

**PERANCANGAN PENDISTRIBUSIAN PRODUK PT XYZ DENGAN ARMADA *SINGLE-KOMPARTEMEN* UNTUK MENINGKATKAN UTILITAS PENGGUNAAN ARMADA MENGGUNAKAN METODE *MIXED-INTEGER LINEAR PROGRAMMING* (STUDI KASUS: PT XYZ)**

***DESIGN OF PT XYZ'S PRODUCT DISTRIBUTION WITH SINGLE-COMPARTMENT VEHICLES TO IMPROVE UTILITY OF VEHICLES USING MIXED-INTEGER LINEAR PROGRAMMING METHOD (CASE STUDY: PT XYZ)***

Namira Dahlesti<sup>1</sup>, Muhammad Nashir Ardiansyah<sup>2</sup>, Putu Giri Artha Kusuma<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Universitas Telkom, Bandung

[namiradahlesti@student.telkomuniversity.ac.id](mailto:namiradahlesti@student.telkomuniversity.ac.id)<sup>1</sup>, [nashirardiansyah@telkomuniversity.ac.id](mailto:nashirardiansyah@telkomuniversity.ac.id)<sup>2</sup>, [putugiriak@telkomuniversity.ac.id](mailto:putugiriak@telkomuniversity.ac.id)<sup>3</sup>

---

**Abstrak**

PT XYZ merupakan sebuah perusahaan 4PL yang bergerak di bidang penanganan rantai pasok restoran cepat saji di Indonesia, di mana pendistribusian barangnya dilakukan dari *distribution center* (DC) kemudian disalurkan ke *outlet-outlet* cepat saji menggunakan kendaraan multi-kompartemen. Dalam penggunaan armada tersebut, perusahaan menghadapi permasalahan rendahnya utilisasi kendaraan, sehingga penelitian ini akan merancang penggunaan armada dengan memisah pendistribusian barang dengan menggunakan armada *single-kompartemen*. Permasalahan yang akan diteliti dapat dikategorikan ke dalam VRP varian *multi-compartment* VRP dengan batasan antara lain, kapasitas, *time window*, *multi-product*, dan *split delivery*. Untuk menyelesaikan permasalahan tersebut, maka dalam penelitian ini digunakan metode eksak, yaitu *mixed-integer linear programming* dengan penggunaan Gurobi *solver* dalam pengolahan datanya. Hasil menunjukkan dengan metode yang digunakan dan dengan perancangan yang diusulkan, utilisasi penggunaan kendaraan dapat meningkat hingga 13% dari kendaraan eksisting.

**Kata kunci:** *Vehicle Routing Problem, Mixed-Integer Linear Programming, Multi-Kompartemen, Time Window*

---

**Abstract**

*PT XYZ is a 4PL company engaged in handling fast food restaurant supply chains in Indonesia, where the distribution of goods is carried out from the distribution center (DC) and then distributed to fast food outlets using multi-compartment vehicles. In using the fleet, the company faces the problem of low vehicle utilization, so this study will design the use of the fleet by separating the distribution of goods using a single-compartment fleet. The problems to be studied can be categorized into VRP variants of multi-compartment VRP with limitations, that is, capacity, time window, multi-product, and split delivery. To solve these problems, in this study used an exact approaches, namely mixed-integer linear programming (MILP) with the use of Gurobi solver in data processing. The results show that with the method used and with the proposed design, vehicle utilization can increase up to 13% of existing vehicles.*

**Keywords:** *Vehicle Routing Problem, Mixed-Integer Linear Programming, Multi-Compartment, Time Window*

---

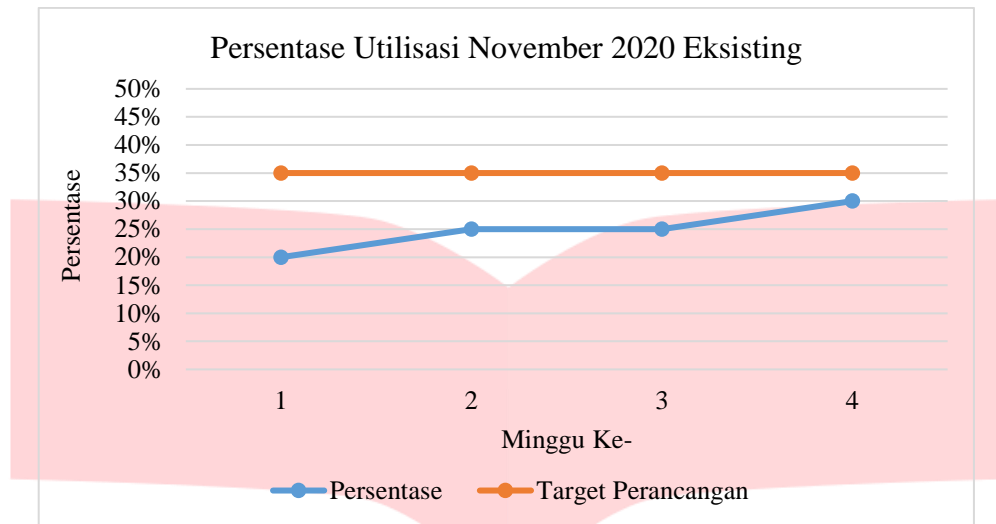
**I. Pendahuluan**

Pendistribusian barang yang dilakukan pada setiap perusahaan merupakan salah satu kegiatan yang sangat penting dalam keberlangsungan rantai pasoknya, di mana dalam pendistribusian tersebut juga tidak lepas dengan transportasi sebagai media pendistribusian barang. Adapun aktivitas yang ber-

kaitan dengan transportasi, antara lain perutean transportasi, manajemen armada, serta perencanaan beban [14]. Terdapat penelitian-penelitian yang telah dilakukan mengenai permasalahan yang menyangkut pada aktivitas transportasi tersebut, di antaranya terdapat penelitian pada *Food Rescue* di Australia yang mengimplementasikan metode heuristik untuk penjadwalan dan perutean dalam pengiriman makanan dengan tujuan mencapai penjadwalan yang optimal, pengurangan pemborosan produk yang mudah rusak, serta rute dengan penghematan biaya [10]. Selain perencanaan dalam perutean dan penjadwalan transportasi, perlu diperhatikan pula manajemen armada agar semua kendaraan yang tersedia dapat digunakan secara maksimal, pada penelitian yang dilakukan Rafke dan Lestari [13] melakukan pendekatan dalam pengambilan keputusan dalam kebutuhan armada pada perusahaan logistik dengan menggunakan beberapa teknik, seperti *analytical hierarchy process* (AHP).

Kebutuhan akan penggunaan armada dalam pendistribusian barang juga memerlukan kesesuaian terhadap proses dan karakteristik produk yang akan didistribusikan, misalnya pada pendistribusian bahan makanan, makanan jadi, atau obat-obatan yang diharuskan menggunakan armada pendingin atau armada *cold chain* agar produk tidak rusak dalam perjalanan. Sama halnya dengan produk cair, seperti bahan bakar, tentu memerlukan kendaraan yang sesuai dalam pendistribusiannya. Dalam beberapa tahun sebelumnya, telah dilakukan penelitian mengenai kendaraan yang berjenis multi-kompartemen, yaitu pada satu kendaraan memiliki beberapa jenis kompartemen yang berbeda untuk memuat produk dengan tipe yang berbeda sesuai karakteristiknya. Penelitian mengenai kendaraan berjenis multi-kompartemen tersebut telah dilakukan oleh Mirzaei dan Wøhlk [9] dengan membagi dua versi pengiriman, pada versi pertama yaitu pengiriman produk secara penuh dilakukan dengan kendaraan berbeda untuk tipe produk yang berbeda pula. Kemudian pada versi kedua melakukan pengiriman semua tipe produk secara penuh oleh satu kendaraan ke setiap pelanggan. Dari kendaraan jenis multi-kompartemen tersebut, maka muncul penelitian-penelitian lain yang berfokus pada kendaraan multi-kompartemen tetapi ditambah dengan permasalahan lain. Permasalahan yang paling sering ditemukan pada transportasi adalah permasalahan perutean kendaraan atau sering disebut *vehicle routing problem* (VRP) yang pertama kali di kemukakan oleh Dantzig dan Ramser [4] pada tahun 1959. Dari permasalahan tersebut, muncul varian-varian permasalahan VRP yang baru, salah satunya VRP dengan multi-kompartemen (MCVRP). Penelitian mengenai MCVRP ini mulai banyak dilakukan dan salah satu penelitian yang fokus membahas *state-of-the-art* dari MCVRP itu dilakukan oleh Ostermeier et. al [12]. Penelitian tersebut juga membahas kerangka pemodelan matematis dari MCVRP dan juga membahas metodologi penelitian dari MCVRP yang telah dilakukan sebelumnya terhadap di beberapa sektor perusahaan, seperti sektor pembuangan sampah, sektor agrikultural, sektor toko grosir, dan sektor pertambangan.

Permasalahan yang akan dibahas pada penelitian ini juga masih berkaitan dengan permasalahan studi kasus MCVRP yang ditemukan pada PT XYZ. Perusahaan tersebut adalah perusahaan 4PL (*fourth-party logistic*) untuk penanganan rantai pasok, mulai dari proses pengadaan barang dari pemasok hingga proses pendistribusian untuk salah satu restoran cepat saji di Indonesia. Barang yang ditangani berupa makanan (bahan makanan tidak beku dan makanan beku), serta non-makanan (cairan pembersih, *tissue*, gelas plastik, dsb.) yang harus didistribusikan ke *outlet-outlet* restoran cepat saji di area Bandung. Pendistribusian dilakukan setiap hari dengan jumlah rata-rata satu armada dapat mengantarkan barang ke lima outlet cepat saji. Armada yang digunakan oleh perusahaan untuk mendistribusikan produk-produk tersebut menggunakan armada dengan multi-kompartemen, yang terdiri dari kompartemen untuk produk beku, kompartemen untuk produk yang memerlukan pendingin, serta kompartemen untuk produk kering. Utilisasi penggunaan armada tersebut dapat dilihat pada Gambar I.1 selama bulan November 2020 dengan satuan per minggu.



Gambar I.1 Grafik Persentase Utilisasi Kendaraan November 2020

Grafik tersebut menjelaskan mengenai persentase utilisasi kendaraan yang dicapai oleh perusahaan dengan periode per minggu pada bulan November 2020 untuk tujuan pengiriman ke area Bandung. Hal tersebut menunjukkan bahwa utilisasi penggunaan kendaraan masih rendah, sehingga pada perancangan tugas akhir ini menetapkan target utilisasi penggunaan kendaraan akan mencapai sebesar 35%. Untuk mencapai persentase tersebut, maka akan dilakukan perancangan kembali dalam pendistribusian barang, khususnya pada transportasi perusahaan. Dari beberapa aktor, dapat diambil satu penyebab utama yang mengakibatkan rendahnya utilitas penggunaan armada, yaitu penentuan rute pendistribusian yang masih dilakukan secara manual atau dengan perkiraan yang dapat menyebabkan waktu perjalanan armada menjadi kurang efisien. Jika kendaraan yang digunakan semakin lama dalam perjalanan, maka hal tersebut juga dapat menimbulkan keterlambatan dalam pengiriman barang hingga melewati batas *time window* dari pelanggan. Terlebih, produk yang diangkut oleh kendaraan multi-kompartemen untuk beberapa *outlet* memiliki jenis yang berbeda, sehingga untuk satu *outlet* jika memesan produk yang berbeda-beda akan memakan waktu yang lama dalam proses *unloading*-nya. Permasalahan tersebut diperoleh dari hasil data primer hasil wawancara dengan *stakeholder* perusahaan. Sehingga, dari permasalahan yang telah dijelaskan, maka pada tugas akhir ini akan melakukan perancangan usulan mengenai penggunaan armada dengan cara membagi pengiriman barang menggunakan armada terpisah atau *single*-kompartemen sesuai dengan karakteristik produk, misalnya produk beku hanya menggunakan armada khusus untuk produk beku, sementara produk non-beku juga menggunakan armada yang hanya menggunakan pendingin biasa.

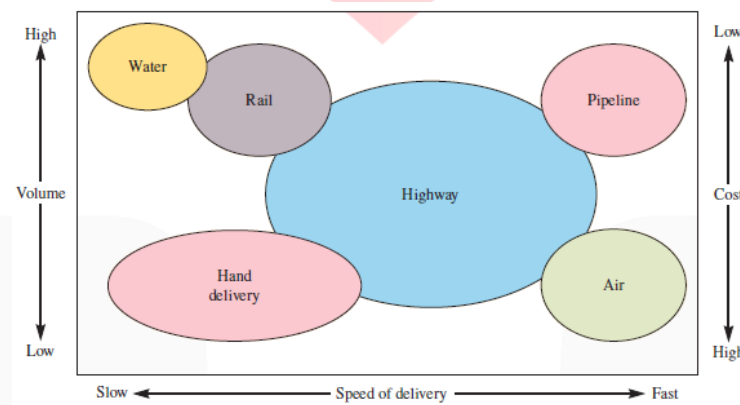
Dari perancangan dengan mengubah kendaraan menjadi *single*-kompartemen tersebut akan dilakukan pula rancangan perutean pendistribusian yang baru untuk menghindari waktu perjalanan armada yang dapat menyebabkan keterlambatan, serta untuk menghindari waktu *unloading* yang terlalu lama karena setiap jenis produk yang dipesan akan diantar menggunakan kendaraan yang berbeda. Hal tersebut diharapkan dapat mempercepat waktu *unloading* di setiap *outlet*. Perancangan tersebut juga dapat memengaruhi beberapa faktor, yaitu perubahan pada rute pendistribusian barang, di mana yang awalnya satu kendaraan hanya dapat mengirimkan ke lima *outlet*, maka dengan berubahnya penggunaan kendaraan tersebut dapat mengirimkan ke lebih dari lima *outlet* yang juga dapat meningkatkan tingkat pelayanan. Selain itu, perubahan rute yang lebih banyak tersebut juga dapat memengaruhi jumlah penggunaan kendaraan yang dimiliki, karena produk yang harus dikirimkan memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Kemudian, perubahan-perubahan tersebut tentu juga memengaruhi biaya transportasi yang dikeluarkan.

Dari gambaran-gambaran permasalahan tersebut, maka perlu diperlukan sebuah metode penyelesaian yang sesuai untuk memecahkan permasalahan tersebut dengan memenuhi semua perubahan faktor-faktor terkait, sehingga dapat dilakukan pengambilan keputusan dalam meningkatkan utilitas penggunaan armada.

## II. Landasan Teori

### II.1 Transportasi

Transportasi merupakan faktor penting dalam aktivitas logistik, karena transportasi bertanggung jawab dalam perpindahan barang secara fisik diantara titik ke titik yang lain dalam rantai pasokan [16]. Dalam transportasi juga memiliki sistem yang kompleks, seperti kebutuhan akan tenaga kerja yang cukup besar, keuangan, serta sumber daya material. Dalam proses logistik, terdapat macam-macam moda transportasi yang dapat digunakan dalam pengiriman barang. Setiap moda transportasi tersebut disesuaikan untuk menangani jenis produk tertentu, seperti yang dapat dilihat pada Gambar II.1 [8].



Gambar II.1 Desain Matrix Logistik

Pada Gambar II.1 dapat dilihat bahwa *highway* (Truk) memiliki fleksibilitas yang baik dalam hal volume, kecepatan, maupun biaya ke hampir semua lokasi yang tidak dipisahkan oleh air. Oleh karena itu, truk menjadi moda transportasi yang umum digunakan dalam pendistribusian barang. Adapun macam transportasi berdasarkan jaraknya, salah satunya adalah transportasi jarak dekat. Transportasi jarak dekat biasa dikaitkan dengan pengambilan dan pengiriman barang di area yang relatif lebih kecil, misalnya kota atau desa dengan menggunakan truk. Biasanya, kendaraan ditempatkan pada satu depo, dan perjalanan kendaraan dilakukan dalam satu *shift* kerja, serta dapat mencakup beberapa titik penjemputan dan pengiriman [6].

### II.2 Vehicle Routing Problem (VRP)

*Vehicle routing problem* pertama kali dikemukakan oleh Dantzig dan Ramser pada tahun 1959 pada artikelnya yang meneliti permasalahan *truck dispatching*. VRP sendiri merupakan bagian penting yang berkaitan dengan manajemen distribusi [3]. VRP sendiri merupakan suatu model permasalahan transportasi yang memiliki banyak variasi dan bertujuan untuk menentukan rute dengan biaya minimum dalam pengiriman suatu produk yang memiliki beberapa konsumen di berbagai lokasi yang berbeda, serta menggunakan beberapa kendaraan [7].

#### II.2.1 VRP with Split Delivery

VRP dengan split delivery (SDVRP) diperkenalkan oleh Dror dan Trudeau pada tahun 1989 yang menghapuskan batasan konsumen hanya dapat dikunjungi sekali saja. Selain itu, SDVRP menurunkan sifat struktural dari solusi SDVRP yang optimal dan secara empiris menunjukkan

bahwa pengiriman terpisah (split delivery) dapat menghasilkan penghematan biaya yang cukup besar [1].

### II.2.2 VRP With Heterogeneous Fleet

VRP dengan armada yang heterogen (HVRP) merupakan permasalahan secara sekaligus mengenai penentuan komposisi dan rute dari armada yang heterogen tersebut dengan tujuan untuk melayani konsumen dengan permintaan pengiriman yang telah diketahui dari depo pusat [11].

### II.3 Algoritma Penyelesaian Mixed-Integer Linear Programming (MILP)

Permasalahan *integer programming* pertama kali dibahas oleh Gomory pada tahun 1958 melalui artikelnya yang sekaligus mengusulkan solusi dari permasalahan *integer programming* tersebut menggunakan teknik *cutting plane* [5]. Pada ILP terdapat algoritma yang terdiri dari tiga tahap, sebagai berikut ini [15].

1. Merelaksasi ruang solusi dari ILP dengan menghapus pembatasan bilangan bulat pada semua variabel dan menggantikan variabel bilangan *binary*  $y$  dengan rentang kontinu  $0 \leq y \leq 1$ . Hasil dari relaksasi tersebut adalah LP biasa.
2. Memecahkan LP tersebut dan mengidentifikasi titik optimum kontinu.
3. Mulai dari titik optimum kontinu, tambahkan batasan khusus yang secara iteratif memodifikasi ruang solusi LP dengan cara yang menghasilkan titik ekstrem optimal yang memenuhi persyaratan bilangan bulat.

Menurut Taha, terdapat dua metode umum yang telah dikembangkan untuk menghasilkan pembatasan khusus pada langkah tiga (3) di atas yang akan dijelaskan di bawah ini berdasarkan buku *Integer Programming* oleh Conforti et. al [2].

#### a. Algoritma Branch-and-Bound

Algoritma *branch-and-bound* ini memiliki dua prinsip, antara lain langkah percabangan (*branching*) untuk membuat dua submasalah yang diperoleh dengan membatasi rentang dari sebuah variabel, sehingga strategi ini disebut dengan percabangan variabel (*variable branching*). Kemudian, pembatasan (*bounding*) nilai objektif dari suatu submasalah dilakukan dengan menyelesaikan relaksasi program linier alaminya, yang juga disebut strategi *linear programming bounding*. Adapun prosedur dari algoritma *branch-and-bound* yaitu sebagai berikut.

- Langkah 0. : Menentukan fungsi tujuan dan pembatasnya yang selanjutnya menentukan nilai solusi dan nilai fungsi tujuannya.
- Langkah 1. : Hasil dari langkah sebelumnya disebut relaksasi dari *linear programming* murni ( $P_0$ ) dan menjadi *upper bound*. Jika dari  $P_0$  diperoleh nilai paling kecil fraksional, maka dilakukan *branching*.
- Langkah 2 : *Branching* dilakukan dengan membuat batasan tambahan atau sub-masalah ( $P_1$  dan  $P_2$ ).
- Langkah 3 : Dari hasil  $P_1$  maupun  $P_2$  jika masih ditemukan nilai fraksional maka dilakukan *branching* kembali.
- Langkah 4 : *Branching* terus dilakukan hingga memperoleh nilai yang paling optimal.

#### b. Algoritma Cutting Plane

Metode *cutting plane* merupakan algoritma eksak untuk permasalahan *integer programming*. Pada algoritma ini terdapat pembatasan khusus yang ditambahkan ke ruang solusi dinamakan *cuts* dengan cara membuat titik ekstrim optimal dari bilangan bulat. Berikut ini merupakan prosedur dari algoritma *cutting plane*.



- Langkah 0. : Menentukan fungsi tujuan dan pembatasnya yang selanjutnya menentukan nilai solusi dan nilai fungsi tujuannya.
- Langkah 1. : Hasil dari langkah sebelumnya disebut relaksasi dari *linear programming* murni ( $P_0$ ). Jika nilai dari  $P_0$  terdapat nilai fraksional, maka pembatas tambahan akan ditambah atau disebut juga *Gomory cut*.
- Langkah 2. : Penambahan *Gomory cut* terus dilakukan berulang hingga menemukan solusi paling optimal.

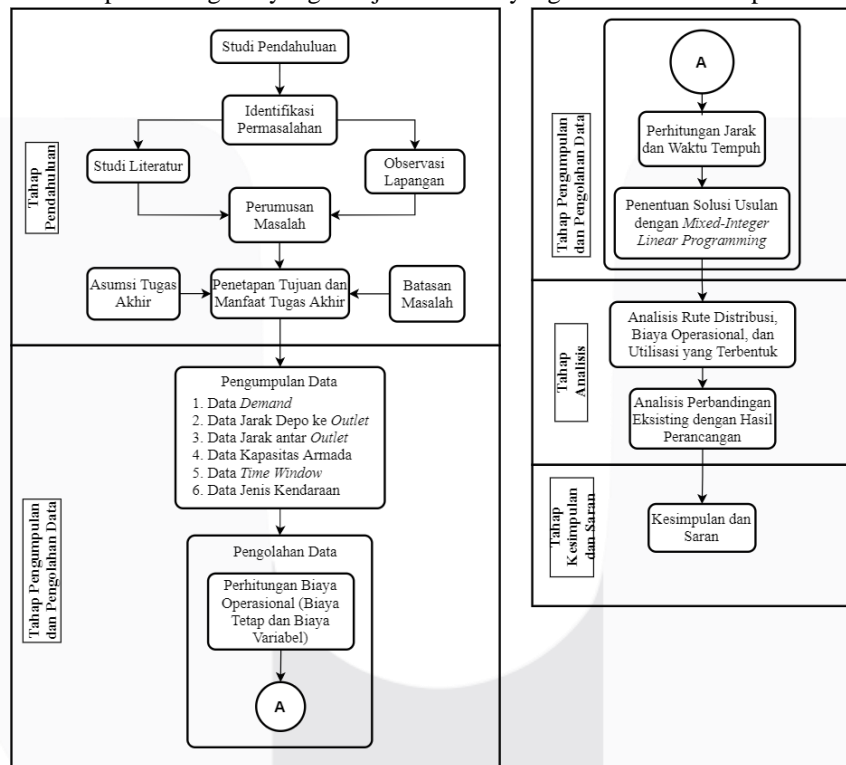
c. Algoritma *Branch-and-Cut*

Pada algoritma ini, pendekatan yang dilakukan dengan menggabungkan pendekatan algoritma *branch-and-bound* dan *cutting plane*. Algoritma *cutting plane* digunakan untuk menemukan nilai *upper bound* pada sub-masalah, yang mana pada sub-masalah tersebut akan diterapkan algoritma *branch-and-bound* untuk menghapus percabangan.

### III. Metodologi Penyelesaian Masalah

#### III.1 Diagram Alir Penelitian

Di bawah ini merupakan diagram yang menjelaskan alir yang dilakukan dalam penelitian ini.

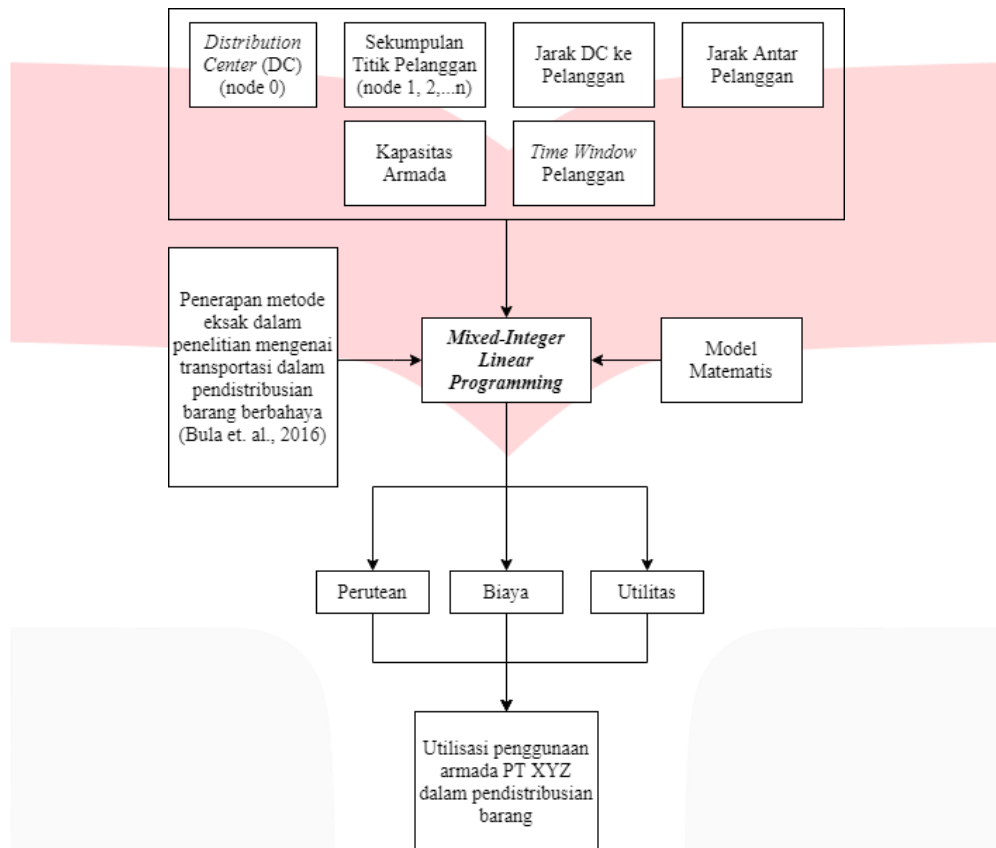


Gambar III.1 Diagram Alir Penelitian

Tahap pendahuluan yang merupakan langkah awal dalam melakukan penelitian. Pada tahap ini, perlu melakukan penentuan objek penelitian agar mempermudah dalam melakukan pengangkatan permasalahan dalam penelitian. Kedua, tahap pengumpulan data yang berupa data primer, yaitu dengan cara wawancara oleh perusahaan terkait, sementara data sekunder berupa data yang sudah dimiliki oleh perusahaan yang nantinya akan diolah. Ketiga, pengolahan data dengan metode yang akan digunakan. Keempat, tahap analisis dari hasil pengolahan data yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya. Terakhir, tahap kesimpulan dan saran yaitu penjelasan menyeluruh mengenai penelitian yang telah dilakukan secara ringkas.

### III.2 Research Framework

Di bawah ini merupakan diagram yang menunjukkan kerangka berpikir dalam penyusunan penelitian ini.



Gambar III.2 Diagram *Research Framework*

Pada Gambar III.2 terdapat beberapa hal yang menjadi *input* dari setiap metode yang digunakan dalam penelitian, antara lain *distribution center* yang menjadi titik awal, sekumpulan titik pelanggan yang dapat disebut juga sebagai *node*, jarak DC ke pelanggan maupun jarak antar pelanggan, kapasitas armada, serta *time window* pelanggan. Tidak hanya itu, *input* untuk diolah menggunakan metode *mixed-integer linear programming* juga terdapat model matematis yang terdiri dari fungsi objektif dan batasan-batasan dari permasalahannya. Setelah metode tersebut dilakukan, maka akan mendapatkan hasil berupa perutean, biaya transportasi, serta penggunaan jumlah armada yang merupakan sebuah solusi dari permasalahan utilisasi penggunaan armada yang dialami oleh PT XYZ dalam mendistribusikan produk.

## IV. Pembahasan

### IV.1 Model Matematis

Permasalahan yang diteliti merupakan permasalahan *vehicle routing problem* yang dapat dirumuskan ke dalam sebuah model matematis dengan tujuan untuk menentukan jumlah armada yang digunakan serta biaya yang diperlukan. Di bawah ini merupakan notasi yang akan digunakan dalam perumusan model matematisnya.

#### *Index Set*

$N$  : Set dari semua node permintaan atau pelanggan;  $n \in N$

$V$  : Set dari tipe kendaraan;  $v \in V$

## Parameters

$D_{ij}$	: Jarak antar node pelanggan dari $i$ ke $j$
$T_{ij}$	: Waktu perjalanan setiap kendaraan dari $i$ ke $j$
$G_n$	: Permintaan pada setiap pelanggan; $n \in N$
$Q$	: Kapasitas dari kendaraan berdasarkan tipe kendaraan; $v \in V$
$C_{fv}$	: Biaya tetap terhadap tipe kendaraan; $v \in V$
$C_{rv}$	: Biaya variabel terhadap tipe kendaraan; $v \in V$
$E_t$	: Waktu awal dari time window setiap pelanggan $n \in N$
$L_t$	: Waktu akhir dari time window setiap pelanggan $n \in N$

## Variabel Keputusan

$x_{0j}^v$	: (binary) bernilai 1 jika kendaraan tipe $v$ digunakan dari depot (0) ke tujuan akhir ( $j$ ), bernilai 0 jika sebaliknya
$g_i^v$	: Akumulasi muatan dari kendaraan $v$ pada titik $i$ ; $v \in V$
$a_i^v$	: Waktu kedatangan dari kendaraan $v$ di titik $i$ ; $v \in V$

Dari notasi-notasi tersebut maka terdapat pula formulasi dari fungsi tujuan serta batasan-batasannya yang mana dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\text{Min} \sum_{(i,j) \in N} \sum_{v \in V} x_{ij}^v D_{ij} C_{rv} + \sum_{(0,j) \in N} \sum_{v \in V} x_{0j}^v C_{fv} \quad (\text{IV-1})$$

Subject to

$$\sum_{j \in N} \sum_{v \in V} x_{ij}^v = 1 \quad \forall i \in N \quad (\text{IV-2})$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{v \in V} x_{ij}^v = 1 \quad \forall j \in N \quad (\text{IV-3})$$

$$\sum_{i \in N} x_{ik}^v - \sum_{j \in N} x_{kj}^v = 0 \quad \forall v \in V, k \in N \quad (\text{IV-4})$$

$$\sum_{i \in N} x_{0i}^v \leq 1 \quad \forall v \in V \quad (\text{IV-5})$$

$$g_{jv} \geq g_{iv} + G_j + (x_{ij}^v - 1)Z \quad \forall v \in V, j \in N, i \in N \quad (\text{IV-6})$$

$$g_{iv} \leq Q_v \quad \forall v \in V, i \in N \quad (\text{IV-7})$$

$$a_{jv} \geq a_{iv} + T_{ij} + St + (x_{ij}^v - 1)Z \quad \forall v \in V, j \in N, i \in N \quad (\text{IV-8})$$

$$a_{iv} + T_{i0} \leq L \quad \forall v \in V, i \in N \quad (\text{IV-9})$$

$$a_{iv} \geq Et_i \quad \forall v \in V, i \in N \quad (\text{IV-10})$$

$$a_{iv} \leq Lt_i \quad \forall v \in V, i \in N \quad (\text{IV-11})$$

Fungsi objektif pada persamaan (IV-1) memiliki tujuan untuk meminimasi biaya yang dikeluarkan dari semua kendaraan yang digunakan. Kemudian adapun yang menjadi batasan-batasannya, pada pembatas (IV-2) menjelaskan jumlah kendaraan yang digunakan untuk melayani masing-masing pelanggan harus bernilai satu di mana posisi kendaraan setelah meninggalkan depot. Untuk pembatas (IV-3) juga sama dengan pembatas sebelumnya, tetapi posisi kendaraan di mana melakukan kunjungan setelahnya. Pembatas (IV-4) memastikan jumlah armada yang berangkat sama dengan jumlah armada yang datang. Pembatas (IV-5) memastikan jumlah kendaraan yang digunakan dalam melayani satu pelanggan, di mana dapat bernilai nol ataupun satu.

Selanjutnya, pembatas (IV-6) menjelaskan jumlah permintaan di titik  $j$  lebih besar sama dengan penjumlahan di ruas kanan, yaitu total jumlah permintaan di titik  $i$  dengan permintaan di titik  $j$ . Pembatas (IV-7) memastikan permintaan kurang dari sama dengan kapasitas kendaraan. Pembatas



(IV-8) menjelaskan seperti pembatas (IV-5), tetapi ditambah dengan *travel time* dan *service time*. Pembatas (IV-9) memastikan *arrival time* untuk kembali ke depot harus kurang dari sama dengan *time window* dari depot. Pembatas (IV-10) menjelaskan *arrival time* lebih dari sama dengan *time window* pelanggan. Terakhir, pembatas (IV-11) menjelaskan *arrival time* kurang dari sama dengan *time window* pelanggan. Adapun pengolahan data yang dilakukan akan diolah dengan bahasa pemrograman Python 3.8 pada aplikasi Spyder, serta penyelesaian masalah menggunakan model matematisnya akan menggunakan Gurobi *solver* 9.1.2.

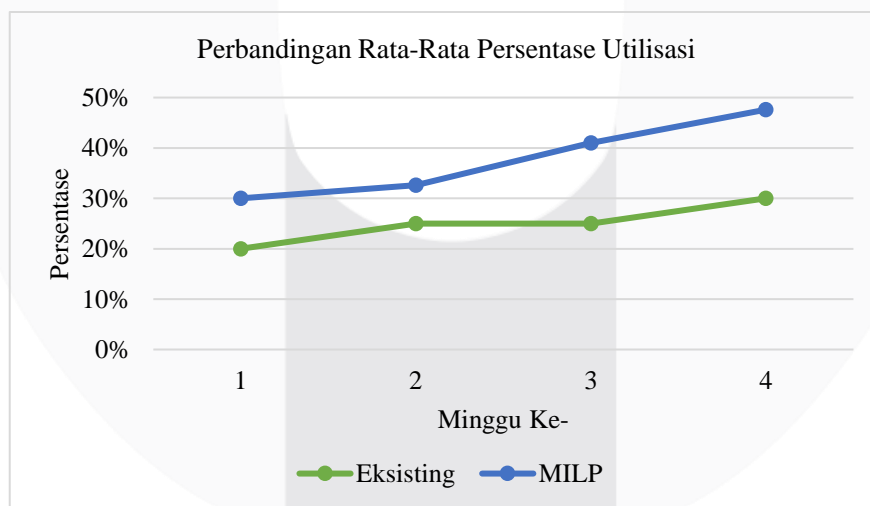
**IV.2 Utilisasi Penggunaan Kendaraan MILP dan Eksisting**

Dari hasil pengolahan data yang sebelumnya, yaitu rute dan biaya mengalami kenaikan dari eksisting. Hal tersebut juga memengaruhi utilisasi penggunaan kendaraan yang dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel IV.1 Rangkuman Analisa Utilisasi Kendaraan

Tanggal	Hasil <i>Mixed-Integer Linear Programming</i>				Persentase	Eksisting	
	Total Tur per Produk					Total Tur	Persentase
	Non-Beku	Gap	Beku	Gap			
2-Nov	1	0%	1	0%	25%	2	25%
4-Nov	2	0%	1	0%	38%	2	25%
5-Nov	1	0%	1	0%	25%	1	13%
6-Nov	1	0%	1	0%	25%	1	13%
7-Nov	2	59%	1	48%	38%	2	25%
9-Nov	2	55%	2	54%	38%	3	38%
11-Nov	2	11%	2	0%	38%	3	38%
<b>Rata-Rata</b>					<b>32%</b>	<b>Rata-Rata</b>	<b>25%</b>

Hasil perancangan pendistribusian barang menggunakan kendaraan berjenis *single*-kompartemen dapat meningkatkan utilisasi penggunaan kendaraan. Rata-rata utilisasi kendaraan dalam tujuh hari pengiriman sebesar 32%.



Gambar IV.1 Grafik Perbandingan Rata-Rata Persentase Utilisasi

Pada Gambar IV.3 dapat dilihat grafik persentase rata-rata utilisasi untuk total pengiriman di bulan November 2020 untuk hasil MILP dengan eksisting. Pada hasil MILP juga mengalami kenaikan dengan rata-rata persentase untuk keempat minggu tersebut sebesar 38%. Hal tersebut menunjukkan

bahwa perancangan armada menggunakan *single*-kompartemen dapat mencapai target dari yang telah ditentukan.

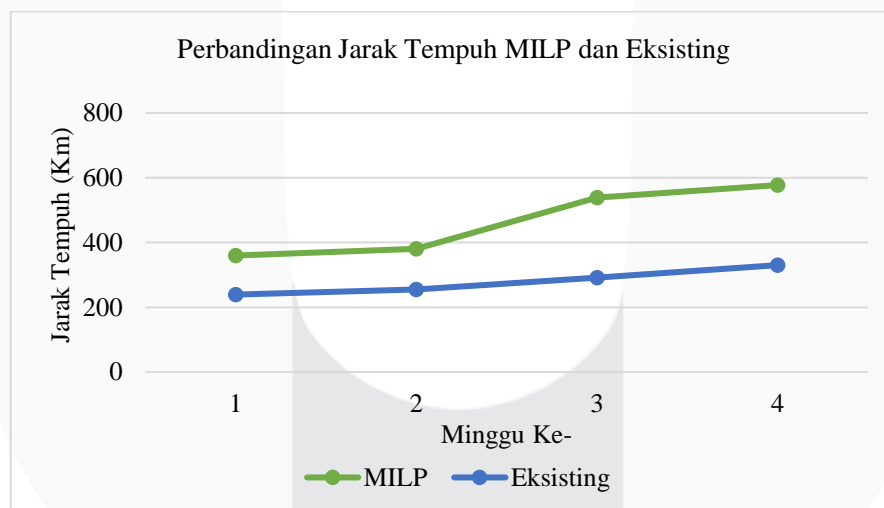
### IV.3 Jarak Tempuh Eksisting dan MILP

Dari pengolahan data yang telah dilakukan menggunakan metode MILP, diperoleh hasil rute pengiriman yang baru dan selanjutnya dibandingkan dengan yang eksisting. Dari rute tersebut, maka diperoleh total jarak tempuh per harinya.

Tabel IV.2 Rangkuman Analisa Jarak Tempuh

Hasil <i>Mixed-Integer Linear Programming</i>					Eksisting		
Tanggal	Total Tur per Produk				Total Jarak Tempuh (Km)	Total Tur	Total Jarak Tempuh (Km)
	Non-Beku	Gap	Beku	Gap			
2-Nov	1	0%	1	0%	426	2	296,5
4-Nov	2	0%	1	0%	431	2	361
5-Nov	1	0%	1	0%	391	1	130,5
6-Nov	1	0%	1	0%	239	1	118
7-Nov	2	59%	1	48%	468	2	291
9-Nov	2	55%	2	54%	426	3	401,5
11-Nov	2	11%	2	0%	507	3	325,5
<b>Total</b>					<b>2888</b>	<b>Total</b>	<b>1924</b>

Dari Tabel IV.1 diperoleh total jarak tempuh untuk tujuh hari pengiriman pada eksisting sebesar 1924 kilometer, sedangkan pada hasil MILP sebesar 2888 kilometer. Hal tersebut menunjukkan kenaikan jarak tempuh sebesar 50% dari eksisting.



Gambar IV.2 Grafik Perbandingan Rata-Rata Jarak Tempuh

Sementara itu, pada Gambar IV.1 menunjukkan grafik perbandingan jarak tempuh untuk rata-rata pengiriman per minggunya dalam bulan November 2020. Terdapat perbedaan antara keduanya, di mana hasil MILP mengalami kenaikan jarak tempuh hingga sebesar 65% dari eksisting.

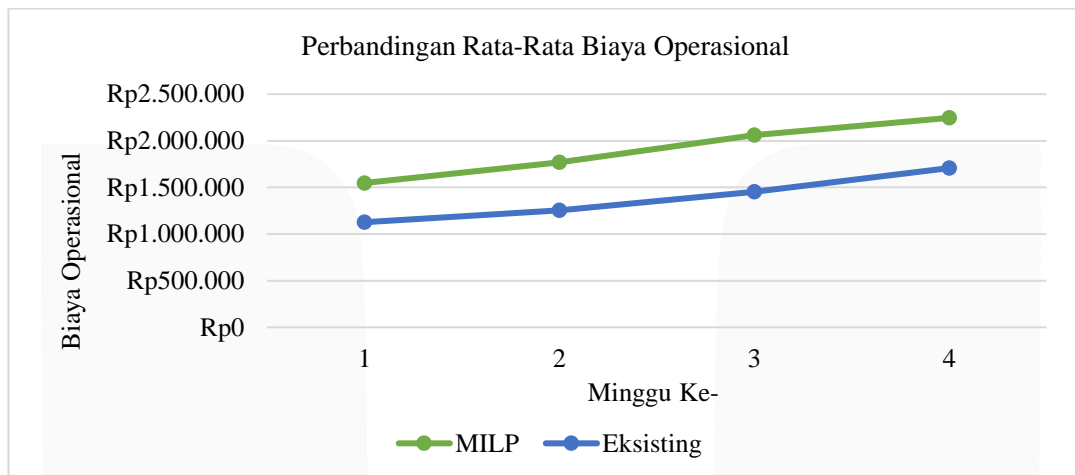
### IV.4 Biaya Operasional Eksisting dan MILP

Hasil dari pengolahan data tersebut juga berpengaruh pada biaya operasional, yang kemudian dapat dilihat perbandingannya pada tabel berikut ini.

Tabel IV.3 Rangkuman Analisa Biaya Operasional

Hasil <i>Mixed-Integer Linear Programming</i>					Eksisting		
Tanggal	Total Tur per Produk				Total Biaya	Total Tur	Total Biaya
	Non-Beku	Gap	Beku	Gap			
2-Nov	1	0%	1	0%	Rp1.627.518	2	Rp1.647.335
4-Nov	2	0%	1	0%	Rp1.985.608	2	Rp1.389.631
5-Nov	1	0%	1	0%	Rp1.030.544	1	Rp602.667
6-Nov	1	0%	1	0%	Rp996.104	1	Rp480.539
7-Nov	2	59%	1	48%	Rp2.096.007	2	Rp1.513.231
9-Nov	2	55%	2	54%	Rp2.427.303	3	Rp2.029.672
11-Nov	2	11%	2	0%	Rp2.294.781	3	Rp1.668.584
<b>Total</b>					<b>Rp12,457,865</b>	<b>Total</b>	<b>Rp9,331,658</b>

Biaya operasional untuk tujuh hari pengiriman memiliki perbedaan, yaitu pada hasil MILP mengalami kenaikan sebesar 33,5% terhadap biaya operasional eksisting.



Gambar IV.3 Grafik Perbandingan Rata-Rata Biaya Operasional

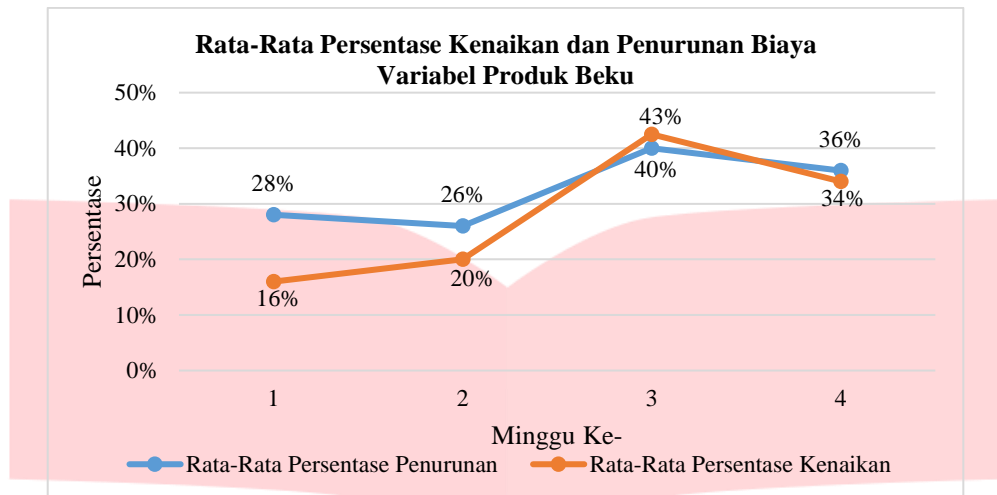
Untuk biaya operasional pada pengiriman satu bulan November 2020 seperti yang digambarkan pada Grafik IV.2, perbandingan kenaikan antara MILP terhadap eksisting sebesar 37%.

#### IV.5 Analisa Sensitivitas

Analisa sensitivitas dilakukan untuk mengukur dampak dari ketidakpastian perubahan dari satu atau lebih parameter yang dapat memengaruhi ketidakpastian hasil dari *output*, serta untuk mengetahui seberapa kokoh hasil yang diperoleh dari model yang telah dibuat. Perlu diketahui pula, hasil penentuan sensitivitas yang dilakukan pada tugas akhir ini menggunakan parameter *time limit*, sehingga sebagian hasil yang diperoleh masih memiliki *gap* dalam pengolahan datanya. Adapun perubahan tersebut dilakukan pada parameter biaya variabel dan biaya tetap.

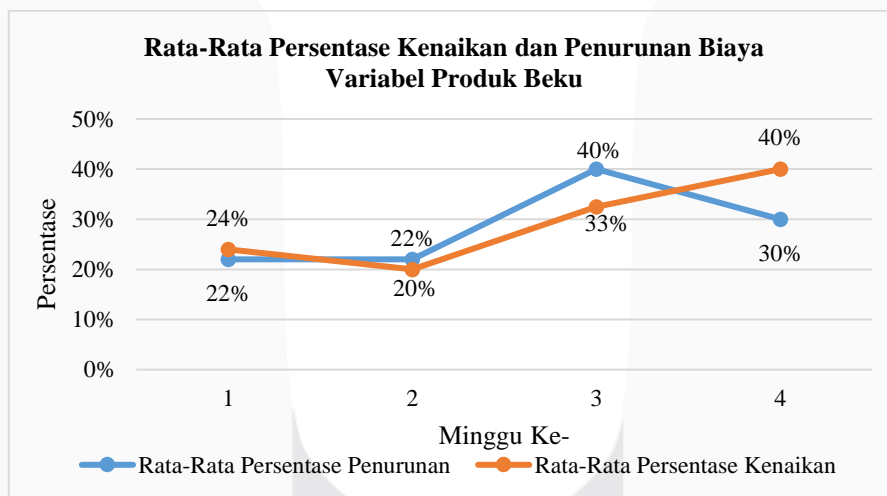
##### IV.5.1 Sensitivitas Biaya Variabel

Biaya variabel yang terdiri dari biaya penggunaan bahan bakar akan diberikan nilai penurunan dan kenaikan masing-masing sebesar 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% untuk mengetahui sensitivitas dari perubahan biaya variabel tersebut terhadap perubahan rute yang telah diusulkan.



Gambar IV.4 Grafik Sensitivitas Rata-Rata Persentase Biaya Variabel Produk Non-Beku

Grafik tersebut menunjukkan rata-rata persentase penurunan dan kenaikan biaya variabel pada produk non-beku dalam periode per minggu terhadap perubahan rute. Hasilnya sensitivitas paling tinggi terhadap perubahan biaya terjadi di minggu ketiga sebesar 38%, di mana persentase rata-rata rute akan berubah dari usulan awal saat perubahan biaya variabel tersebut mengalami kenaikan maupun penurunan. Selanjutnya, di bawah ini merupakan analisa sensitivitas pada biaya variabel untuk produk beku.

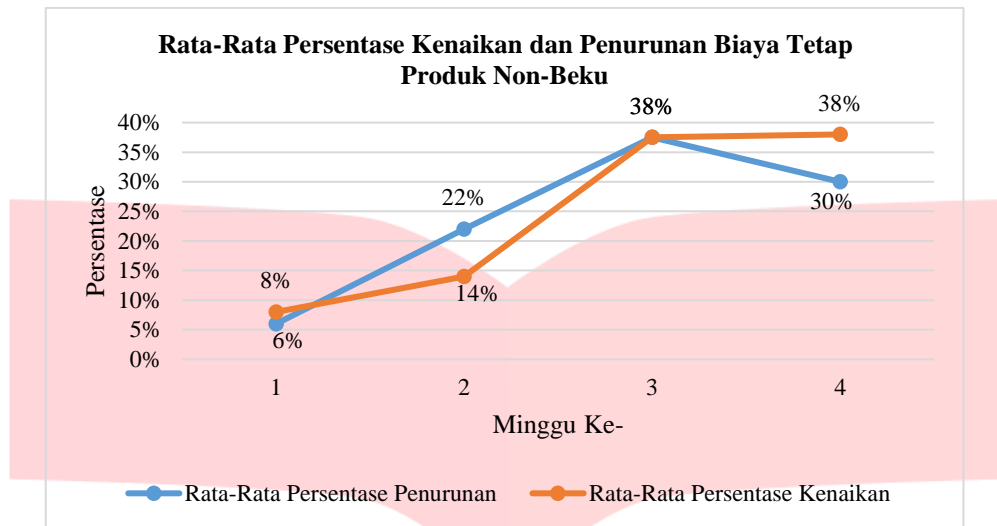


Gambar IV.5 Grafik Sensitivitas Rata-Rata Persentase Biaya Variabel Produk Beku

Pada produk beku, sensitivitas terjadi paling tinggi pada minggu ketiga, yang mana jika biaya variabel diturunkan akan mengalami perubahan rute dengan rata-rata sebesar 40%, sedangkan apabila dinaikkan akan mengalami perubahan rute dengan rata-rata sebesar 43%. Hal tersebut menunjukkan perubahan biaya dapat mengubah rute di hampir setiap persentase kenaikan maupun penurunan.

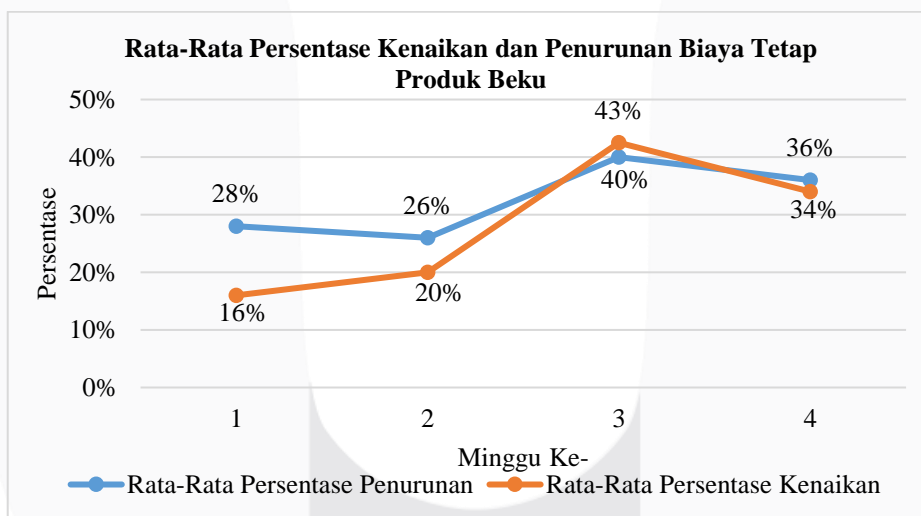
**IV.5.2 Sensitivitas Biaya Tetap**

Selain biaya variabel, terdapat pula biaya tetap yang terdiri dari biaya depresiasi kendaraan. Pengaruh yang dilakukan untuk melihat sensitivitasnya juga tidak jauh berbeda dengan yang dilakukan pada biaya variabel.



Gambar IV.6 Grafik Sensitivitas Biaya Tetap Produk Non-Beku

Pada produk non-beku juga mengalami sensitivitas terhadap perubahan parameter biaya tetap yang menyebabkan berubahnya rute pendistribusian barang dari usulan awal. Sensitivitas dari kenaikan dan penurunan biaya tersebut dilihat berdasarkan persentase perubahan rute yang terjadi pada periode per minggunya. Selanjutnya, dapat diperoleh pula sensitivitas biaya tetap terhadap perubahan rute untuk produk beku dengan teknis pengolahan data yang masih sama dengan sebelumnya.



Gambar IV.7 Grafik Sensitivitas Biaya Tetap Produk Beku

Perubahan biaya tetap yang diberikan untuk pendistribusian produk beku juga menunjukkan sensitivitas terhadap perubahan rute yang telah diperoleh dari usulan awal. Hal tersebut dapat dilihat pada grafik di atas dengan rata-rata persentase perubahan rute per minggunya. Dari analisa sensitivitas yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa dengan dilakukannya perubahan pada parameter biaya operasional dapat mengakibatkan berubahnya hasil yang diperoleh, terlebih pada rute pendistribusian barang. Hal tersebut menunjukkan bahwa hasil pengolahan data pada usulan awal terbilang masih belum *robust* atau kokoh, karena masih banyaknya perubahan yang ditemukan dari hasil analisa sensitivitas di atas.

## V. Kesimpulan

Dari hasil pengolahan data yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa perancangan armada dengan mengubah kendaraan ke jenis *single*-kompartemen mengalami kenaikan sebesar 13% yang rata-rata sebelumnya sebesar 25% menjadi 38% pada hasil perancangan. Tidak hanya itu, perancangan tersebut juga memengaruhi rute dan biaya dalam periode waktu satu bulan pengiriman. Pada rute, perubahan yang dialami yaitu kenaikan jarak tempuh mencapai 65% yang disebabkan oleh faktor *split delivery* yang dilakukan sesuai dengan karakteristik produk. Selanjutnya, pada biaya juga terjadi kenaikan sebesar 37% dikarenakan peningkatkan jumlah penggunaan kendaraan, serta jarak tempuh yang dilalui juga meningkat.

## Referensi

- [1] C. Archetti, M. W. P. Savelsbergh, and M. G. Speranza, "Worst-case analysis for split delivery vehicle routing problems," *Transp. Sci.*, vol. 40, no. 2, pp. 226–234, 2006, doi: 10.1287/trsc.1050.0117.
- [2] M. Conforti, G. Cornuéjols, and G. Zambelli, *Integer Programming*. New York: Springer, 2014. doi: 10.1007/978-3-319-11008-0.
- [3] J.-F. Cordeau, G. Laporte, M. W. Savelsbergh, and D. Vigo, "Chapter 6 Vehicle Routing," *Handbooks Oper. Res. Manag. Sci.*, vol. 14, pp. 367–428, 2007, [Online]. Available: [https://doi.org/10.1016/S0927-0507\(06\)14006-2](https://doi.org/10.1016/S0927-0507(06)14006-2)
- [4] G. B. Dantzig and J. H. Ramser, "The Truck Dispatching Problem," *Manage. Sci.*, vol. 6, no. 1, pp. 80–91, 1959, doi: 10.1287/mnsc.6.1.80.
- [5] H. A. Eiselt and C.-L. Sandblom, *Operation Research A Model-Based Operations*. New York: Springer, 2010. doi: 10.1007/978-3-642-10326-1.
- [6] G. Ghiani, G. Laporte, and R. Musmanno, *Introduction to Logistics Systems Planning and Control*. Chichester: John Wiley & Sons, 2004.
- [7] Gunawan, I. Maryati, and H. K. Wibowo, "Optimasi penentuan rute kendaraan pada sistem distribusi barang dengan ant colony optimization 1," *Semantik*, vol. 2, no. 1, pp. 163–168, 2012.
- [8] F. R. Jacobs and R. B. Chase, *Operations and Supply Chain Management: The Core*, Fifth Edit. New York: McGraw-Hill Education, 2020. [Online]. Available: <http://library1.nida.ac.th/termpaper6/sd/2554/19755.pdf>
- [9] S. Mirzaei and S. Wöhlk, "A Branch-and-Price algorithm for two multi-compartment vehicle routing problems," *EURO J. Transp. Logist.*, vol. 8, no. 1, pp. 1–33, 2019, doi: 10.1007/s13676-016-0096-x.
- [10] D. J. Nair, H. Grzybowska, Y. Fu, and V. V. Dixit, "Scheduling and routing models for food rescue and delivery operations," *Socioecon. Plann. Sci.*, vol. 63, pp. 18–32, 2018, doi: 10.1016/j.seps.2017.06.003.
- [11] S. Onut, M. R. Kamber, and G. Altay, "A heterogeneous fleet vehicle routing model for solving the LPG distribution problem: A case study," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 490, no. 1, 2014, doi: 10.1088/1742-6596/490/1/012043.
- [12] M. Ostermeier, T. Henke, A. Hübner, and G. Wäscher, "Multi-Compartment Vehicle Routing Problems: State-of-the-art, Modeling Framework and Future Directions," *Eur. J. Oper. Res.*, 2020, doi: 10.1016/j.ejor.2020.11.009.
- [13] H. D. Rafke and Y. D. Lestari, "Simulating Fleet Procurement in an Indonesian Logistics Company," *Asian J. Shipp. Logist.*, vol. 33, no. 1, pp. 1–10, 2017, doi:



10.1016/j.ajsl.2017.03.001.

- [14] D. F. Ross, *Distribution Planning and Control*, 3rd Ed. New York City: Springer, 2015. doi: 10.1007/978-1-4899-7578-2.
- [15] H. A. Taha, *Operations Research An Introduction*, 10th Editi. Essex: Pearson, 2017.
- [16] D. Waters, *Logistics: An Introduction to Supply Chain Management*. New York City: Palgrave Macmillan, 2003.

