

**PERANCANGAN RUTE PENGIRIMAN MENGGUNAKAN MODEL *INTEGER LINEAR PROGRAMMING* UNTUK MEMINIMASI TINGKAT KETERLAMBATAN PENGIRIMAN DAN BIAYA TRANSPORTASI
(STUDI KASUS: PT. POS LOGISTIK INDONESIA)**

***DESIGNING DELIVERY ROUTE USING INTEGER LINEAR PROGRAMMING MODEL TO MINIMIZE DELAY OF SHIPPING AND TRANSPORTATION COSTS
(CASE STUDY: PT. POS LOGISTICS INDONESIA)***

Ilham Akbar¹, Muhammad Nashir Ardiansyah², Putu Giri Artha Kusuma³

^{1,2,3} Universitas Telkom, Bandung

¹ilhamakbarkadjen@student.telkomuniversity.ac.id,

²nashirardiansyah@telkomuniversity.ac.id,

³putugiriak@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Distribusi adalah suatu kegiatan memindahkan produk dari pihak supplier ke konsumen dalam suatu *supply chain*. Distribusi secara langsung mempengaruhi biaya *supply chain* oleh karena itu distribusi bisa di bilang adalah kunci dari kesuksesan. Sedangkan, transportasi sendiri merupakan suatu representasi awal dari suatu rangkaian *supply chain* untuk sampai ke konsumen dengan bergeraknya suatu produk dari satu tempat menuju ke tempat lainnya. Dalam dunia industri, transportasi memiliki peranan yang sangat penting karena adanya biaya didalam pengantaran dari satu lokasi ke lokasi tersebut. Bahkan, transportasi juga dapat mempengaruhi harga suatu produk. Begitupun yang terjadi dalam lingkungan perusahaan PT. Pos Logistik Indonesia (PT. Poslog) yang mana merupakan perusahaan layanan logistik terbesar di Indonesia. Karena segmentasi pasar PT. Poslog yang begitu luas di Indonesia, maka perusahaan membagi trayek pengirimannya menjadi 2 tipe yaitu rute primer untuk trayek pengiriman seluruh Indonesia selain jabodetabek dan rute sekunder untuk trayek pengiriman khusus jabodetabek. Dalam tugas akhir ini bertujuan untuk menjadwalkan ulang trayek pengiriman primer pada PT. Poslog yang semula memiliki 5 tujuan tiap harinya. Adapun permasalahan yang dimiliki oleh PT. Poslog dalam kasus ini yaitu berupa permasalahan *Vehicle Routing Problem* dengan karakteristik jumlah armada yang heterogen (*heterogenous fleet vehicle*) dan batasan waktu di tiap tujuan pengiriman (*time windows*). Metode yang digunakan dalam tugas akhir ini yaitu dengan menggunakan model *Integer Linear Programming* (ILP) dimana model ini dapat meminimasi total biaya transportasi dan tingkat keterlambatan di titik tujuan. Hasil tugas akhir ini menunjukkan bahwa metode yang digunakan dapat meminimasi total biaya transportasi rata-rata perharinya sebesar 7,23% dan tingkat keterlambatan dapat direduksi rata-rata perharinya sebesar 13%.

Kata kunci : Distribusi, Transportasi, PT. Pos Logistik Indonesia, *Vehicle Routing Problem*, *Heterogeneous Fleet*, *Time Windows*, *Integer Linear Programming*.

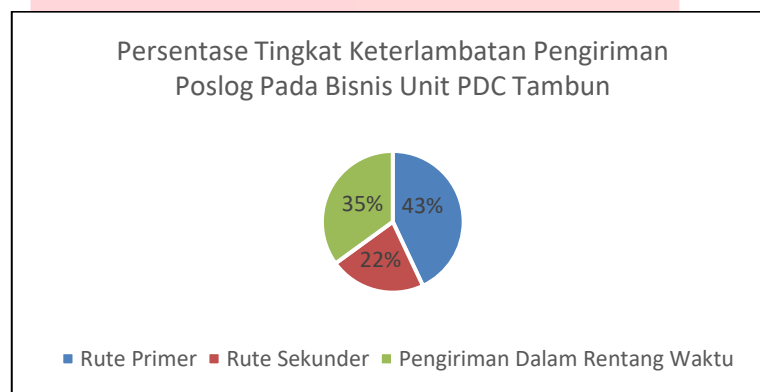
Abstract

Distribution is an activity to move products from suppliers to consumers in a supply chain. Distribution directly affects supply chain costs, therefore distribution can be said to be the key to success. While transportation itself is an initial presentation of a series of supply chains to consumers by moving a product from one place to another. In the world of transportation industry has a very important role because of the costs in delivery from one location to that location, even transportation can also affect the price of a product. Likewise what happened within the company PT. Pos Logistik Indonesia (PT. Poslog) which is the largest logistics service company in Indonesia. Due to the vast market segmentation of Poslog in Indonesia, the company divides its shipping routes into 2 types, namely primary routes for shipping routes throughout Indonesia other than Jabodetabek and secondary routes for special delivery routes for Jabodetabek. In this study aims to reschedule the primary shipping route at PT. Poslog originally had 5 goals each day. The problems that are owned by PT. Poslog in this case is in the form of the Vehicle Routing Problem with the characteristics of a heterogeneous fleet number (heterogenous fleet vehicle) and time constraints at each delivery destination (time windows). The method used in this research is to use the Integer Linear Programming (ILP) approach model where this method can minimize the total transportation costs and the level of delay at the destination point. The results of this study indicate that the method used can minimize the total transportation costs on average per day by 7.23% and the rate of delay can be reduced by an average of 13% per day.

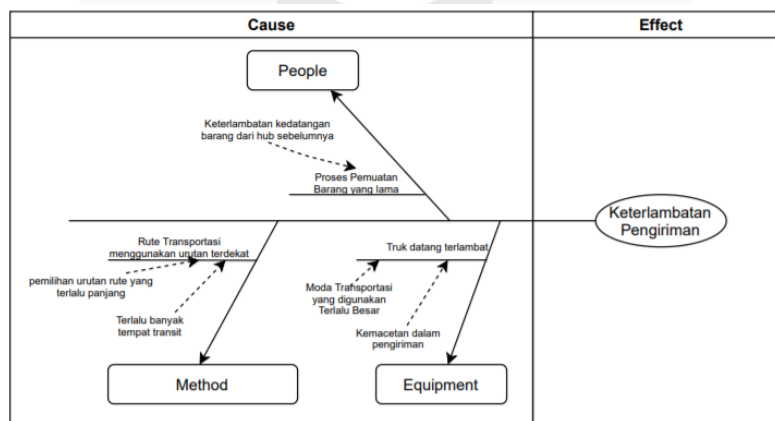
Keywords: Distribution, Transportation, PT. Pos Logistik Indonesia, *Vehicle Routing Problem*, *Heterogeneous Fleet*, *Time Windows*, *Integer Linear Programming*

I. Pendahuluan

Distribusi adalah suatu kegiatan memindahkan produk dari pihak supplier ke konsumen dalam suatu supply chain. Distribusi secara langsung mempengaruhi biaya supply chain oleh karena itu distribusi bisa di bilang adalah kunci dari kesuksesan. Sedangkan Transportasi sendiri merupakan suatu representasi awal dari suatu rangkaian supply chain untuk sampai ke konsumen dengan Bergeraknya suatu produk dari satu tempat menuju ke tempat lainya (Chopra & Peter Meindl, 2012). Transportasi memiliki peranan yang sangat penting dalam dunia industri karena berfungsi sebagai media pengantaran dari satu lokasi ke lokasi tersebut, yang didalamnya tentu melibatkan biaya atau bahkan transportasi juga dapat mempengaruhi harga suatu produk. Begitupun yang terjadi dalam lingkungan perusahaan PT. Pos Logistik Indonesia (PT. Poslog) yang mana merupakan perusahaan layanan logistik terbesar di Indonesia. Karena segmentasi pasar Poslog yang begitu luas di Indonesia, maka perusahaan membagi trayek pengirimannya menjadi 2 tipe yaitu rute primer untuk trayek pengiriman seluruh Indonesia selain jabodetabek dan rute sekunder untuk trayek pengiriman khusus jabodetabek. Adapun dalam praktiknya PT. Pos Logistik (Poslog) memiliki beberapa permasalahan terkait proses transportasi dan bongkar muat yang dilakukan baik di PDC maupun di masing-masing titik tujuan (*transit point*). Menurut Jajang (Supervisor PDC Tambun) terdapat kendala atau masalah yang paling sering terjadi dalam konteks penyaluran barang dari PDC sampai ke *transit point* yaitu keterlambatan pengiriman (*to transit point*). Namun dalam keterlambatan pengiriman tersebut lebih dominan terjadi pada rute primer yang bisa dilihat pada Gambar I.1 berikut.



Berangkat dari permasalahan yang ada, secara garis besar permasalahan yang terjadi di rute primer berdasarkan data primer dari Poslog, permasalahan keterlambatan pengiriman rute primer menjadi penyebab paling dominan yaitu sebanyak 43% dibandingkan rute sekunder yang memiliki persentase keterlambatan pengiriman 22%. Adapun berikut merupakan uraian permasalahan yang terjadi pada rute primer yang dapat dilihat dalam Gambar I. 2 berikut.



Berdasarkan Gambar I. 2 diatas dapat diketahui pengiriman pada rute primer memiliki banyak kendala yang belum dapat terselesaikan. Sedangkan pencapaian kinerja yang disepakati oleh Poslog adalah ketepatan waktu pengiriman dari PDC Tambun ke masing-masing *Transit Point* yang harus sesuai dengan *time window* yang telah dikeluarkan oleh Poslog atau dikenal dengan sebutan N22. Permasalahan keterlambatan pengiriman yang terjadi di PDC Tambun jika dilihat dari akar penyebabnya (*root cause*) pada Gambar I. 2 diakibatkan oleh pemilihan rute transportasi masih menggunakan urutan kunjungan terdekat yang belum di optimalisasi, proses pemuatan barang yang lama akibat keterlambatan kedatangan barang dari hub atau transit point sebelumnya, dan

manajemen moda transportasi yang digunakan terlalu besar sehingga memakan waktu pengantaran yang lama dan biaya transportasi yang besar. Maka dari itu, berdasarkan analisis akar penyebab yang ada, permasalahan yang dialami oleh PDC Tambun bisa dikategorikan permasalahan perutean kendaraan atau yang sering dikenal dengan *Vehicle Routing Problem* (VRP) yang memiliki karakteristik jumlah dan jenis kendaraan dengan kapasitas yang berbeda-beda atau sering dikenal sebagai *heterogenous fleet vehicle* (HFV) dan batasan waktu pengiriman atau *time window* (TW). Untuk itu pada penelitian ini akan dilakukan analisis optimalisasi rute terhadap Masalah Rute Kendaraan (MRK) menggunakan *time window* yang tentunya dengan mempertimbangkan jumlah moda transportasi, waktu, dan biaya pengiriman pada layanan rute primer, sehingga dapat diketahui optimalisasi yang lebih efisien untuk meminimasi keterlambatan pengiriman barang PT. Pos Logistik Indonesia. Maka berdasarkan latar belakang diatas, peneliti tertarik untuk mengangkat topik penelitian optimalisasi rute pengiriman armada Poslog pada masalah *vehicle routing problem with heterogeneous fleet vehicle and time windows* (VRP-HFV-TW) dengan tujuan meminimasi keterlambatan pengiriman dan biaya transportasi.

II. Landasan Teori dan Metodologi Penelitian

II.1 Vehicle Routing Problem

Vehicle Routing Problem (VRP) adalah salah satu permasalahan kombinatorial yang paling banyak dipelajari optimasinya dan berkaitan dengan perencanaan rute yang optimal untuk digunakan oleh armada kendaraan untuk melayani sejumlah pelanggan (Gendreau et al., 2008). Adapun menurut Toth dan Vigo, *Vehicle routing problem* berperan dalam merancang rute yang optimal yang digunakan oleh sejumlah kendaraan yang ditempatkan pada depot untuk melayani sejumlah pelanggan dengan permintaan yang diketahui (Toth & Vigo, 2002). *Vehicle Routing Problem* (VRP) diperkenalkan pertama kali oleh Dantzig dan Ramser pada tahun 1959 dan semenjak itu telah dipelajari secara luas. Oleh Fisher, VRP didefinisikan sebagai sebuah pencarian atas cara penggunaan yang efisien dari sejumlah kendaraan yang harus melakukan perjalanan untuk mengunjungi sejumlah tempat untuk mengantar dan/atau menjemput orang/barang (Toth & Vigo, 2002).

II.2 Heterogenous Fleet VRP (HFVRP)

Heterogeneous Fleet VRP (HFVRP) dapat juga disebut *Mixed Fleet VRP* adalah jenis atau klasifikasi dari VRP yang mempunyai permasalahan kendaraan pengiriman yang digunakan lebih dari satu dan mempunyai karakteristik yang berbeda-beda untuk setiap jenis armada yang digunakan. Karakteristik kendaraan berupa kapasitas, variabel dan fixed cost, kecepatan, dan akses kepada pelanggan yang berbeda untuk setiap armada yang dimiliki perusahaan.

II.3 VRP Time Windows (VRPTW)

VRP Time Windows (VRPTW) merupakan jenis atau klasifikasi VRP dengan permasalahan pengiriman yang dilakukan oleh armada harus sesuai dengan *time window* yang telah ditentukan oleh masing-masing pelanggan. *Time window* dapat juga disebut waktu jendela yaitu rentang atau selang waktu penerimaan barang oleh pelanggan dari perusahaan. Pengiriman barang diluar *time window* pelanggan akan dikenakan penalti tergantung dari masing-masing pelanggan. VRPTW membutuhkan pertimbangan berupa service time, travel time, and waiting time untuk setiap armada yang mengunjungi lokasi pelanggan.

II.4 Integer Linear Programming (ILP)

Integer Linear Programming (ILP) merupakan sebuah metode matematis untuk memaksimalkan profit dan meminimalisasi cost berdasarkan sebuah model matematika yang melibatkan variabel-variabel yang bertipe integer yang direpresentasikan dalam suatu bentuk hubungan yang bersifat linier. Penyelesaian persamaan matematis biasanya menghasilkan keluaran berupa bilangan pecahan, jika sistem mengharapkan keluaran bilangan integer, maka ILP merupakan algoritma paling tepat karena jika menggunakan pembulatan seringkali hasil yang diperoleh bukan solusi optimal. (Borčinová, 2017).

Perumusan matematika yang digunakan dengan pendekatan ILP ini berasal dari model matematika yang dirumuskan oleh (Borčinová, 2017) pada 2017 yang diimplementasikan pada kasus CVRP yang kemudian lebih rinci diterapkan juga pada kasus MIRP oleh (Yusuf et al., 2020).

III. Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian dalam penelitian ini menggunakan pemecahan masalah sistematis, sehingga masalah yang terjadi dapat diselesaikan dengan tepat. Tahap pertama adalah tahap identifikasi awal. Pada tahap ini, studi lapangan dilakukan, yaitu untuk melihat langsung pada kondisi yang ada pada objek penelitian di lapangan. Berdasarkan kondisi lapangan tersebut dan terkait dengan studi literatur dan berbagai sumber lain seperti buku, jurnal, dan studi sebelumnya serta mengetahui rumusan masalah yang terjadi sehingga tujuan dan manfaat dari penelitian dilakukan dapat diketahui.

Tahap kedua adalah tahap pengumpulan dan pengolahan data. Pada tahap ini, Mengumpulkan semua data yang dibutuhkan dan menggunakan formulasi matematika yang telah dijelaskan sebelumnya. Setelah itu, verifikasi model matematika menggunakan perbandingan sisi kiri dan kanan untuk menyamakan unit kedua sisi kiri dan kanan dan juga memverifikasi model matematika yang dibangun di *Python Programming Language* versi 2.7 dan akan dipecahkan menggunakan *solver* Gurobi 9.1.0 dengan lisensi akademik yang akan

menghasilkan total biaya transportasi dan penjadwalan yang optimal.

Tahap ketiga adalah tahap analisis, dalam tahap ini analisisnya dibagi menjadi 4 bagian, yaitu melakukan analisis tingkat keterlambatan kondisi usulan dibandingkan dengan eksisting, analisis penghematan biaya kondisi usulan dibandingkan dengan eksisting, dan analisis penurunan kecepatan kendaraan kondisi usulan dibandingkan dengan eksisting. Tahap terakhir adalah tahap kesimpulan. Pada tahap akhir ini dilakukan penarikan suatu kesimpulan dari hasil analisis yang telah dilakukan dan memberikan saran untuk penelitian selanjutnya.

III.1.1 Pengumpulan Data

1. Pola Sistem Pengiriman

Proses pengiriman yang dilakukan oleh Poslog dilakukan setiap hari, pada kondisi eksisting, semua berangkat dari PDC Tambun untuk setiap harinya dengan jadwal keberangkatan dan kedatangan (time window) yang sudah ditetapkan. Setelah melakukan pemuatan barang, berangkat dari PDC Tambun menuju tiap *Transit Point* dan kemudian dari Transit Point pertama ke Transit Point yang berikutnya sesuai rute yang telah dijelaskan sebelumnya. Salah satu faktor transportasi dalam pengiriman yang dilakukan, berdasarkan kebijakan yang diambil Poslog adalah setiap kendaraan dapat melakukan perjalanan menuju Transit Point Tujuan Akhir tanpa balik lagi ke PDC Tambun sebanyak 1 kali. Hal ini sesuai untuk menyesuaikan dengan jumlah kendaraan yang dimiliki dan jumlah permintaan tiap pelanggan. Sesuai dengan fakta, pola pengiriman dapat dikategorikan sebagai *vehicle routing problem with time windows and heterogenous fleet vehicles*.

2. Pusat Pemberangkatan

PDC Tambun merupakan titik awal pendistribusian dimana semua barang tersimpan dan menjalankan kegiatan pemuatan barang yang nantinya akan disalurkan ke masing-masing Transit Point. PDC Tambun yang dimiliki oleh Poslog terdapat di daerah Tambun Bekasi Selatan.

3. Data Karakteristik Kendaraan

Dalam melakukan pengiriman Poslog menggunakan 3 jenis kendaraan yang berbeda (heterogen) yaitu Truk CDD sebanyak 2 unit, Fuso sebanyak 5 unit, dan Wing Box sebanyak 6 unit. Adapun kapasitas masing-masing kendaraan adalah sebagai berikut.

Tabel III. 1. 1. 1 Biaya Tetap

Kubikasi karoseri			
No	Jenis Kendaraan	Ukuran	Jumlah
1	CDD LONG Long	5000 Kg	2
2	FUSO	10000 Kg	5
3	WING BOX	20000 Kg	6

4. Data Biaya Pengiriman

Biaya pengiriman menjadi salah satu pertimbangan dalam melakukan penghantaran barang/produk, hal tersebut dikarenakan biaya transportasi menyerap rata-rata biaya logistik dibandingkan aktivitas lainnya. Biaya transportasi merupakan biaya yang dikeluarkan dalam melakukan proses transportasi, yang terdiri dari biaya tetap dan biaya variable.

1. Biaya Tetap

Biaya tetap merupakan salah satu komponen pada biaya transportasi. Biaya tersebut dapat dikategorikan sebagai biaya tetap dikarenakan biaya yang dikeluarkan tidak berubah dan tidak dipengaruhi oleh variabel lain. Berikut merupakan biaya tetap transportasi.

Tabel III. 1. 1. 2 Biaya Tetap

Jenis Biaya	Biaya (dalam Rp)	
	Wingbox	Fuso
Biaya Penyusutan Kendaraan / Tahun	112.320.000	85.920.000
Bunga Modal /Tahun	56.160.000	42.960.000

Asuransi Kendaraaan	8.259.300	8.259.300
Gaji Awak Kendaraan (2 Orang) /Tahun	108.000.000	108.000.000
Asuransi Kecelakaan Kerja	1.371.600	1.371.600
Biaya Uji Pemeriksaan /Tahun	900.000	900.000
Biaya Pajak Kendaraan (STNK) /Tahun	3.307.400	1.857.400
Jumlah Biaya Tetap /Tahun	290.318.300	249.268.300
Jumlah Biaya Tetap /Bulan	24.193.192	20.772.358
Jumlah Biaya Tetap / Minggu	5.645.078	4.846.884
Jumlah Biaya Tetap /Hari	806.440	692.412

Tabel III. 1. 1. 3 Biaya Tetap CDD

Jenis Biaya	Biaya (dalam Rp)
Biaya Sewa CDD Long / Hari	400.000
Jumlah Biaya Tetap /Hari	400.000

2. Biaya Variabel

Biaya tetap merupakan salah satu komponen pada biaya transportasi. Biaya tersebut dapat dikategorikan sebagai biaya tetap dikarenakan biaya yang dikeluarkan tidak berubah dan tidak dipengaruhi oleh variabel lain. Berikut merupakan biaya tetap transportasi.

Tabel III. 1. 1. 4 Biaya Variabel

Biaya Kendaraan		
Jenis kendaraan	Biaya tidak tetap/hari (dari BBM) (Rp/Km)	L/km
Fuso	1.307	0,139
Wingbox	1.626	0,173
CDD Long	900	0,0957

5. Data Tujuan Pengiriman

Jumlah Transit Poin yang ada pada Jalur Primer ini berjumlah total 9 titik tujuan. Setiap Transit Poin tujuan ini memiliki nama kode tersendiri untuk memudahkan dalam pengolahan data. Berikut nama Transit poin beserta alamatnya.

Tabel III. 1. 1. 5 Alamat Pengiriman/Transit Poin

No	Nama	Kode	Alamat
1	PDC Tambun (DEPOT)	PDC	Komp. Gudang Citra Galvanizing Jl. Diponegoro No. 108, Tambun Bekasi 17510
2	Palembang	PG	Jl. Mayjen Yusup Singadekane No. 7 Kertapati Palembang 30259
3	Bandar Lampung	BDL	Jalan Ratu Dibalau No. 04, Tj. Senang, Kec. Tj. Senang, Kota Bandar Lampung, Lampung 35143
4	Bandung	BD	Jl. Sukabumi No. 38 Kacapiring, Batununggal Bandung 40253
5	Purwokerto	PWT	Jl. Perintis Kemerdekaan No.4, Karangbawang, Purwokerto Kulon, Kec.

			Purwokerto Sel., Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah 53141
6	Cirebon	CN	Jl. Letjend S. Parman No.1, Ciledug, Kec. Ciledug, Cirebon, Jawa Barat 45188
7	Tegal	TGL	Jl. Kemiri No.19, Mingkrik, Pakembaran, Kec. Slawi, Tegal, Jawa Tengah 52415
8	Semarang	SM	Kantor Pos Ungaran (Loket Ekstensi) Jl. Diponegoro No. 165, Ungaran Semarang 50511
9	Yogyakarta	YK	Kantor Pos Cabang Gondomanan, Lantai 2 Jl. Mayor Suryotomo No. 8 Yogyakarta 55122
10	Surabaya	SB	Kantor Pos Surabaya Jl. Kebonrojo No. 10, Krembangan Surabaya 60175

6. Data Time Windows

Data waktu yang perlu diketahui adalah time windows dan service time. Time windows merupakan rentang waktu dimana transit poin tujuan dapat dilayani atau masih dapat menerima kiriman produk. Adapun berdasarkan data primer N22 Poslog berikut merupakan jadwal time windows untuk masing-masing transit poin.

Tabel III. 1. 1. 6 Time Windows

ID Lokasi	Nama	Jendela waktu mulai	Jendela waktu berakhir
0	PDC	0:00	23:59
1	PG	1:00	22:00
2	BDL	1:00	10:00
3	BD	3:00	6:00
4	PWT	4:00	15:00
5	CN	4:00	8:30
6	TGL	4:00	11:00
7	SM	4:00	14:30
8	YK	4:00	18:30
9	SB	4:00	21:30

Sedangkan data selanjutnya adalah data service time atau waktu pelayanan di setiap lokasi konsumen. Service time ini dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu waktu penurunan barang (unloading) dan waktu untuk pengurusan administrasi. Data ini juga diperoleh dari hasil wawancara dengan supervisor pengiriman yang mengatakan bahwa waktu rata-rata untuk melakukan penurunan barang pesanan adalah sekitar 10 menit, waktu untuk mengurus masalah administrasi sekitar 10 menit, dan waktu istirahat 10 menit sehingga total service time di setiap lokasi transit poin tujuan adalah 30 menit.

7. Data Demand

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, jumlah permintaan atau demand setiap transit poin tujuan bermacam-macam setiap harinya. Berdasarkan data primer Poslog tahun 2019 Permintaan dituliskan dalam satuan massa (kg). Adapun berikut merupakan demand dalam satuan massa (kg) dan per-harinya.

Tabel III. 1. 1. 7 Data Demand

Node	PDC	PG	BDL	BDG	PWT	CN	TGL	SMG	YYK	SBY
Demand 1	0	14564	2190	3125	1748	2999	1345	4078	2778	9473
Demand 2	0	11324	5734	1072	5120	1097	1162	2210	2919	6963
Demand 3	0	11198	4193	1024	3626	2016	2246	3489	3095	8413
Demand 4	0	11513	6209	3296	5841	1965	1958	1690	2761	6395
Demand 5	0	12533	977	2053	4193	2306	1920	3700	2832	8933

Demand 6	0	11399	1571	3251	6816	2484	1682	3325	1808	5065
Demand 7	0	11136	5764	1556	6853	1897	1882	3238	2455	8902

8. Data Matriks Jarak

Data jarak yang dikumpulkan adalah jarak antara depot dengan titik kirim dan jarak antar titik kirim. Untuk data jarak penulis mendapatkannya dari data primer Poslog, sedangkan untuk pengukuran secara real data jarak ini dilakukan dengan menggunakan bantuan peta digital. Peta digital yang digunakan merupakan aplikasi yang dikeluarkan oleh Google, yaitu Google Maps (www.maps.google.com). Aplikasi peta digital tersebut memiliki tool atau alat bantu yang bernama distance measurement tool. Tool ini dapat digunakan untuk mengukur jarak antara dua titik yang berada di peta.

Pengukuran jarak antara dua titik dilakukan dengan mengikuti alur jalan yang ada di peta sehingga data jarak yang diperoleh dapat mendekati jarak aktual yang ditempuh oleh kendaraan. Pemilihan jalan yang menghubungkan dua titik tertentu dilakukan dengan pertimbangan jarak terdekat dan juga kondisi atau karakteristik jalan (tingkat kemacetan). Kemudian, diasumsikan jarak tempuh dari titik A ke titik B sama dengan jarak tempuh dari titik B ke titik A, sehingga matriks jarak yang dihasilkan akan simetris. Data jarak dari depot menuju titik kirim dan jarak antara titik kirim dituangkan dalam bentuk matriks jarak. Matriks jarak ini dapat dilihat dibawah berikut.

Tabel III. 1. 1. 8
Matriks Jarak

	PDC	PG	BDL	BD	PWT	CN	TGL	SM	YK	SB
PDC		545	256	124	331	219	271	396	535	760
PG	545		302	665	870	760	811	937	1076	1300
BDL	256	302		378	580	472	522	649	787	1013
BD	124	665	378		354	244	295	421	561	785
PWT	331	870	580	354		117	890	590	166	556
CN	219	760	472	244	117		58	184	276	491
TGL	271	811	522	295	890	58		110	282	506
SM	396	937	649	421	590	184	110		117	432
YK	535	1076	787	561	166	276	282	117		332
SB	760	1300	1013	785	556	491	506	432	332	

III.1.2 Model Matematis

Permasalahan transportasi yang dialami oleh PDC Tambun dapat dirumuskan kedalam sebuah model matematika dengan beberapa tujuan yang berhubungan secara tidak langsung yaitu pertama untuk meminimasi biaya transportasi, kedua adalah meminimasi tingkat keterlambatan. Berdasarkan referensi (Borčinová, 2017) model matematika dirumuskan agar sesuai dengan kondisi eksisting tugas akhir sebagai berikut:

Indeks dan set

i	Node (posisi) awal
j	Node (posisi) tujuan
v	Armada
0	Depot
k	Variabel pengganti untuk Node
x_{ijv}	{0,1} variabel menunjukkan apakah nodes (i, j) dilintasi (1) atau tidak (0) oleh armada v
D_{ij}	Jarak dari node i ke node j
CV_v	Biaya variabel
CF_v	Biaya tetap
x_{0jv}	{0,1} variabel menunjukkan apakah nodes (0, j) dilintasi (1) atau tidak (0) oleh

	armada v
X_{ikv}	$\{0,1\}$ variabel menunjukkan apakah nodes (i, k) dilintasi (1) atau tidak (0) oleh armada v
X_{kjh}	$\{0,1\}$ variabel menunjukkan apakah nodes (k, j) dilintasi (1) atau tidak (0) oleh armada v
X_{0iv}	$\{0,1\}$ variabel menunjukkan apakah nodes $(0, i)$ dilintasi (1) atau tidak (0) oleh armada v
g_{jv}	Jumlah permintaan di node j pada armada v
g_{iv}	Jumlah permintaan di node i pada armada v
G	Jumlah permintaan masing-masing pelanggan
Z	Big Number
Q_v	Kapasitas kendaraan pada armada v
a_{jv}	Jumlah waktu tempuh di node j pada armada v
a_{iv}	Jumlah waktu tempuh di node i pada armada v
T_{ij}	Waktu tempuh dari Gudang ke konsumen awal
St	Waktu pelayanan pada pelanggan
T_{i0}	Waktu tempuh dari konsumen akhir ke gudang
L	Jam tutup perusahaan
Et_i	Jam buka pelanggan di node i
Lt_i	Jam tutup pelanggan di node i
d_{jv}	Jumlah jarak tempuh di node j pada armada v
d_{iv}	Jumlah jarak tempuh di node i pada armada v
AC_v	Kecepatan kendaraan pada armada v

$$\text{Minimize } \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{v=1}^m x_{ijv} D_{ij} CV_v + \sum_{j=0}^n \sum_{v=1}^m x_{0jv} CF_v \quad (1)$$

$$\sum_{j=0}^n \sum_{v=1}^m X_{ijv} = 1, \quad \forall i \in N, v \in V \quad (2)$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{v=1}^m X_{ijv} = 1, \quad \forall j \in N, v \in V \quad (3)$$

$$\sum_{i=0}^n X_{ikv} - \sum_{j=0}^n X_{kjh} = 0, \quad \forall k \in N, v \in V \quad (4)$$

$$\sum_{i=0}^n X_{0iv} \leq 1, \quad \forall v \in V \quad (5)$$

$$\sum_{j=0}^n g_{jv} \geq \sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^n \left(g_{iv} + G_j + ((X_{ijv} - 1)Z) \right), \forall v \in V \quad (6)$$

$$g_{iv} \leq Q_v, \quad \forall i \in Nd, v \in V \quad (7)$$

$$\sum_{j=0}^n a_{jv} \geq \sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^n \left(a_{iv} + \left(\frac{D_{ij}}{AC_v} \right) + St_{ij} + ((X_{ijv} - 1)Z) \right), \forall v \in V \quad (8)$$

$$a_{iv} + \left(\frac{D_{i0}}{AC_v} \right) \leq L, \quad \forall i \in N, v \in V \quad (9)$$

$$L = 2880$$

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

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

$$\sum_{j=0}^n d_{jv} \geq \sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^n \left(d_{iv} + D_{ij} + ((X_{ijv} - 1)Z) \right), \forall v \in V \quad (12)$$

Fungsi tujuan (1) dalam tugas akhir ini adalah meminimalkan total biaya transportasi dari seluruh armada yang digunakan. Batasan (2) memastikan bahwa armada yang digunakan setelah meninggalkan depot untuk melayani masing-masing pelanggan adalah satu. Batasan (3) memastikan bahwa armada yang

digunakan setelah meninggalkan pelanggan sebelumnya untuk melayani masing-masing pelanggan adalah satu. Batasan (4) memastikan bahwa jumlah armada yang berangkat sama dengan jumlah armada datang. Batasan (5) memastikan bahwa jumlah armada yang digunakan untuk mengunjungi pelanggan adalah satu. Batasan (6) memastikan bahwa jumlah permintaan di titik j merupakan penjumlahan antara jumlah permintaan di titik i dengan permintaan masing-masing pelanggan yang akan dikunjungi selanjutnya. Batasan (7) memastikan bahwa jumlah permintaan yang diangkut tidak melebihi kapasitas armada. Batasan (8) memastikan bahwa jumlah waktu kedatangan di titik j adalah penjumlahan antara jumlah waktu kedatangan di titik i dengan matriks waktu masing-masing pelanggan yang akan dikunjungi selanjutnya. Batasan (9) memastikan bahwa jumlah waktu kedatangan kembali ke depot tidak melebihi waktu tutup depot. Batasan (10) memastikan bahwa waktu kedatangan melebihi waktu buka dititik tujuan. Batasan (11) memastikan bahwa waktu kedatangan tidak melebihi waktu tutup dititik tujuan. Batasan (12) memastikan bahwa jarak di titik akhir j oleh kendaraan v tidak kurang dari jarak dari titik awal i ditambah dengan jarak pada tujuan berikutnya.

III.1.3 Asumsi

Adapun agar mendapatkan hasil yang dapat dioptimalkan terdapat asumsi-asumsi yang digunakan sebagai berikut.

1. Cuaca di sepanjang horizon waktu selalu baik atau tidak terjadi cuaca buruk. Serta rute pengiriman yang dilalui tidak mengalami kemacetan maupun kecelakaan.
2. Kecepatan setiap armada selama perjalanan dianggap selalu konstan.
3. Armada investasi maupun sewa dianggap tidak mengalami kerusakan atau selalu dalam keadaan baik.
4. Keberangkatan setiap armada setiap harinya diasumsikan selalu sama pada pukul 00:00 WIB.
5. Kecepatan rata-rata tipe kendaraan CDD Long adalah 45 km/jam, sedangkan kecepatan rata-rata tipe kendaraan Fuso adalah 40 km/jam, dan kecepatan rata-rata tipe kendaraan Wingbox adalah 35 km/jam.
6. Waktu istirahat sopir dan kernet sebanyak 12 jam perhari yang dilakukan secara bergantian pada waktu pengiriman dalam moda kendaraan. Dalam sekali pemberangkatan satu truk diisi oleh 2 sopir dan 1 kernet.

IV. Pembahasan

IV.1 Perancangan Rute Pengiriman

Adapun setelah data-data telah lengkap, selanjutnya data diproses dengan menggunakan bahasa pemrograman Python dan bantuan Solver Gurobi versi 10.1 dengan lisensi *academic version*. Hasil yang diberikan dari *code* yang dibangun berupa penentuan rute selama kurun waktu 1 bulan percobaan yaitu dari tanggal 1 Januari sampai 31 Januari 2019. Adapun hasil penentuan rutenya bisa dilihat sebagai berikut.

Tabel 4. 1. 1 Hasil Perancangan Rute Pengiriman Selama 7 Hari

Hari	Usulan	Moda Transportasi	Rute Ke-	Total Waktu Tempuh (Menit)	Total Biaya Transportasi
1	PDC-CN-TGL-SMG-YYK-PDC	Wingbox	rute 1	1931	Rp 8.883.915
	PDC-BDG-PWT-PDC	CDD LONG Long	rute 2	1169	
	PDC-BDL-PG-PDC	Wingbox	rute 3	1959	
	PDC-SBY-PDC	Fuso	rute 4	2340	
2	PDC-BDL-PG-PDC	Wingbox	rute 1	1959	Rp 8.467.308
	PDC-BDG-TGL-SMG-PDC	CDD LONG Long	rute 2	1353	
	PDC-PWT-YYK-PDC	Fuso	rute 3	1638	
	PDC-CN-SBY-PDC	Fuso	rute 4	2295	
3	PDC-CN-TGL-SMG-YYK-PDC	Wingbox	rute 1	1931	Rp 8.883.915
	PDC-BDG-PWT-PDC	CDD LONG Long	rute 2	1169	
	PDC-BDL-PG-PDC	Wingbox	rute 3	1959	
	PDC-SBY-PDC	Fuso	rute 4	2340	
4	PDC-BDL-PG-PDC	Wingbox	rute 1	1959	Rp 8.755.521
	PDC-SMG-YYK-PDC	CDD LONG Long	rute 2	1487	

Hari	Usulan	Moda Transportasi	Rute Ke-	Total Waktu Tempuh (Menit)	Total Biaya Transportasi
	PDC-BDG-PDC	CDD LONG Long	rute 3	391	
	PDC-TGL-PWT-PDC	Fuso	rute 4	1127	
	PDC-CN-SBY-PDC	Fuso	rute 5	2295	
5	PDC-BDG-PWT-YYK-PDC	Fuso	rute 1	1889	Rp 9.208.080
	PDC-CN-TGL-SMG-PDC	Fuso	rute 2	1295	
	PDC-BDL-PG-PDC	Wingbox	rute 3	1959	
	PDC-SBY-PDC	Fuso	rute 4	2340	
6	PDC-BDL-PG-PDC	Wingbox	rute 1	1959	Rp 9.066.219
	PDC-SMG-PDC	CDD LONG Long	rute 2	1116	
	PDC-BDG-PDC	CDD LONG Long	rute 3	391	
	PDC-CN-TGL-SBY-PDC	Fuso	rute 4	2435	
	PDC-PWT-YYK-PDC	Fuso	rute 5	1638	
7	PDC-CN-TGL-PWT-YYK-PDC	Wingbox	rute 1	1979	Rp 9.048.271
	PDC-BDG-SMG-PDC	CDD LONG Long	rute 2	1345	
	PDC-BDL-PG-PDC	Wingbox	rute 3	1959	
	PDC-SBY-PDC	Fuso	rute 4	2340	

IV.2 Analisa Waktu Pengiriman

Waktu pengiriman yang dimaksud adalah waktu yang digunakan oleh sebuah kendaraan untuk mengirimkan barangnya mulai dari berangkat dari meninggalkan depot hingga kembali lagi ke depot. Waktu tur ini dipengaruhi oleh besarnya jarak, kecepatan kendaraan yang dipakai, dan lamanya *service time*. Tabel 4.2 adalah perbandingan waktu distribusi antara kondisi eksisting dengan kondisi usulan menggunakan model *Integer Linear Programming* (ILP).

Tabel 4. 2. 1 Perbandingan Waktu Pengiriman

Perbandingan Waktu Pengiriman					Penurunan Waktu Kirim (menit)	Penurunan Waktu Kirim (menit)
Hari Ke-	Eksisting (menit)	Keterlambatan	Usulan (menit)	Keterlambatan		
1	7923	1	7398	0	525	6,62%
2	7923	1	7245	0	678	8,56%
3	7923	1	7398	0	525	6,62%
4	7923	1	7258	0	665	8,39%
5	7923	1	7482	0	441	5,57%
6	7923	1	7538	0	385	4,86%
7	7923	1	7622	0	301	3,79%
...
...
...
Total	245614	31	227850	0	17764	224,21%
Rata-Rata	7923	1	7350	0	573	7,23%

Berdasarkan Tabel 4.2 diatas menunjukan bahwa terjadi pengurangan waktu Pengiriman yang dilakukan oleh PT. Pos Logistik antara kondisi eksisting dengan usulan menggunakan model *Integer Linear Programming* (ILP). Pada kondisi eksisting waktu pengiriman dalam 31 hari dihasilkan rata-rata

waktu pengiriman perharinya sebesar 7923 menit dengan menggunakan total 152 kendaraan perbulannya atau menggunakan sekitar 5 kendaraan perharinya. Sedangkan pada kondisi usulan, waktu pengiriman dihasilkan perharinya sebesar 7350 menit dengan menggunakan total 134 kendaraan perbulannya atau menggunakan sekitar 4 sampai 5 kendaraan perharinya. Berdasarkan hasil tersebut, maka terjadi penurunan rata-rata waktu pengiriman sebesar 7,23%. Pengurangan waktu pengiriman tersebut dikarenakan berkurangnya jarak tempuh yang dilakukan oleh kendaraan karena perencanaan rute usulan yang lebih baik daripada perencanaan rute eksisting.

IV.3 Analisa Biaya Transportasi

Biaya transportasi dalam penelitian ini berposisi sebagai fungsi objektif yang harus diminimasi. Rute usulan yang dihasilkan oleh model *Integer Linear Programming* (ILP) menghasilkan biaya transportasi yang lebih kecil dibanding dengan biaya transportasi eksisting. Tabel 4.3 merupakan perbandingan biaya yang dihasilkan dari rute usulan dengan kondisi eksisting yang bisa dilihat sebagai berikut.

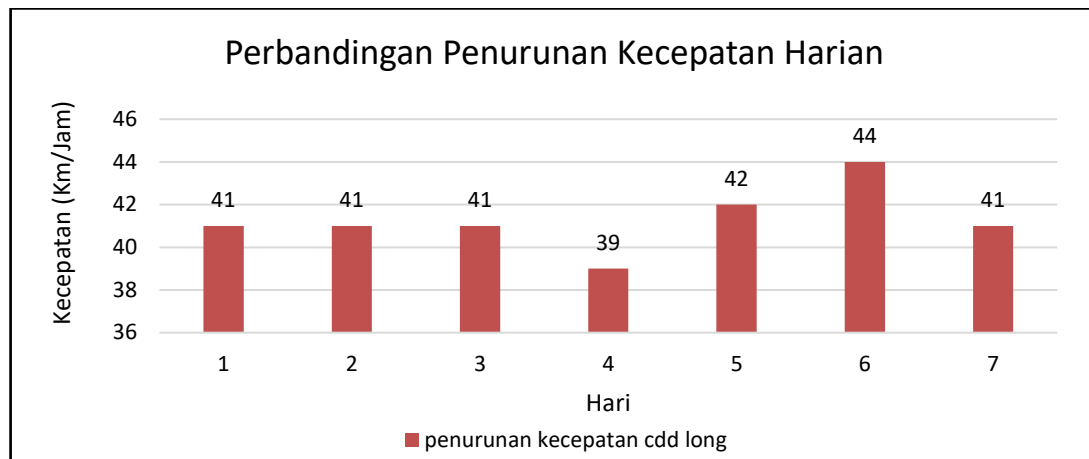
Tabel 4. 3. 1 Perbandingan Biaya Transportasi

Perbandingan Biaya Transportasi			Penghematan Biaya
Hari Ke-	Eksisting	Usulan	
1	Rp10.227.357	Rp8.883.915	13%
2	Rp10.227.357	Rp8.467.308	17%
3	Rp10.227.357	Rp8.883.915	13%
4	Rp10.227.357	Rp8.755.521	14%
5	Rp10.227.357	Rp9.208.080	10%
6	Rp10.227.357	Rp9.066.219	11%
7	Rp10.227.357	Rp9.048.271	12%
...
...
...
Total	Rp317.048.067	Rp274.707.609	
Rata-Rata	Rp10.227.357	Rp8.861.536	13%

Pada Tabel 4.3 tersebut, terlihat penghematan total biaya transportasi yang dikeluarkan oleh PT. Pos Logistik dari kondisi eksisting dengan kondisi usulan menggunakan model *Integer Linear Programming* (ILP). Penghematan total biaya transportasi selama perhitungan sampel 31 hari memiliki rata-rata yang cukup signifikan yaitu terjadi penghematan sebesar 13% perharinya dari rata-rata total biaya transportasi perharinya yaitu sebesar Rp 10.227.357 menjadi Rp 8.861.536.

IV.4 Analisa Penurunan Kecepatan

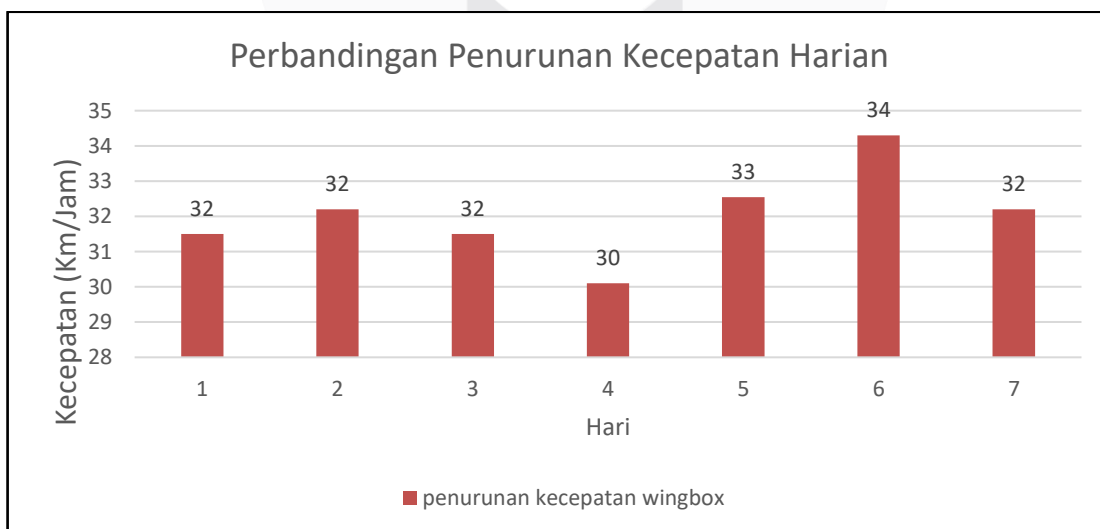
Analisis Penurunan Kecepatan digunakan untuk memvalidasi perubahan rute terhadap kemungkinan terjadinya penurunan kecepatan akibat faktor eksternal yang mungkin akan terjadi seperti kemacetan, kebocoran ban, kecelakaan, dan lain sebagainya. Analisis ini juga membantu dalam mengetahui batas kelayakan output biaya transportasi jika input kecepatan kendaraan secara real mengalami penurunan akibat faktor eksternal tertentu. Berikut gambar grafik Analisis Penurunan Kecepatan Terhadap Biaya Transportasi dan Keterlambatan Pengiriman yang bisa dilihat dibawah ini.



Gambar IV. 4. 1 Penurunan Kecepatan CDD Long



Gambar IV. 4. 2 Penurunan Kecepatan Fuso



Gambar IV. 4. 3 Penurunan Kecepatan Wingbox

Berdasarkan Tabel IV. 4. 1 sampai Tabel IV. 4. 3, terdapat penurunan kecepatan dari kondisi eksisting berturut-turut sesuai kendaraan [CDD LONG Long, Fuso, Wingbox] yaitu [45, 40, 35] km/jam menjadi kecepatan yang diturunkan sebesar 10% pada hari pertama berturut-turut sesuai kendaraan [CDD LONG Long, Fuso, Wingbox] menjadi [41, 36, 32], data usulan dengan kecepatan yang diturunkan sebesar 8% pada hari kedua berturut-turut sesuai kendaraan [CDD LONG Long, Fuso, Wingbox] menjadi [41, 37, 32], data usulan dengan kecepatan yang diturunkan sebesar 10% pada hari ketiga berturut-turut sesuai kendaraan [CDD LONG Long, Fuso, Wingbox] menjadi [41, 36, 32], data usulan dengan kecepatan yang diturunkan sebesar 14% pada hari keempat berturut-turut sesuai kendaraan [CDD LONG Long, Fuso, Wingbox] menjadi [39, 34, 30], data usulan dengan kecepatan yang diturunkan sebesar 7% pada hari kelima berturut-turut sesuai kendaraan [CDD LONG Long, Fuso, Wingbox] menjadi [42, 37, 33], data usulan dengan kecepatan yang diturunkan sebesar 2% pada hari keenam berturut-turut sesuai kendaraan [CDD LONG Long, Fuso, Wingbox] menjadi [44, 39, 34], dan data usulan dengan kecepatan yang diturunkan sebesar 8% pada hari ketujuh berturut-turut sesuai kendaraan [CDD LONG Long, Fuso, Wingbox] menjadi [41, 37, 32].

Penggunaan kecepatan yang berbeda-beda ini digunakan untuk memvalidasi penentuan rute terhadap kemungkinan terjadinya penurunan kecepatan akibat faktor eksternal yang mungkin akan terjadi seperti kemacetan, kebocoran ban, kecelakaan, dan lain sebagainya. Dalam Tugas akhir tersebut, peneliti mendapati jika terjadi penurunan kecepatan dalam rentang 0% - 9% mengakibatkan tidak terjadinya perubahan rute sehingga jumlah waktu tempuh dan biaya transportasi tetap optimal. Akan tetapi, jika terjadi penurunan kecepatan dalam rentang 10% - 100% yang akan mengakibatkan perubahan rute yang tentunya berdampak pada perubahan waktu tempuh dan biaya transportasi. Dalam rentang penurunan kecepatan yaitu 10% - 100%, jumlah waktu tempuh dan biaya transportasi yang dihasilkan tidak optimal dikarenakan terjadi perubahan rute dari solusi optimal sebelumnya.

V. Kesimpulan

Penelitian yang dilakukan dengan menggunakan Metode MIRP dengan pendekatan Integer Linear Programming dapat ditarik beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Tugas akhir ini merencanakan rute pengiriman PT. Pos Logistik dengan model *Integer Linear Programming* (ILP) sebagai solusi usulan perbaikan penghantaran. Waktu tempuh rata-rata pada rute eksisting pada pengiriman selama 31 hari adalah 7923 menit. Waktu tempuh tersebut dapat direduksi sebesar 7,23% dengan menggunakan model ILP yang diperoleh dari hasil komputasi sebesar 7350 menit.
2. Berdasarkan verifikasi pemenuhan time window pelanggan, jumlah keterlambatan pada rute eksisting setiap harinya sejumlah 1 keterlambatan, hal ini mampu direduksi secara penuh (100%) pada rute usulan dengan tidak terdapat kunjungan yang melewati batasan waktu pelanggan, sehingga setiap armada dapat kembali ke depot sebelum time window depot berakhir.
3. Biaya transportasi pada rute eksisting rata-rata selama pengiriman selama 31 hari adalah sebesar Rp10.227.357, hal ini dapat direduksi sebesar 13% dengan menggunakan model ILP sehingga biaya transportasi yang dikeluarkan pada rute usulan selama pengiriman 31 hari rata-rata per harinya hanya sebesar Rp8.861.536.
4. Berdasarkan hasil validasi penurunan rata-rata kecepatan yang dilakukan pada setiap jenis armada sebagai pertimbangan faktor eksternal yang mungkin akan terjadi ketika melakukan pengiriman barang seperti kecelakaan, kemacetan, faktor bencana, dan lain sebagainya. Didapatkan bahwa persentase penurunan rata-rata kecepatan ketika terjadi perubahan rute adalah sebesar minimal 9%. Hal ini menandakan bahwa perancangan rute pengiriman rute primer pada PT. Pos Logistik Indonesia menggunakan model ILP dengan solver Gurobi 10.1 akan bertahan solusi optimalnya pada batas perubahan kecepatan sebesar 9%.

Referensi:

- Borčinová, Z. (2017). Two models of the capacitated vehicle routing problem. *Croatian Operational Research Review*, 8(2), 463–469. <https://doi.org/10.17535/crorr.2017.0029>.
- Chopra S and Meindl P. (2012). *Supply Chain Management: Global Edition* (London: Pearson Education).
- Michel Gendreau, Jean Yves Potvin, Olli Bräysy, Geir Hasle, and A., & Løkketangen. (2008). The vehicle routing problem: Latest advances and new challenges. In *Operations Research/ Computer Science Interfaces Series* (Vol. 43). <https://doi.org/10.1007/978-0-387-77778-8>
- Toth, P., & Vigo, D. (2002). *The Vehicle Routing Problem*. <http://library1.nida.ac.th/termpaper6/sd/2554/19755.pdf>
- Yusuf, F. K., Ridwan, A. Y., & Pambudi, H. K. (2020). Maritime Inventory Routing Problem: Application on Discharge the Load of the Ship in Cement Companies to Minimize the Total Transportation Cost. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 982(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/982/1/012056>