TMI	98,90	1:38	12:38	13:08	5:08	17.1175
8	JTI	99,80	1:39	13:09	13:39	5:39	23.9089
9	CHI	100,40	1:40	13:40	14:10	6:10	25.6756
10	SRI	102,40	1:42	14:12	14:42	6:42	25.6875
11	Depot	171,20	2:51	15:51		7:51	0

Gambar 14. Solusi Rute Kendaraan Kedua

Pada kendaraan 2, supplier yang akan diangkut bahan bakunya adalah FAI, DNM, MDH, SUI, MTS AWI, TMI, JTI, CHI, dan SRI. Total jarak perjalanan pada rute pertama adalah 171,20 KM dengan total muatan yang diangkut sebanyak 25,687 m³ dari kapasitas muatan sebesar 29 m³. Estimasi selesainya aktivitas pada rute 1 masih di bawah batas jam kerja perusahaan yakni 15.51, sehingga rute ini dapat dikatakan optimal.

Vehicle:	V3	Stops:	12	Biaya:	1724400,00		
Stop count	Node	Jarak (KM)	Waktu Perjalanan	Waktu Kedatangan	Waktu Keberangkatan	Waktu Layanan	Kapasitas
0	Depot	0,00	0:00	08:00	08:00	0,00	0
1	IPI	58,00	0:58	08:58	09:28	1:28	16.8561
2	IPI	60,80	1:00	09:30	10:00	2:00	17.8065
3	ATI	66,20	1:06	10:06	10:36	2:36	18.54306
4	KBI	66,40	1:06	10:36	11:06	3:06	19.01826
5	TRU	71,50	1:11	11:11	11:41	3:41	21.94866
6	SXE	74,40	1:14	11:44	12:14	4:14	23.48266
7	MHI	77,50	1:17	12:17	12:47	4:47	23.87866
8	PII	77,80	1:17	12:47	13:17	5:17	23.90269
9	TBI	79,30	1:19	13:19	13:49	5:49	24.63749
10	NFC	80,70	1:20	13:50	14:20	6:20	25.09916
11	SRI	83,10	1:23	14:23	14:53	6:53	25.25756
12	Depot	143,70	2:23	15:53		7:53	0

Gambar 15. Solusi rute Kendaraan Ketiga

Pada kendaraan 3, supplier yang akan diangkut bahan bakunya adalah TI, IPI, ATI, KBI,

TGI, SXE, MRI, PLI, TBI, NFC, dan SDI. Total jarak perjalanan pada rute pertama adalah 143,70 KM dengan total muatan yang diangkut sebanyak 25,2567 m³ dari kapasitas muatan sebesar 29 m³. Estimasi selesainya aktivitas pada rute 1 masih di bawah batas jam kerja perusahaan yakni 15.53, sehingga rute ini dapat dikatakan optimal.

Setiap rute diangkut oleh 1 kendaraan sehingga jumlah kendaraan yang optimal untuk mengangkut seluruh volume permintaan adalah 3 kendaraan. Pada setiap kendaraan ini tidak dapat diterapkan *multiple trip* karena sisa waktu operasi dari setiap perjalanan kendaraan tidak mencukupi untuk dilakukan perjalanan lagi pada rute lainnya. Sehingga dengan 3 kendaraan dan 3 rute ini adalah hasil yang paling optimal berdasarkan perhitungan program.

Berikut merupakan rekapitulasi perbandingan jarak dan biaya pada rute perusahaan dan output program sebagai berikut.

Tabel 3. Rekapitulasi Perbandingan Jarak dan Biaya

Metode	Knd	Rute	Jarak (KM)	Biaya
Rute Perusahaan	1	DEPOT-DNM-AJI-TRI-MSK-TRSI-OSI-ISI-API-AFA-FAI-DEPOT	164.7	Rp 1,976,400.00
	2	DEPOT-MTS-SUI-MDH-CHI-JTI-TMI-AWI-SRI-SGT-EAT-ANBI-DEPOT	167.8	Rp 2,013,600.00
	3	DEPOT-MRI-PLI-TBI-NFC-SDI-KBI-ATI-SXE-TGI-TI-IPI-DEPOT	148.5	Rp 1,782,000.00
Total			481	Rp 5,772,000.00
Rute Usulan	1	DEPOT-TI-IPI-ATI-KBI-TGI-SXE-MRI-PLI-TBI-NFC-SDI-DEPOT	149.6	Rp 1,795,200.00
	2	DEPOT-TRI-MSK-ANBI-AFA-TRSI-OSI-ISI-API-EAT-AJI-SGT-DEPOT	171.2	Rp 2,054,400.00
	3	DEPOT-FAI-DNM-MDH-SUI-MTS-AWI-TMI-JTI-CHI-SRI	143.7	Rp 1,724,400.00
Total			464.5	Rp 5,574,000.00

4.7 Implementasi Pada Data Aktual

Implementasi pada data aktual ini bertujuan untuk melihat apakah rancangan program yang telah dibuat mampu untuk mengoptimalkan data aktual permintaan perusahaan atau tidak. Sistem penentuan rute yang digunakan oleh perusahaan adalah mengikuti urutan rute pada saat penentuan di awal yang mengacu pada data volume *forecasting*. Namun pada aktualnya, volume pada data aktual tidak selalu sama dengan data *forecast*, tidak jarang volume pada suatu *supplier* berbeda jauh dengan data *forecast*. Untuk itu, dengan menggunakan rancangan program ini, harapannya dapat memperbaiki penentuan rute berdasarkan data volume yang berbeda setiap harinya sehingga kapasitas yang dibawa oleh kendaraan juga menjadi

optimal. Berikut merupakan data aktual perusahaan per tanggal 29 November 2022.

Tabel 4. Data Aktual Permintaan Tanggal 29 November 2022

No	Supplier	Volume (m3)
1	AFA	0.594
2	AJI	26.080
3	ANBI	1.922
4	API	4.950
5	ATI	2.200
6	AWI	0.696
7	CHI	1.100
8	DNM	0.550
9	EAT	2.200
10	FAI	11.529
11	IPI	2.200
12	ISI	7.150
13	JTI	6.322
14	KBI	1.100
15	MDH	0.594
16	MRI	2.200
17	MSK	5.222
18	MTS	0.550
19	NFC	1.100
20	OSI	0.550
21	PLI	0.550
22	SDI	0.550
23	SGT	16.472
24	SRI	0.550
25	SUI	0.594
26	SXE	6.900
27	TBI	4.477
28	TGI	2.200
29	TI	4.400
30	TMI	2.550
31	TRI	3.300
32	TRSI	0.550

Rute yang digunakan oleh perusahaan adalah sama dengan rute yang digunakan dengan pada saat penentuan rute di awal proyek ini dimulai. Namun apabila terjadi pertambahan volume pada sebuah rute dan melebihi kapasitas sebuah kendaraan, maka jumlah kendaraan pada rute tersebut akan ditambah menyesuaikan total permintaan yang akan diangkut. Berikut merupakan rute yang digunakan untuk pengiriman bahan baku per tanggal 29 November 2022.

Tabel 5. Rute 1 - Kendaraan 1

Rute 1 – Kendaraan 1			
Dari	Ke	Jarak (KM)	Volume (m3)
DEPOT	DNM	72	0.550
DNM	AJI	6.6	26.080
AJI	DEPOT	67.8	
Total		146.4	26.6295

Pada *supplier* DNM terjadi peningkatan volume yang cukup signifikan yaitu dari 0,55 m³ menjadi 26,08 m³. Hal ini mengakibatkan perlunya penambahan kendaraan karena jumlah volume pada rute 1 melebihi kapasitas kendaraan. Adapun pada rute 1 di kendaraan 1 mampu mengangkut bahan baku dari *supplier* DNM dan AJI dengan total jarak 146,4 KM dan total volume 26,6295 m³.

Tabel 6. Rute 1 - Kendaraan 2

Rute 1 – Kendaraan 2			
Dari	Ke	Jarak (KM)	Volume (m3)
DEPOT	TRI	68.1	3.300
TRI	MSK	0.3	5.222
MSK	TRSI	1.4	0.550
TRSI	OSI	0.1	0.550
OSI	ISI	0.1	7.150
ISI	API	0.1	4.950
API	AFA	1.5	0.594
AFA	DEPOT	70.6	
Total		142.2	22.3155

Pada rute 1 kendaraan 2, kendaraan mampu mengangkut bahan baku dari *supplier* TRI, MSK, TRSI, OSI, ISI, API, dan AFA dengan total jarak 142.2 KM dan total volume 22.3155 m³.

Tabel 7. Rute 1 - Kendaraan 3

Rute 1 – Kendaraan 3			
Dari	Ke	Jarak (KM)	Volume (m3)
DEPOT	FAI	47.4	11.529
FAI	DEPOT	47.4	
Total		94.8	11.529

Pada rute 1 kendaraan 3, kendaraan mampu mengangkut bahan baku dari *supplier* FAI dengan total jarak 94.8 KM dan total volume 11.529 m³.

Tabel 8. Rute 2 - Kendaraan 4

Rute 2 – Kendaraan 4			
Dari	Ke	Jarak (KM)	Volume (m3)
DEPOT	MTS	73.6	0.550
MTS	SUI	3.8	0.594
SUI	MDH	0.3	0.594
MDH	CHI	0.9	1.100
CHI	JTI	0.6	6.322
JTI	TMI	0.9	2.550
TMI	AWI	2.2	0.696
AWI	SRI	5	0.550
SRI	DEPOT	68.8	
Total		156.1	12.955

Pada rute 2 kendaraan 4, kendaraan mampu mengangkut bahan baku dari *supplier* MTS, SUI, MDH, CHI, JTI, TMI, AWI, dan SRI dengan total jarak 156.1 KM dan total volume 12.955 m³.

Tabel 9. Rute 2 - Kendaraan 5

Rute 2 – Kendaraan 5			
Dari	Ke	Jarak (KM)	Volume (m3)
DEPOT	SGT	68.9	16.472
SGT	EAT	5.6	2.200
EAT	ANBI	2.2	1.922
ANBI	DEPOT	69.9	
Total		146.6	20.594

Pada rute 2 kendaraan 5, kendaraan mampu mengangkut bahan baku dari *supplier* SGT, EAT, dan ANBI dengan total jarak 146.6 KM dan total volume 20.594 m³.

Tabel 10. Rute 3 - Kendaraan 6

Rute 3 – Kendaraan 6			
Dari	Ke	Jarak (KM)	Volume (m3)
DEPOT	MRI	64.8	2.200
MRI	PLI	0.3	0.550
PLI	TBI	1.5	4.477
TBI	NFC	1.4	1.100
NFC	SDI	2.4	0.550
SDI	KBI	2.8	1.100
KBI	ATI	0.2	2.200
ATI	SXE	2.8	6.900
SXE	TGI	2.9	2.200
TGI	TI	5.8	4.400
TI	IPI	2.8	2.200
IPI	DEPOT	60.8	
Total		148.5	27.877

Pada rute 3 kendaraan 6, kendaraan mampu mengangkut bahan baku dari *supplier* MRI, PLI, TBI, NFC, SDI, KBI, ATI, SXE, TGI, TI, dan IPI dengan total jarak 148.5 KM dan total volume 27.877 m³. Atau dengan kata lain jumlah permintaan volume ke *supplier* pada rute 3 tidak mengalami perubahan yang signifikan sehingga jumlah kendaraan masih sama dengan perhitungan awal.

Berikut merupakan rekapitulasi rute kendaraan pada tanggal 29 November 2022.

Tabel 11. Rute Kendaraan Pada Tanggal 29 November 2022

Kendaraan	Rute	Jarak (KM)	Volume (m3)
Kendaraan 1	DEPOT-DNM-AJI-DEPOT	146.4	26.629
Kendaraan 2	DEPOT-TRI-MSK-TRSI-OSI-ISI-API-AFA-DEPOT	142.2	22.315
Kendaraan 3	DEPOT-FAI-DEPOT	94.8	11.529
Kendaraan 4	DEPOT-MTS-SUI-MDH-CHI-JTI-TMI-AWI-SRI-DEPOT	156.1	12.955
Kendaraan 5	DEPOT-SGT-EAT-ANBI-DEPOT	146.6	20.593
Kendaraan 6	DEPOT-MRI-PLI-TBI-NFC-SDI-KBI-ATI-SXE-TGI-TI-IPI-DEPOT	148.5	27.877

Berdasarkan output program, jumlah kendaraan yang dihasilkan adalah 4 kendaraan dengan 5 tur. Berikut merupakan penjabaran dari setiap rutennya.

Stop count	Node	Jarak (KM)	Waktu Perjalanan	Waktu Kedatangan	Waktu Keberangkatan	Waktu Layanan	Kapasitas
0	Depot	0.00	0:00	08:00	08:00	0:00	0
1	FAI	47.40	0:47	08:47	09:17	1:17	11.529
2	Depot	94.80	1:34	10:04	10:34	2:34	0
3	ANBI	162.60	2:42	11:42	12:12	4:12	26.0795
4	DNM	169.20	2:49	12:19	12:49	4:49	26.6295
5	IPI	183.10	3:03	13:03	13:33	5:33	28.8295
6	Depot	243.90	4:03	14:33		6:33	0

Gambar 16. Rute Kendaraan 1

Pada hasil rancangan rute di kendaraan 1, terdapat 2 tur yang bisa digabung ke dalam 1 kendaraan, yaitu tur 1 yang terdiri dari *supplier* FAI dan tur 2 yang terdiri dari *supplier* AJI, DNM, dan IPI. Hal ini memungkinkan karena sisa kapasitas waktu operasional pada tur 1 masih mencukupi untuk melakukan perjalanan pada tur 2. Perjalanan tur kedua akan dimulai setelah muatan pada tur pertama dilakukan pembongkaran/*unloading*.

Vehicle: V2		Stops: 11 Biaya: 1659600.00				
Stop count	Node	Jarak (KM)	Waktu Perjalanan	Waktu Kedatangan	Waktu Keberangkatan	Waktu Layanan Kapasitas
0	Depot	0.00	0.00	08:00	08:00	0.00
1	TR	58.00	0:58	08:58	09:28	1:28
2	KBI	60.80	1:00	09:30	10:00	2:00
3	ATI	61.00	1:01	10:01	10:31	2:31
4	TOI	66.10	1:06	10:36	11:06	3:06
5	MSK	69.00	1:09	11:09	11:39	3:39
6	MSB	72.10	1:12	11:42	12:12	4:12
7	PUJ	72.40	1:12	12:12	12:42	4:42
8	TBI	73.90	1:13	12:43	13:13	5:13
9	NFC	75.30	1:15	13:15	13:45	5:45
10	SDI	77.70	1:17	13:47	14:17	6:17
11	Depot	138.30	2:18	15:18		7:18

Gambar 17. Rute Kendaraan 2

Total jarak perjalanan pada kendaraan kedua adalah 138.3 KM dengan total muatan yang diangkut sebanyak 25,677 m³ dari kapasitas muatan sebesar 29 m³.

Vehicle: V3		Stops: 11 Biaya: 1801200.00				
Stop count	Node	Jarak (KM)	Waktu Perjalanan	Waktu Kedatangan	Waktu Keberangkatan	Waktu Layanan Kapasitas
0	Depot	0.00	0.00	08:00	08:00	0.00
1	SR	68.80	1:08	09:08	09:38	1:38
2	TR	73.80	1:13	09:43	10:13	2:13
3	MSK	74.10	1:14	10:14	10:44	2:44
4	MSB	75.60	1:15	10:45	11:15	3:15
5	AFA	78.00	1:18	11:18	11:48	3:48
6	TRSI	79.20	1:19	11:49	12:19	4:19
7	OSI	79.30	1:19	12:19	12:49	4:49
8	TR	79.40	1:19	12:49	13:19	5:19
9	API	79.50	1:19	13:19	13:49	5:49
10	ATI	81.10	1:21	13:51	14:21	6:21
11	Depot	150.10	2:30	15:30		7:30

Gambar 18. Rute Kendaraan 3

Total jarak perjalanan pada kendaraan ketiga adalah 150.10 KM dengan total muatan yang diangkut sebanyak 27 m³ dari kapasitas muatan sebesar 29 m³.

Vehicle: V4		Stops: 9 Biaya: 1838400.00				
Stop count	Node	Jarak (KM)	Waktu Perjalanan	Waktu Kedatangan	Waktu Keberangkatan	Waktu Layanan Kapasitas
0	Depot	0.00	0.00	08:00	08:00	0.00
1	SR	68.80	1:08	09:08	09:38	1:38
2	SUJ	70.80	1:10	09:40	10:10	2:10
3	MDH	71.10	1:11	10:11	10:41	2:41
4	MTS	75.30	1:15	10:45	11:15	3:15
5	AWI	79.80	1:19	11:19	11:49	3:49
6	TBI	82.00	1:22	11:52	12:22	4:22
7	JTI	82.90	1:22	12:22	12:52	4:52
8	CHI	83.50	1:23	12:53	13:23	5:23
9	Depot	153.20	2:33	14:33		6:33

Gambar 19. Rute Kendaraan 4

Total jarak perjalanan pada kendaraan keempat adalah 153,20 KM dengan total muatan yang diangkut sebanyak 28,877 m³ dari kapasitas muatan sebesar 29 m³. Berikut merupakan rekapitulasi jarak dan biaya pada rute perusahaan dan rancangan program.

Tabel 12. Rekapitulasi Jarak dan Biaya

Metode	Knd	Rute	Jarak (KM)	Biaya
Rute Perusahaan	1	DEPOT-DNM-AJI-DEPOT	146.4	Rp 1,756,800.00
	2	DEPOT-TRI-MSK-TRSI-OSI-ISI-API-AFA-DEPOT	142.2	Rp 1,706,400.00
	3	DEPOT--FAI-DEPOT	94.8	Rp 1,137,600.00
	4	DEPOT-MTS-SUI-MDH-CHI-JTI-TMI-AWI-SRI-DEPOT	156.1	Rp 1,873,200.00
	5	DEPOT-SGT-EAT-ANBI-DEPOT	146.6	Rp 1,759,200.00
	6	DEPOT-MRI-PLI-TBI-NFC-SDI-KBI-ATI-SXE-TGI-TI-IPI-DEPOT	148.5	Rp 1,782,000.00
Total			834.6	Rp 10,015,200.00
Rute Usulan	1	DEPOT-FAI-DEPOT-AJI-DNM-IPI-DEPOT	243.9	Rp 2,926,800.00
	2	DEPOT-TI-KBI-ATI-TGI-SXE-MRI-PLI-TBI-NFC-SDI-DEPOT	138.3	Rp 1,659,600.00
	3	DEPOT-SRI-TRI-MSK-ANBI-AFA-TRSI-OSI-ISI-API-EAT-DEPOT	150.1	Rp 1,801,200.00
	4	DEPOT-SGT-SUI-MDH-MTS-AWI-TMI-JTI-CI-DEPOT	153.2	Rp 1,838,400.00
Total			685.5	Rp 8,226,000.00

4.8 Perbandingan Biaya Pengiriman

Dari tabel 3 dan 12, diketahui biaya pada rute usulan dengan jenis data *forecast* maupun data aktual lebih sedikit daripada biaya pada rute perusahaan. Biaya rute usulan pada data *forecast* lebih hemat senilai Rp 198,000.00 dan pada data aktual lebih hemat senilai Rp 1,789,200.00. Hal ini dikarenakan perbedaan metode dalam perancangan rutenya. Metode yang digunakan PT XYZ adalah dengan memasukkan beberapa *supplier* ke dalam satu rute berdasarkan perkiraan kedekatan jarak antar *supplier* dengan menggunakan bantuan *google maps*. Sementara metode yang digunakan pada rancangan usulan adalah menggunakan metode *insertion heuristic* dan *large neighborhood search* yang memiliki keunggulan dalam pencarian solusi terbaik sehingga diperoleh hasil yang optimal.

Penghematan biaya pada data aktual lebih tinggi daripada data *forecast* karena perusahaan menetapkan kebijakan dengan menggunakan rute *milkrun* yang sama setiap harinya berdasarkan perancangan rute di awal ketika menggunakan data *forecast*. Hal ini berpengaruh signifikan ketika terjadi perubahan volume permintaan yang mana mengharuskan *logistic partner* untuk menambah jumlah kendaraannya pada rute tersebut, sementara efisiensi kapasitas truknya menjadi menurun. Dengan menggunakan rancangan program yang dapat dilakukan perancangan rute secara singkat setiap harinya, maka hasil penentuan rute juga akan optimal meski terjadi perubahan permintaan yang signifikan setiap harinya. Sehingga hal ini juga berpengaruh terhadap biaya yang dikeluarkan perusahaan.

4.9 Perbandingan Jarak

Dari tabel 3 dan 12, diketahui bahwa baik pada data *forecast* maupun data aktual, rute usulan menghasilkan jarak tempuh yang lebih sedikit yaitu terjadi penghematan 16.50 KM pada data *forecast* dan 149.10 KM pada data aktual. Penghematan jarak yang signifikan pada data aktual terjadi karena lebih banyaknya tur yang dilakukan oleh rute perusahaan dibandingkan dengan rute usulan. Hal ini berkaitan dengan kebijakan perusahaan untuk menggunakan rute yang sama setiap harinya sesuai dengan rancangan rute di awal pada saat menggunakan data *forecast*. Sehingga hal ini mengakibatkan pemborosan jumlah tur karena rancangan rute yang terbentuk menjadi tidak efisien.

4.10 Perbandingan Efisiensi Kapasitas Truk

Efisiensi kapasitas truk adalah tingkat efektivitas dalam memanfaatkan kapasitas kendaraan untuk mengangkut bahan baku dari *supplier*. Kapasitas *full* truk diperoleh dari perkalian antara panjang, lebar, dan tinggi truk yaitu 42,3 m³. Angka tersebut belum termasuk *allowance* untuk *space* yang harus dikosongkan untuk memudahkan proses *loading/unloading* muatan. Kapasitas maksimal yang

ideal adalah 29 m³ mengacu adanya *dead volume* untuk *upper*, *dead volume between skid*, dan *dead volume of skid*. Berikut merupakan perbandingan efisiensi kapasitas truk.

Tabel 13. Perbandingan Efisiensi Kapasitas Truk

Jenis Data	Jenis Rute	Knd	Tur	Kapasitas (m ³)	Efisiensi	Rata-Rata Efisiensi
Data <i>forecast</i>	Rute	1	1	26.443	91%	91%
	Perusahaan	2	2	27.548	95%	
		3	3	25.258	87%	
	Usulan	1	1	28.303	98%	91%
		2	2	25.687	89%	
		3	3	25.258	87%	
Data aktual	Rute Perusahaan	1	1	26.630	92%	70%
		2	2	22.316	77%	
		3	3	11.529	40%	
		4	4	12.955	45%	
		5	5	20.594	71%	
		6	6	27.877	96%	
	Rute Usulan	1	1	11.529	40%	84%
		2	2	28.830	99%	
		2	3	25.677	89%	
		3	4	26.987	93%	
		3	4	26.987	93%	
		4	5	28.877	100%	

Dari tabel 13 diketahui bahwa pada data *forecast*, rata-rata efisiensi truk sama yaitu 91% sementara pada data aktual rute usulan lebih tinggi 14% daripada rute perusahaan. Hal ini disebabkan oleh jumlah tur yang lebih banyak pada rute perusahaan dibandingkan dengan rute usulan. Perbedaan jumlah tur mengakibatkan kapasitas di dalam kendaraan menjadi berbeda juga. Jumlah volume pada data aktual yang seharusnya efektif apabila dihasilkan 5 tur, namun karena kebijakan perusahaan di awal yang mengharuskan rute perjalanannya sama setiap hari, menyebabkan jumlah tur menjadi 6. Hal ini berakibat pada efektifitas kendaraannya. Dapat dilihat pada rute perusahaan di kendaraan 3 dan 4 memiliki efisiensi yang cukup kecil yaitu 40% dan 45%. Padahal dengan kapasitas keduanya tersebut, seharusnya dapat dilakukan pengangkutan oleh satu kendaraan saja sehingga efisiensinya semakin meningkat.

5. Kesimpulan

Berikut merupakan kesimpulan yang diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan.

1. Permasalahan kegiatan pengiriman bahan baku CKD *part* di PT XYZ menggunakan model penyelesaian *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP). Model ini diselesaikan dengan algoritma *insertion heuristic* dan *large neighborhood search* untuk mendapatkan usulan penentuan rute yang optimal. Berdasarkan hasil kalkulasi program, diperoleh total jarak tempuh dan total biaya pada rute optimal untuk data *forecast* adalah yang sebelumnya sebesar 481 km dan Rp 5.772.000,00 menjadi 464,5 km dan Rp 5.574.000,00. Adapun total jarak tempuh dan total biaya pada rute optimal untuk data aktual pada 29

November 2022 adalah yang sebelumnya sebesar 834,6 km dan Rp 10.015.200,00 menjadi 685,5 km dan Rp 8.226.000.

2. Program penyelesaian CVRP dibuat untuk menentukan rute optimal pengangkutan bahan baku yang permintaannya berbeda setiap harinya. Program ini dibuat dengan menggunakan algoritma *insertion heuristic* dan *large neighborhood search* untuk mendapatkan rute terbaik yang memiliki biaya pengeluaran minimum. *Output* pada program ini adalah berupa penentuan rute optimal disertai dengan total jarak tempuh, biaya, serta alokasi waktu kedatangan dan keberangkatan. Perbandingan metode dilakukan dengan membandingkan rute perusahaan dengan rute hasil program yang menghasilkan kesimpulan bahwa algoritma *insertion heuristic* dan *large neighborhood search* mampu memberikan solusi yang lebih baik.

Daftar Pustaka

- Arvianto, A., Setiawan, A. H., & Saptadi, S. (2014). Model Vehicle Routing Problem dengan Karakteristik Rute Majemuk, Multiple Time Windows, Multiple Products dan Heterogeneous Fleet untuk Depot Tunggal. *Jurnal Teknik Industri*, 16(2), 85–96.
- Baldacci, R., Hadjiconstantinou, E., & Mingozzi, A. (2004). An Exact Algorithm For The Capacitated Vehicle Routing Problem Based on a Two-Commodity Network Flow Formulation. *Operations Research*, 52(5), 723–738.
- Bodin, L., Golden, B., Assad, A., & Ball, M. (1983). Routing and Scheduling of Vehicles and Crews. The State of the Art. *Computer and Operations Research*, 10, 63-211.
- Christopher. (2005). *Logistics & Supply Chain Management: creating value-adding networks*, 3rd Edition. Pearson.
- Handfield, R. B., & Nichols, E. L. (1999). *Introduction to Supply Chain Management*. Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Indian Institute of Materials Management. (2020). *Logistics and warehousing management*.
- Jacobs, F. R., & Chase, R. B. (2018). *Operations and Supply Chain Management 15th Edition* Greasley, Andrew. McGraw-Hill Education.
- Joubert, J. ., & Claasen, J. . (2006). A Sequential Insertion Heuristic for The Initial Solution to A Constrained Vehicle Routing Problem. *ORION*, 22, 105–116.
- Nasution, M. N. (1996). Manajemen Transportasi. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9). Ghali Indonesia.
- Pisinger, D., & Ropke, S. (2010). Large Neighborhood Search. Handbook of Metaheuristic. *International Series in*

- Operations Research and Management Science*, 146, 399–419.
- Priwarnela, R. (2012). *Aplikasi Algoritma Hibrida Dua Tahap pada Pickup and Delivery Vehicle Routing Problems and Time Windows*. Universitas Diponegoro.
- Ropke, S., & Pisinger, D. (2006). An Adaptive Large Neighborhood Search Heuristic for the Pickup and Delivery Problem with Time Windows. *Transportation Science*, 40, 455–472.
- Rosenkrantz, D. ., Stearns, R. ., & Lewis, P. . (1977). An Analysis of Heuristics For The Traveling Salesman Problem. *SIAM Journal on Computing*, 6, 563–581.
- Toth, P., & Vigo, D. (2002). *The Vehicle Routing Problem*. SIAM.