

Perancangan Rute Pendistribusian Baja Ringan Pada Pt. Abc Dengan *Vehicle Routing Problem Heterogeneous Fleet* Dan *Time Windows* Menggunakan *Mixed Integer Linear Programming* (Milp) Untuk Meminimasi Biaya Transportasi

1st Muhammad Fahreza Firdaus

Fakultas Rekayasa Industri

Universitas Telkom

Bandung, Indonesia

muhammadfahreza@student.telkomuni-
versity.ac.id

2nd M Nashir Ardiansyah

Fakultas Rekayasa Industri

Universitas Telkom

Bandung, Indonesia

nashirardiansyah@telkomuniversity.ac.
id

3rd Prafajar Suksessanno

Fakultas Rekayasa Industri

Universitas Telkom

Bandung, Indonesia

prafajars@telkomuniversity.ac.id

Abstrak— PT. ABC merupakan perusahaan distribusi yang bergerak pada material konstruksi dan salah satu produk yang didistribusikannya yaitu baja ringan. PT. ABC memiliki konsumen yang tersebar pada pulau Jawa, dan menggunakan 4 kendaraan dengan spesifikasi yang berbeda-beda pada kapasitasnya. Pengukuran kapasitas pada kendaraan yang dimiliki oleh PT. ABC menggunakan kubikasi meter dengan kapasitas 6, 11, 24, dan 30 m³. Pada proses pengantaran produk baja ringan oleh PT. ABC mengalami keterlambatan, dan keterlambatan tersebut perlu dieliminasi karena menyebabkan kerugian secara finansial kepada PT. ABC dikarenakan melebihi kontrak yang telah dijanjikan kepada konsumen.

Permasalahan yang dialami oleh PT. ABC termasuk pada kategori *Vehicle Routing Problem with Heterogeneous Fleet with Time Windows* dan penyelesaiannya menggunakan *Mixed Integer Linear Programming* dengan solver yang disediakan oleh Gurobi untuk mengurangi keterlambatan dan biaya operasional pengiriman baja ringan PT. ABC.

Proses penyelesaian masalah tersebut dapat mengeliminasi seluruh keterlambatan karena terdapat fungsi pembatas yang menyatakan waktu kedatangan di dalam interval *time windows* setiap konsumen dengan rata-rata optimasi biaya operasional sebesar 7% yang didapatkan dari fungsi tujuan pada permodelan matematisnya dengan melihat jarak tempuh dan rasio biaya bahan bakar armada.

Kata kunci— Baja Ringan, MILP, VRP, Heterogeneous Fleet, Time Windows

perusahaan. Menurut Hesket pada tahun 1973 yang dikutip oleh Rushton (2014) logistik merupakan proses manajemen aktifitas yang melingkupi pergerakan dan koordinasi supply dan demand. Pada tahun 2021, kinerja logistik nasional di Indonesia naik sebesar 7% dibandingkan tahun lalu saat munculnya wabah covid di Indonesia. Dengan karakteristik kepulauan, transportasi laut menjadi prioritas pemerintah yang selalu diupayakan peningkatan kinerjanya untuk kelancaran dan penurunan biaya logistik.

PT. ABC merupakan perusahaan distribusi yang bergerak pada material konstruksi dan salah satu produk yang didistribusikannya yaitu baja ringan. PT. ABC pertama kali didirikan pada tahun 2000 dan berlokasi di Bekasi. PT. ABC memiliki konsumen yang tersebar pada pulau Jawa, dan dalam proses pengantaran produknya perusahaan ini menggunakan beberapa kendaraan diantaranya:

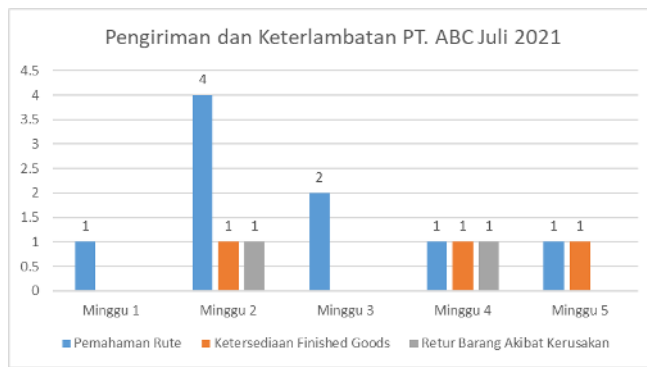
TABEL 1
Tipe Kendaraan Angkut

No	Kendaraan	Kapasitas (m ³)
1	Tipe A	6
2	Tipe B	11
3	Tipe C	24
4	Tipe D	30

Kendaraan yang dimiliki oleh PT. ABC hanya tipe A dan berjenis pickup dengan kapasitas 6 m³. Apabila terdapat konsumen yang memesan melebihi kapasitas tersebut, perusahaan perlu untuk menyewa kendaraan lain kepada pihak ketiga dengan kontrak sewa berupa supir dengan kendaraan dan bahan bakar ditanggung sendiri.

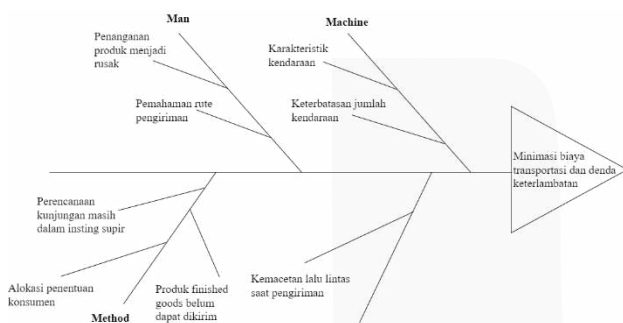
I. PENDAHULUAN

Logistik merupakan salah satu faktor yang penting pada keberlangsungan perusahaan, dengan peran dalam perencanaan persediaan, pergudangan, serta transportasi dengan optimal merupakan kunci kesuksesan sebuah



GAMBAR 1
Keterlambatan Pengantaran

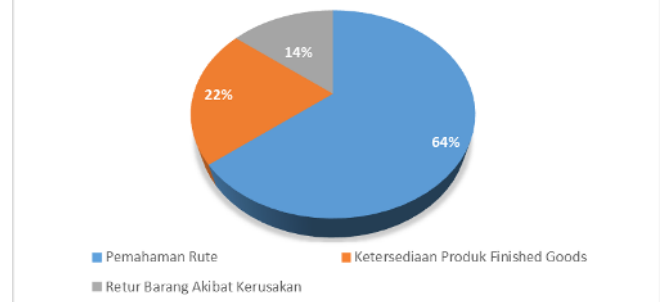
Pada bulan Juli, dari jumlah pengiriman sebanyak 131 kali terjadi total 14 keterlambatan. Keterlambatan tersebut dapat terjadi dikarenakan beberapa hal, diantaranya merupakan pemahaman rute dari supir, ketersediaan produk, dan kerusakan produk saat tiba pada konsumen sehingga perlu dikirimkan kembali yang apabila melebihi tenggat waktu pada kontrak akan menjadi keterlambatan pada proses pengiriman dan akan mendapatkan penalty sebesar 2% dari nilai kontrak. Untuk mengetahui lebih dalam mengenai penyebab keterlambatan dapat dilihat melalui fishbone diagram di bawah ini:



GAMBAR 2
Fishbone Diagram

Dari diagram tersebut dapat diketahui terdapat 4 faktor penyebab keterlambatan pengiriman, yang pertama merupakan man atau manusia. Pada faktor manusia, yang mempengaruhi terjadinya keterlambatan merupakan pemahaman rute pengiriman. Selanjutnya pada faktor machine atau mesin yang merepresentasikan kendaraan, yang mempengaruhi terjadinya keterlambatan merupakan keterbatasan jumlah dan karakteristik kendaraan terutama pada kapasitas muatannya. Pada faktor method atau metode, yang mempengaruhi terjadinya keterlambatan merupakan alokasi penentuan konsumen pada saat sebelum dilakukan pengiriman sementara rute pengiriman tersebut hanya berdasarkan intuisi dari supir. Yang terakhir merupakan faktor environment atau lingkungan yang mempengaruhi terjadinya keterlambatan merupakan kemacetan lalu lintas dan operasi zebra penilangan polisi yang keduanya tidak dapat terprediksi dan memakan cukup banyak waktu untuk proses pengiriman.

Penyebab Keterlambatan Juli 2021



GAMBAR 3
Penyebab Keterlambatan

Dari diagram tersebut dapat diketahui bahwa dari total 14 keterlambatan yang terjadi pada bulan Juli 2021, 9 pengantaran atau sebesar 64% dikarenakan oleh pemahaman rute pengemudi kendaraan, 3 pengantaran atau sebesar 22% disebabkan oleh ketersediaan produk dari gudang, dan 2 pengantaran lainnya disebabkan oleh kerusakan produk saat proses pengiriman dan pada saat dilakukan pengiriman kembali telah melewati kontrak

II. KAJIAN TEORI

A. Supply Chain Management

Manajemen Rantai Pasok atau *Supply Chain Management* (SCM) adalah proses terkait perencanaan, implementasi, dan kontrol yang berfokus pada informasi, bahan baku, persediaan, dan barang jadi. Dalam proses pencapaian tersebut, terdapat beberapa faktor penting yang menjadi kunci tingkat performansi SCM, yaitu pada logistik (persediaan, fasilitas, dan transportasi) dan fungsi pendukung lainnya (informasi, harga, dan sumber daya) (Chopra & Meindl, 2016).

SCM pada literasi lainnya adalah proses integrasi pemasok, produsen, gudang, dan toko penjualan secara efisien agar jumlah barang yang diproduksi serta didistribusikan berada pada jumlah yang tepat, lokasi yang tepat, dan waktu yang tepat untuk meminimasi biaya dan meningkatkan tingkat layanan (Simchi & Levi, 2003). Definisi terkait SCM tersebut berkesinambungan dengan yang diungkapkan oleh Hugos (2006) bahwa SCM adalah proses koordinasi antara pemasok, pabrik, gudang, dan konsumen agar produk yang dimiliki oleh perusahaan dapat diterima oleh konsumen pada jumlah, waktu, dan tempat yang tepat dalam proses meminimasi biaya keseluruhan operasional dan meningkatkan kualitas pelayanan.

B. Vehicle Routing Problem

Vehicle Routing Problem atau VRP pertama kali dikemukakan oleh Dantzig dan Ramser pada tahun 1959 dengan konsep, "*Truck Dispatching Problem*". VRP merupakan pernyataan sejumlah v kendaraan yang dimiliki oleh perusahaan dan digunakan untuk mengirimkan barang pada sejumlah c konsumen (Caric & Gold, 2008). Hal tersebut berkesinambungan dengan yang diungkapkan oleh Toth dan Vigo (2002) yang mengungkapkan VRP adalah masalah pengoptimasian dalam menentukan rute kendaraan berdasarkan depot yang dimiliki oleh perusahaan untuk

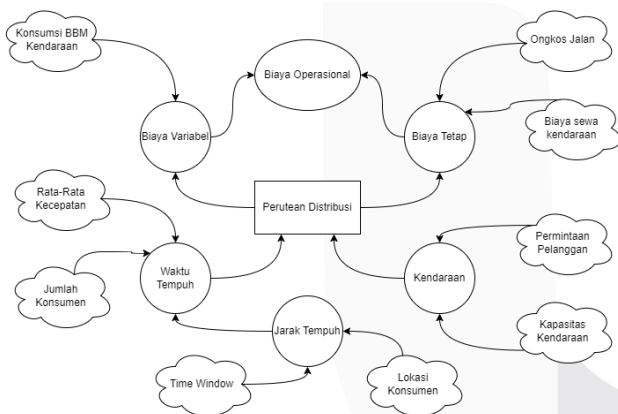
melayani satu atau lebih konsumen yang ditentukan oleh perusahaan.

C. Operational Research

Menurut Amalia (2014), pemrograman linier merupakan teknik penyelesaian persoalan alokasi sumber daya yang memiliki keterbatasan pada aktivitas yang memiliki keterkaitan langsung untuk menghasilkan solusi yang optimal baik dari maksimasi keuntungan atau minimasi biaya. Menurut Luenberger (2016), pemrograman linier merupakan metode penyelesaian permasalahan dimana terdapat keterbatasan pada sumber daya ataupun suatu kapasitas dan memiliki tujuan yang berbanding lurus dengan keterbatasan permasalahannya.

Integer Linear Programming (ILP) merupakan pemrograman linier yang dimana variabel keputusannya merupakan bilangan bulat, sehingga dalam permodelannya diperlukan penambahan batasan masalah dimana keseluruhan bilangan haruslah bilangan bulat (Basriati, 2018). Sementara apabila terdapat salah satu atau lebih variabel yang tidak memiliki bilangan bulat maka dinamakan *Mixed Integer Linear Programming* (MILP). Menurut Hadi (2010), metode penyelesaian MILP menggunakan metode *simplex* dan algoritma *branch-and-bound* dalam proses mendapatkan solusinya.

III. METODE PENELITIAN



Gambar 4
Influence Diagram

Influence diagram digunakan untuk merumuskan permasalahan dan mengilustrasikannya yang selanjutnya akan menjadi acuan dalam permodelan matematis. Diagram ini terdiri dari keputusan atau variabel terkontrol, variabel tidak terkontrol, dan tujuan akhir permasalahan. Pembentukan model matematis pada penelitian ini menggunakan referensi pada Jeong (2019).

Fungsi Tujuan:

$$\min \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{v=1}^v X_{ijv} D_{ij} C V_v + \sum_{j=0}^n \sum_{v=1}^v X_{0jv} C F_v \quad (R1)$$

Fungsi Pembatas:

$$\sum_{i=0}^n \sum_{v=1}^v X_{ijv} = 1, \quad \forall j \in Nd, v \in V \quad (R2)$$

$$\sum_{j=0}^n \sum_{v=1}^v X_{ijv} = 1, \quad \forall i \in Nd, v \in V \quad (R3)$$

$$\sum_{i=0}^n X_{ikv} - \sum_{j=0}^n X_{k jv} = 0, \quad \forall i \in Nd, j \in Nd \quad (R4)$$

$$\sum_{i=0}^n X_{0iv} \leq 1, \quad \forall v \in V \quad (R5)$$

$$g_{jv} \geq g_{iv} + G_j + ((X_{ijv} - 1) \times Z), \quad \forall i \in Nd, j \in N, v \in V \quad (R6)$$

$$g_{iv} \leq Q_v, \quad \forall i \in Nd, v \in V \quad (R7)$$

$$a_{jv} \geq a_{iv} + \left(\frac{D_{ij}}{A_{cv}} \right) + S_t + ((X_{ijv} - 1) \times Z), \quad \forall i \in Nd, j \in N, v \in V \quad (R8)$$

$$a_{iv} + \left(\frac{D_{i0}}{A_{cv}} \right) \leq L, \quad \forall i \in N, v \in V \quad (R9)$$

$$a_{iv} \geq E T_i, \quad \forall i \in N, v \in V \quad (R10)$$

$$a_{jv} \leq L T_i, \quad \forall i \in N, v \in V \quad (R11)$$

$$d_{jv} \geq d_{iv} + D_{ij} + ((X_{ijv} - 1) \times Z), \quad \forall i \in Nd, j \in N, v \in V \quad (R12)$$

$$E = 0, L = 720, S_t = 30, Z = 9999$$

$$Q[1] = 6, Q[2] = 11, Q[3] = 24, Q[4] = 30$$

$$Cv[1] = 1188, Cv[2] = 1357, Cv[3] = 2376, Cv[4] =$$

$$3168, Cf[1] = 100253, Cf[2] = 5500000, Cf[3] =$$

$$10750000, Cf[4] = 14500000$$

$$Ac[1] = 666.67, Ac[2] = 583.33, Ac[3] = 500, Ac[4] = 416.67$$

Permasalahan perutean PT. ABC dalam melakukan pengantaran produk baja ringan kepada pelanggannya memiliki fungsi tujuan yang dituliskan pada rumus (R1) untuk meminimasi keseluruhan biaya operasi kendaraan angkut. Dalam pencapaian fungsi tujuan tersebut perlu dibuat batasan masalah agar memastikan berjalannya program. Rumus batasan (R2) digunakan untuk mendefinisikan setiap kendaraan berangkat dari titik 0 atau depot. Rumus batasan (R3) digunakan untuk memastikan setiap tujuan dikunjungi oleh kendaraan. Rumus batasan (R4) digunakan untuk mendefinisikan kendaraan angkut yang digunakan dalam proses pengantaran jumlahnya sama saat keberangkatan dan saat kepulangan kembali ke perusahaan. Rumus batasan (R5) digunakan untuk mendefinisikan kendaraan angkut yang digunakan dalam melayani pelanggan. Rumus batasan (R6) digunakan untuk menghitung akumulasi keseluruhan muatan yang dimiliki pada kendaraan angkut pada saat melakukan pengantaran ke beberapa pelanggan. Rumus batasan (R7) digunakan untuk mendefinisikan akumulasi keseluruhan muatan tidak boleh melebihi dari kapasitas yang dimiliki kendaraan angkut. Rumus batasan (R8) digunakan untuk menghitung akumulasi keseluruhan waktu tempuh yang dimiliki kendaraan angkut dalam melakukan proses pengantaran dengan melihat waktu tiba kendaraan angkut pada titik j akhir, atau perusahaan. Rumus batasan (R9) digunakan untuk mendefinisikan penjumlahan dari waktu tiba pada titik pelanggan terakhir dengan waktu tempuh dari titik tersebut menuju perusahaan tidak melebihi jam tutup

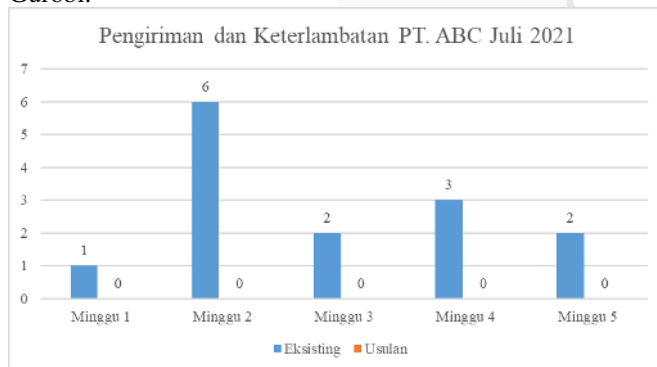
perusahaan. Rumus batasan (R10) digunakan untuk mendefinisikan waktu tiba kendaraan angkut pada node i harus lebih atau sama dengan jam buka node tersebut, sementara rumus batasan (R11) digunakan untuk mendefinisikan waktu tiba kendaraan angkut pada node j harus kurang dari atau sama dengan jam tutup node tersebut. Rumus batasan (R12) digunakan untuk menghitung akumulasi keseluruhan jarak tempuh yang dimiliki oleh kendaraan angkut dalam proses pengantaran produk baja ringan PT. ABC.

Sets:

N	=	Node pelanggan
Nd	=	Node pelanggan dengan perusahaan
V	=	Armada angkutan
Parameter:		
D	=	Node jarak antar pelanggan
G	=	Permintaan yang dimiliki pelanggan
Q	=	Kapasitas kendaraan angkutan
Cf	=	Biaya tetap kendaraan angkutan
Cv	=	Biaya variabel kendaraan angkutan
Z	=	<i>Big number</i>
L	=	Waktu jam tutup perusahaan
Et	=	Waktu jam buka pelanggan (<i>earliest time</i>)
Lt	=	Waktu jam tutup pelanggan (<i>latest time</i>)
St	=	Waktu <i>unloading</i> dan <i>checking</i> pelanggan (<i>service time</i>)

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Permasalahan keterlambatan yang dialami oleh PT. ABC dalam pendistribusian baja ringan kepada konsumennya perlu divalidasi kembali terhadap hasil rute pengiriman usulan menggunakan pemrograman MILP dengan *solver* dari Gurobi.



GAMBAR 5
Perbandingan Keterlambatan

Dapat dilihat bahwa rute pengiriman usulan telah mengeliminasi keseluruhan keterlambatan yang terjadi pada bulan Juli 2021. Proses eliminasi keterlambatan ini didukung dari model matematis yang telah dipaparkan sebelumnya agar baja ringan yang didistribusikan oleh PT. ABC sampai pada lokasi konsumen sebelum jam tutup layanannya. Hilangnya keterlambatan ini dikarenakan fungsi pembatas (R10) dan

(R11) mendefinisikan waktu kedatangan di dalam time windows setiap konsumennya.

TABEL 2
Perbandingan Biaya Operasional

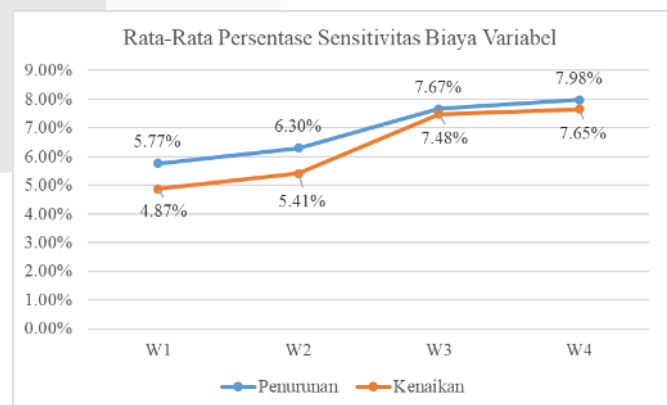
Minggu ke-	Biaya (Eksisting)	Biaya (Usulan)	Gap
1	9,206,782	9,039,213	4%
2	23,457,481	22,140,767	6%
3	18,109,771	16,440,293	9%
4	21,574,413	19,807,399	8%
5	17,907,655	16,526,750	8%
Rata-rata			7%

Hasil optimasi yang didapatkan menggunakan pemrograman MILP dengan *solver* dari Gurobi berdasarkan per minggunya memiliki rata-rata gap sebesar 7%.

TABEL 3
Perbandingan Biaya Operasional (dengan *Penalty*)

Minggu ke-	Biaya (Eksisting)	Biaya (Usulan)	Gap
1	9,667,121	9,039,213	6%
2	37,531,970	22,140,767	41%
3	18,834,162	16,440,293	13%
4	26,752,272	19,807,399	26%
5	18,623,961	16,526,750	11%
Rata-rata			19%

Tabel 3 menunjukkan perbandingan biaya operasional dengan kondisi eksisting ditambahkan *penalty* yang dikenakan akibat keterlambatan. Dapat dilihat dengan menghilangkan keterlambatan optimasi per minggunya didapatkan rata-rata sebesar 19%.



GAMBAR 6
Analisa Sensitivitas

Analisa sensitifitas digunakan untuk mengetahui apakah model yang diusulkan dapat digunakan dengan beberapa perubahan pada input modelnya. Analisa sensitifitas berfokus

pada biaya variabel pada model ini dikarenakan perusahaan tidak dapat mengatur harga bahan bakar. Dalam proses pengujian ketahanan rute terhadap biaya variabel dimana biaya tersebut terdiri dari ongkos bahan bakar minyak dan bersifat fluktuatif, diperlukan analisis sensitivitas terhadap biaya variabel yang akan dikurangi dan ditambahkan dalam rentang 5% – 25%.

Pada minggu pertama dari hasil penurunan biaya variabel pada rentang 5% sampai 25% rata-rata persentase yang menyebabkan perubahan rute berada pada 5.77%, sementara pada kenaikan biaya variabel pada rentang 5% sampai 25% rata-rata persentase yang menyebabkan perubahan rute berada pada 4.87%. Pada minggu kedua dari hasil penurunan biaya variabel pada rentang 5% sampai 25% rata-rata persentase yang menyebabkan perubahan rute berada pada 6.30%, sementara pada kenaikan biaya variabel pada rentang 5% sampai 25% rata-rata persentase yang menyebabkan perubahan rute berada pada 5.41%. Pada minggu ketiga dari hasil penurunan biaya variabel pada rentang 5% sampai 25% rata-rata persentase yang menyebabkan perubahan rute berada pada 7.67%, sementara pada kenaikan biaya variabel pada rentang 5% sampai 25% rata-rata persentase yang menyebabkan perubahan rute berada pada 7.48%. Pada minggu keempat dari hasil penurunan biaya variabel pada rentang 5% sampai 25% rata-rata persentase yang menyebabkan perubahan rute berada pada 7.98%, sementara pada kenaikan biaya variabel pada rentang 5% sampai 25% rata-rata persentase yang menyebabkan perubahan rute berada pada 7.65%.

V. KESIMPULAN

Penelitian ini menyelesaikan permasalahan *Vehicle Routing Problem with Heterogeneous Fleet and Time Windows* (VRPHFTW) dengan tujuan merancang mekanisme pemilihan rute pengiriman baja ringan pada PT. ABC yang dapat meminimasi keterlambatan dan biaya operasional menggunakan *Mixed Integer Linear Programming* dengan *Solver* dari Gurobi.

Hasil pengolahan data dari penelitian ini menunjukkan bahwa pada biaya operasional selama bulan Juli 2021 dengan 4 kendaraan angkut yang dimiliki oleh PT. ABC dapat teroptimasi rata-rata sebesar 7%, dengan minggu pertama sebesar 4%, minggu kedua sebesar 6%, minggu ketiga sebesar 9%, dan minggu keempat sebesar 8%. Sementara apabila biaya usulan dibandingkan dengan biaya eksisting yang sudah dijumlahkan dengan *penalty* yang dikenakan dari kontrak dengan konsumen teroptimasi rata-rata sebesar 19% dengan minggu pertama sebesar 6%, minggu kedua sebesar 41%, minggu ketiga sebesar 13%, minggu keempat sebesar 26%, dan minggu kelima sebesar 11%. Dan dalam uji ketahanan rute yang dihasilkan dilakukan analisis sensitivitas terhadap biaya variabel yang terdiri dari rasio biaya bahan bakar minyak dan cenderung fluktuatif dikarenakan biaya

tersebut ditentukan oleh pemerintah. Analisis sensitivitas dilakukan dengan melihat rata-rata persentase yang menyebabkan perubahan rute pada rentang 5% sampai 25%. Rata-rata sensitivitas selama bulan Juli 2021 untuk penurunan biaya yaitu sebesar 6.93% dengan minggu pertama sebesar 5.77%, minggu kedua sebesar 6.30%, minggu ketiga sebesar 7.67%, dan minggu keempat sebesar 7.98%. Sementara rata-rata sensitivitas selama bulan Juli 2021 untuk kenaikan biaya yaitu sebesar 6.36% dengan minggu pertama sebesar 4.87%, minggu kedua sebesar 5.41%, minggu ketiga sebesar 7.48%, dan minggu keempat sebesar 7.65%.

REFERENSI

- [1] S. Chopra and P. Meindl, *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation* 6th Edition, London: Pearson, 2016.
- [2] D. Simchi-Levi, P. Kaminsky and E. Smichi-Levi, *Managing The Supply Chain*, New York: McGraw-Hill, 2004.
- [3] M. Hugos, *Essentials of Supply Chain Management* 2nd Edition, New Jersey: John Wiley & Sons, 2006.
- [4] T. Caric and H. Gold, *Vehicle Routing Problem*, Vienna: In-Teh, 2008.
- [5] P. Toth and D. Vigo, *The Vehicle Routing Problem*, Philadelphia: SIAM, 2002.
- [6] R. Amalia, "METODE BRANCH AND CUT UNTUK MENYELESAIKAN MULTI-OBJECTIVE INTEGER PROGRAMMING," Universitas Sumatera Utara, Medan, 2014.
- [7] D. G. Luenberger and Y. Ye, *Linear and Nonlinear Programming* 4th Edition, London: Springer, 2016.
- [8] S. Basriati, "INTEGER LINEAR PROGRAMMING DENGAN PENDEKATAN METODE CUTTING PLANE DAN BRANCH AND BOUND UNTUK OPTIMASI PRODUKSI TAHU," *Jurnal Sains Matematika dna Statistika*, pp. 95-104, 2018.
- [9] M. Z. S. Hadi, A. Pratiarso and M. A. Zainuddin, "Pendimensionan Node Hardware Pada Jaringan SDH (Synchronous Digital Hierarchy) dengan metode MILP, Heuristic dan Variabel Fixation Test," *EEPIS*, pp. 63-72, 2010.
- [10] H. Y. Jeong and S. Lee, "Optimization of Vehicle-Carrier Routing: Mathematical Model and Comparison with Related Routing Models," *Procedia Manufacturing* 39, pp. 307-313, 2019.