

# Pengembangan Model Optimasi Untuk Mengurangi Total Biaya Outbound Logistics di Industri Unggas Dengan Metode *Mixed Integer Linear Programming* (MILP)

Inaki, Maulida Hakim<sup>1</sup>, Aulia Shafa Nazihah<sup>2</sup>, Aqila Zafira Windasari<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Departemen Teknik Industri, Universitas Indonesia, Depok, Indonesia [inakimhakim@eng.ui.ac.id](mailto:inakimhakim@eng.ui.ac.id)

<sup>2</sup> Departemen Teknik Industri, Universitas Indonesia, Depok, Indonesia [aulia.shafa@ui.ac.id](mailto:aulia.shafa@ui.ac.id)

<sup>3</sup> Departemen Teknik Industri, Universitas Indonesia, Depok, Indonesia [aqila.zafira@ui.ac.id](mailto:aqila.zafira@ui.ac.id)

**Abstrak**—Industri unggas merupakan salah satu industri di Indonesia yang memiliki fokus dalam ayam potong. Industri unggas mengalami kenaikan dalam permintaan dan untuk menjamin ketersediaan pasokan dan stabilisasi daging ayam ras diperlukan harga acuan yang mempertimbangkan harga pengiriman. Salah satu perusahaan industri unggas memiliki proses *outbound logistics* yang terdiri dari pengiriman dan penyimpanan. Pada bulan Oktober hingga Desember 2022, terjadi peningkatan permintaan dan juga biaya *outbound logistics*, dimana *outbound logistics* sendiri memiliki dua biaya yaitu biaya pengiriman dan biaya penyimpanan. Biaya *Outbound logistics* yang tinggi disebabkan oleh pemilihan dan perencanaan kendaraan yang masih belum optimal. Sehingga diperlukan optimasi perencanaan *outbound logistics* yang lebih baik lagi. Penelitian ini melakukan pengembangan model optimasi untuk mengurangi biaya *outbound logistics* dengan metode *mixed integer linear programming* (MILP) menggunakan perangkat lunak LINGO. Hasil penelitian menunjukkan bahwa total biaya *outbound logistics* memiliki penurunan dari Rp451.364.739 menjadi Rp246.817.288. Penggunaan kendaraan juga mengalami penurunan dari 229 unit menjadi 89 unit. Sedangkan utilisasi kendaraan mengalami kenaikan dari 69% menjadi 96%.

**Kata Kunci**—Industri Unggas, *Mixed Integer Linear Programming* (MILP), Optimasi Biaya *Outbound Logistics*

## I. PENDAHULUAN

Industri unggas di Indonesia telah mengalami perkembangan yang pesat dalam beberapa tahun terakhir. Salah satu faktor yang mempengaruhi pertumbuhan industri ini adalah meningkatnya konsumsi daging ayam di Indonesia. Menurut data dari Badan Pusat Statistika (BPS) konsumsi daging ayam di Indonesia pada tahun 2021 mencapai 6048 kg/kapita/tahun atau naik sebesar 8,62% dibandingkan tahun sebelumnya. Hal ini disebabkan oleh pertumbuhan penduduk yang tinggi, peningkatan pendapatan masyarakat, serta perubahan pola konsumsi masyarakat yang lebih memilih produk protein hewani.

Namun, dengan meningkatnya konsumsi daging ayam juga menimbulkan tantangan bagi industri unggas di Indonesia, termasuk dalam hal *outbound logistics* atau pengiriman produk dari pabrik ke pasar. Pengiriman produk yang tidak efisien dapat meningkatkan biaya operasional dan mengurangi keuntungan perusahaan. Biaya *outbound logistics* merupakan biaya penyimpanan ditambah dengan biaya pengiriman. Biaya penyimpanan merupakan biaya simpan dan biaya handling per kg, biaya ini merupakan biaya yang tetap setiap bulannya. Biaya pengiriman merupakan biaya distribusi oleh setiap kendaraan dimana terdapat lima kendaraan di perusahaan ini. Permintaan daging ayam terus meningkat selama 3 bulan terakhir di tahun 2022 yaitu pada bulan Oktober hingga Desember 2022. Permintaan daging ayam yang terus meningkat juga menunjukkan biaya *outbound logistics* yang tinggi, Perbandingan antara biaya pengiriman dan biaya penyimpanan menunjukkan bahwa biaya pengiriman lebih besar dibandingkan biaya penyimpanan. Kedua biaya tersebut memiliki selisih sebesar 86% yang termasuk selisih cukup besar. Maka dari itu, diperlukan pengurangan biaya *outbound logistics* sebagai salah satu faktor penting dari industri unggas. Terdapat penelitian terdahulu yang telah menyelesaikan permasalahan dari *outbound logistics* yaitu oleh Moonsri, K. et al. (2022). Penelitian yang telah dilakukan tersebut menggunakan metode *mixed integer linear programming* (MILP) untuk meminimasi biaya *outbound logistics* di industri unggas Thailand. Penelitian tersebut memiliki parameter biaya transportasi antara pelanggan  $i$  dan  $j$ , waktu transportasi antara pelanggan  $i$  dan  $j$ , permintaan pada pelanggan  $i$ , kapasitas kendaraan  $k$ , durasi maksimum rute yang diizinkan untuk kendaraan  $k$ . Penelitian lain adalah penelitian oleh Handayani, D.I. et al. (2021) yang membahas mengenai meminimasi total biaya dari industri ikan kaleng dengan menggunakan *mixed integer linear programming* (MILP). Penelitian tersebut memiliki parameter dan variabel keputusan termasuk dalam *outbound logistics* seperti permintaan pelanggan, transportasi, dan *inventory*. Penelitian ini akan melakukan perancangan model optimasi, untuk meminimasi biaya *outbound logistics*, dan menggunakan metode *mixed integer linear programming* (MILP).

## II. LITERATUR

### A. *Outbound Logistics*

*Outbound Logistics* adalah cara sistematis untuk mengelola kegiatan yang saling berhubungan, termasuk transportasi, distribusi, pergudangan, barang jadi, inventaris, pengemasan, dan penanganan material untuk memastikan pengiriman barang jadi yang efisien ke pelanggan. Fokus manajemen logistik eksternal adalah untuk mengatur distribusi produk jadi dengan cara

yang memenuhi harapan pelanggan dengan biaya serendah mungkin. Proses yang berkaitan dengan pergerakan dan penyimpanan produk dari akhir jalur produksi sampai ke pengguna akhir (Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP), 2013). Saluran *outbound logistics* merupakan penghubung antara area produksi dengan area konsumsi dan tugasnya adalah menjembatani kesenjangan antara kedua tahapan tersebut. Kesenjangan mengacu pada waktu, ruang, kuantitas, jangkauan produk dan informasi (Alumbugu et al, 2019).

#### B. Rantai Pasok Industri Unggas

Istilah manajemen rantai pasokan (SCM) diperkenalkan pada awal 1980-an dan sejak itu mendapat banyak perhatian. Dewan Profesional Manajemen Rantai Pasokan mendefinisikan manajemen rantai pasokan sebagai mencakup, merencanakan, dan mengelola semua aktivitas yang terkait dengan sumber dan pengadaan, transformasi, dan semua aktivitas manajemen logistik. Menurut Gunasekaran et al. (2004), manajemen rantai pasokan telah menjadi komponen kunci dari strategi bersaing untuk meningkatkan produktivitas dan profitabilitas organisasi. Pada penelitian oleh Moonsri, K. et al. (2022), Industri logistik ekspor unggas di Thailand terdiri dari tiga distribusi utama: (1) ayam tua disembelih dan dijual sebagai unggas ke konsumen; (2) telur sebagian besar dijual langsung ke konsumen akhir; (3) telur yang pecah dikirim ke pabrik pengolahan. Ciri dari masalah ini adalah banyaknya pelanggan yang harus dilayani dengan kendaraan dari beberapa gudang (misalnya pusat distribusi telur 1, 2 dan rumah potong hewan). Pada artikel ini memiliki fokus pada perencanaan logistik keluaran industri perunggasan di Thailand, tujuannya adalah untuk meminimalkan biaya pengiriman.

#### C. Mixed Integer Linear Programming (MILP)

Metode *Mixed Integer Linear Programming (MILP)* merupakan salah satu metode yang digunakan dalam literatur dengan karakteristik yang mirip dengan model *linear programming (LP)*. Namun, perbedaannya adalah bahwa model MILP memiliki fungsi dan batasan tujuan linier, atau beberapa variabel keputusan adalah bilangan bulat. Metode MILP dapat memberikan pengoptimalan global untuk setiap solusi yang teridentifikasi, di mana diperlukan variabel bilangan bulat.

#### D. LINGO Software

LINGO adalah bantuan desain untuk memecahkan masalah riset operasi seperti pemrograman linier dan non-linier, kendala kuadrat, dan optimasi model secara keseluruhan dengan cepat dan mudah, serta lebih efisien ("Modul Lingo", 2017). Memecahkan dengan LINGO membutuhkan banyak bahasa pemrograman. LINGO menggunakan algoritma *Branch and Limit*. Algoritma *Branch and Limit* banyak digunakan untuk menyelesaikan berbagai jenis masalah. Algoritma *branch-and-bound* adalah metode algoritma yang biasanya digunakan untuk menemukan solusi optimal di antara berbagai masalah optimasi yang optimal. Branch adalah ide bahwa algoritma ini membagi masalah *integer programming* menjadi cabang-cabang masalah. Cabang-cabang masalahnya berupa program linear. Dengan kata lain, meskipun *bound* memiliki arti terbatas, algoritma ini membatasi pencarian hanya pada cabang yang menjanjikan.

#### E. Verifikasi dan Validasi Model

Peneliti membutuhkan verifikasi dan validasi untuk mengetahui apakah model matematika yang dibuat berhasil dan dapat mewakili permasalahan dalam penelitian. Model matematika yang terbentuk kemudian diubah menjadi software LINGO. LINGO adalah alat untuk memecahkan berbagai masalah penelitian operasi, termasuk penelitian operasi menggunakan *Mixed Integer Linear Programming (MILP)*.

##### a. Verifikasi Model

Verifikasi data melibatkan pengecekan keakuratan, kelengkapan, dan konsistensi data yang digunakan. Verifikasi sendiri memiliki proses dimana dilakukan pemeriksaan model dengan program komputer. Model terverifikasi jika tidak muncul error atau debugging di program komputer. Model yang menunjukkan Global Optimum dan variabel keputusan telah ditentukan memenuhi, juga termasuk salah satu kriteria bahwa model telah terverifikasi.

##### b. Validasi Model

Validasi data, di sisi lain, melibatkan penilaian terhadap kecocokan data dengan kondisi yang dihadapi di dunia nyata. Akan dilakukan evaluasi apakah data yang digunakan mencerminkan karakteristik, skala, dan variasi yang ada di lapangan. Selain itu, akan dilakukan juga pemeriksaan apakah data tersebut relevan untuk tujuan penelitian dan apakah dapat memberikan pemahaman yang komprehensif tentang masalah yang diteliti. Setelah fase validasi model, analisis sensitivitas dilakukan untuk menentukan apakah parameter input yang ditentukan berubah. Jika hasil uji sensitivitas mengarah pada perubahan dengan kecenderungan yang wajar, maka model yang dibuat dapat dianggap lulus uji validitas menurut analisis sensitivitas.

### III. METODE PENELITIAN

#### A. Objek Penelitian

Pengumpulan data yaitu berasal dari data historis perusahaan yang merupakan data sekunder di penelitian ini dimana data historis ini diperoleh dari perusahaan yang ada industri unggas. Data historis ini diambil dari bulan Oktober hingga Desember 2022. Data yang diambil adalah data permintaan, kapasitas kendaraan, biaya setiap kendaraan, dan biaya penyimpanan produk.

## B. Proses Bisnis

Perusahaan yang ada di penelitian ini merupakan perusahaan di industri unggas dimana perusahaan ini berhubungan dengan supplier ayam broiler untuk mengirimkan material utamanya yaitu ayam hidup. Setelah itu ayam akan diolah menjadi ayam potong di produksi potong ayam sebelum masuk ke *cold warehouse* dan didistribusikan dengan kurir 3PL. Di perusahaan ini terdapat *outbound logistics* yang mulai dari penyimpanan hingga pengiriman ke pelanggan akhir. Penelitian ini berfokus kepada *outbound logistics* dari perusahaan untuk memfokuskan ke biaya distribusi.

## C. Data Permintaan

Data permintaan merupakan data yang menunjukkan permintaan dari pelanggan untuk produk yang telah mereka pesan. Data permintaan digunakan pada penelitian ini adalah Oktober hingga Desember 2022. Dalam tiga bulan tersebut, peneliti membagikan menjadi 12 minggu atau periode.

Tabel 3. 1. Data Permintaan (Kg)

Data Permintaan (kg)	Periode					
	Area	1	2	3	4	5
A-1	5.158,10	8.750,53	4.718,24	8.783,67	7.215,82	0
A-2	2.963,00	0	0	607,06	931,36	0
A-3	3.219,88	7.184,14	5.806,36	16.710,40	18.948,02	3.692,63
A-4	32.286,78	10.323,63	7.397,05	23.860,37	6.004,79	2.704,20
A-5	1.965,90	5.229,70	2.271,95	0	0	0
A-6	2.533,37	0	0	0	0	0
A-7	0	2.000,10	1.012,24	0	991,92	0
A-8	0	969,75	1.705,37	4.348,76	5.134,62	6.560,89
A-9	0	1.002,08	1.177,22	3.125,74	996,26	0
A-10	0	0	0	790,41	0	0

Data Permintaan (kg)	Periode					
	Area	1	2	3	4	5
A-1	8064,52	15029,94	20483,54	14754,46	18164,12	3795,34
A-2	1981,84	0	2557,04	0	0	0
A-3	15433,46	20231,74	10009,98	9325,86	7423,21	10971,15
A-4	13234,14	9311,18	7016,54	9334,73	3932,94	5093,84
A-5	0	0	0	0	1285,98	0
A-6	0	7900,73	0	0	0	0
A-7	0	992,44	992,57	0	0	991,68
A-8	11437,68	8309,51	27766,51	6075,63	1484,82	5159,1
A-9	0	993,78	0	0	0	0
A-10	0	0	0	0	0	0

## D. Kapasitas Kendaraan

Kendaraan yang diikuti oleh perusahaan merupakan kendaraan milik 3PL dimana semuanya diurus oleh perusahaan 3PL tersebut, Perusahaan menggunakan lima tipe kendaraan yaitu L300 dengan muatan 1.000 Kg, CDE dengan muatan 2.000 Kg, CDD dengan Muatan 5.000 Kg, Fuso dengan muatan 10.000 Kg, dan Buildup dengan muatan 20.000 Kg. Semua kendaraan akan pergi dari Gudang dan menuju alamat yang ditunjukkan. Semua kendaraan juga memiliki kapasitas muatan.

## E. Biaya Pengiriman

Biaya pengiriman bermula dari biaya *outbound logistics* dimana merupakan biaya yang dikeluarkan untuk melakukan pengiriman ke pelanggan. Biaya pengiriman tergantung juga dengan tipe kendaraan dan permintaan yang ada setiap periode. Semua periode juga memiliki perbedaan dalam kebutuhan kendaraan tersebut, maka dari itu kenapa bisa berbeda-beda.

Tabel 3. 2. Biaya pengiriman

Biaya Pengiriman	Tipe Kendaraan				
	Periode	L300	CDE	CDD	Fuso
1	5.860.000	12.054.544	7.392.000	0	8.194.000
2	9.376.000	9.040.908	12.320.000	0	0
3	8.204.000	15.068.180	7.392.000	0	0
4	8.204.000	16.574.998	14.784.000	6.728.888	0
5	3.516.000	6.027.272	7.392.000	10.093.332	0
6	5.860.000	10.547.726	2.464.000	0	0
7	5.860.000	12.054.544	14.784.000	3.364.444	4.097.000
8	15.236.000	16.574.998	4.928.000	13.457.776	4.097.000
9	5.860.000	10.547.726	29.568.000	0	4.097.000
10	4.688.000	6.027.272	9.856.000	10.093.332	0
11	0	6.027.272	14.784.000	3.364.444	0
12	10.548.000	0	12.320.000	3.364.444	0

#### F. Biaya Penyimpanan.

Penyimpanan merupakan sebuah proses menyimpan produk di gudang secara sementara. Biaya penyimpanan tergantung dengan berapa banyak produk yang disimpan dalam gudang dimana banyaknya produk juga bergantung kepada permintaan pelanggan. Biaya penyimpanan bulan Oktober adalah Rp 10.783.617, biaya penyimpanan bulan November adalah Rp 10.796.596, dan biaya penyimpanan Desember adalah Rp 10.830.238.

#### G. Pengolahan Data

Dalam tahap pengolahan data, data yang sudah dikumpulkan akan dilakukan pengolahan yaitu dengan menentukan fungsi tujuan, parameter, variabel keputusan, dan juga fungsi kendala. Setelah itu dibuat model matematika dengan menggunakan metode *Mixed Integer Linear Programming (MILP)* yang lalu akan dilakukan verifikasi dengan perangkat lunak LINGO. Setelah itu dilakukan validasi dengan membandingkan data historis dan hasil olah perangkat lunak LINGO. Hasil pengolahan data adalah perubahan dalam tipe dan jumlah kendaraan digunakan, kapasitas produk yang dikirimkan oleh kurir, dan biaya *outbound logistics* yang optimal.

#### H. Pengembangan Model Matematika

Penulis melakukan pengembangan model matematika untuk mencapai tujuan penelitian dimana model ini berdasarkan metode *Mixed Integer Linear Programming (MILP)*. Pengembangan model matematika ini memiliki tujuan mengurangi biaya *outbound logistics* yaitu biaya pengiriman dan biaya penyimpanan. Model matematika ini memiliki sets, parameter, variabel keputusan, fungsi tujuan, dan fungsi kendala.

##### a. Sets

p = Periode

v = Kendaraan

a = Area

##### b. Parameter

$bv_{av}$  = biaya kendaraan v untuk area a

$bp_p$  = biaya penyimpanan per kg pada periode p

$vl_a$  = Volume permintaan dari area a (Unit)

$c_v$  = Kapasitas volume kendaraan

##### c. Variabel keputusan

$U_{vp}$  = Jumlah penggunaan kendaraan v pada periode p

$TP_p$  = Total pengiriman pada periode p

$BI_{av}$  = Bilangan biner untuk memilih kendaraan v

$X_{ax}$  = Volume produk yang dikirim oleh kendaraan v menuju area a

$TV_p$  = Jumlah unit pemakaian kendaraan selama periode p (unit)

(1)

##### d. Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan menunjukkan tujuan dari penelitian ini yaitu bagaimana mengurangi biaya *outbound logistics* yaitu biaya pengiriman dan biaya penyimpanan. Biaya pengiriman berasal dari biaya kendaraan dikali dengan jumlah kendaraan yang digunakan sedangkan biaya penyimpanan merupakan biaya penyimpanan per kg produk dikali dengan berapa produk yang dikirimkan sesuai dengan permintaan.

Total Biaya *outbound logistics* = (Biaya Pengiriman) + (Biaya Penyimpanan)

$$\text{Min } Z = \left( \sum_{p=1}^{12} \sum_{v=1}^{31} \sum_{a=1}^{10} bv_{av} U_{vp} \right) + \left( \sum_{p=1}^{12} bp_p TP_p \right) \dots \quad (2)$$

Verifikasi model matematika dilakukan dengan perangkat lunak LINGO. Model matematika akan dikonversi menjadi model komputasi LINGO untuk setiap fungsi tujuan dan kendala dari setiap periode. Model komputasi akan dilakukan verifikasi untuk melihat apakah hasil tidak ada error atau debugging dan mendapatkan hasil yang tepat. Berikut merupakan hasil verifikasi model LINGO

##### e. Fungsi Kendala

- i. Memastikan volume pengiriman ke area dengan kendaraan  $v$  pada periode  $p$  sama dengan volume permintaan

$$\sum_v X_{av} = vl_a \quad \forall_a \quad (1) \quad (3)$$

- ii. Memastikan volume pengiriman kendaraan  $v$  tidak boleh melebihi kapasitas kendaraan  $v$

$$\sum_a X_{av} \leq vl_a \quad \forall_v \quad (2) \quad (4)$$

- iii. Memastikan total pengiriman pada periode tidak kurang dari seluruh volume permintaan

$$TP_p \geq \sum_a vl_a \quad \forall_p \quad (3) \quad (5)$$

- iv. Memastikan total jumlah unit pemakaian kendaraan  $v$  pada periode  $p$  sama dengan total kendaraan  $v$  pada periode  $p$  untuk area  $a$

$$TV_p = \sum_v U_v \quad \forall_p \quad (4) \quad (6)$$

- v. Memastikan Variabel keputusan Integer dan Biner pada model

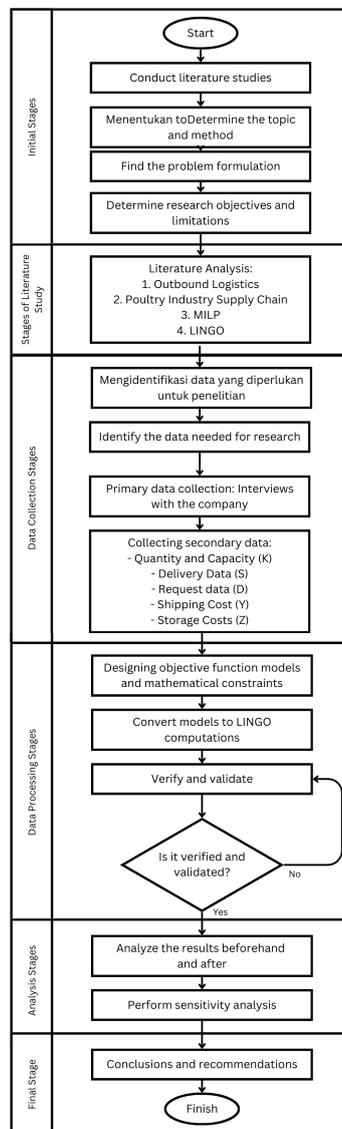
$$BI_{av} \in \{0,1\} \forall_{a,v}$$

$$U_v \in \{0,1\} \forall_v$$

$$TV_p = Integer \quad \forall_p$$

(7)

## I. Langkah Penelitian



Gambar 2 Langkah Penelitian

#### IV. ANALISIS DAN HASIL PENELITIAN

##### A. Analisis Hasil

Analisis hasil dilakukan setelah pengolahan data dimana diberikan hasil yang optimal dikarenakan variabel keputusan yang optimal. Variabel keputusan di penelitian ini yaitu jumlah kendaraan dan volume permintaan yang dikirim dimana kedua itu masing-masing memiliki pengaruh terhadap biaya pengiriman dan biaya penyimpanan. Analisis hasil didapatkan dari hasil pengolahan data yang telah digunakan melalui perangkat lunak LINGO dan juga data historis sebelum dilakukan pengolahan. Variabel keputusan yang digunakan sangat penting dalam hal *outbound logistics* dimana dengan mengetahui perencanaan kendaraan yang tepat maka akan meningkatkan efisiensi penggunaan kendaraan dan juga mendapatkan biaya *outbound logistics* yang optimal dibandingkan sebelumnya.

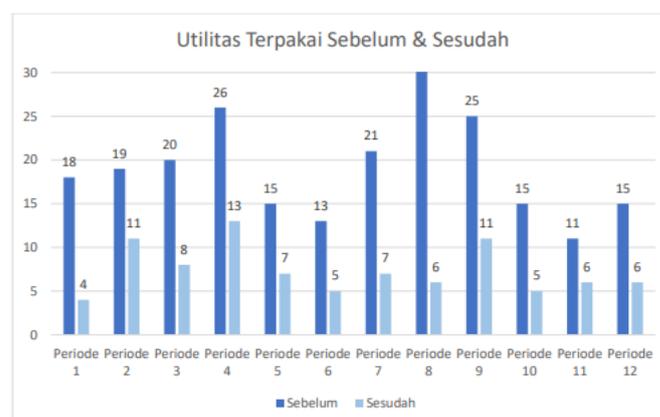
##### a. Analisis Variabel Jumlah Kendaraan yang Digunakan

Variabel keputusan pertama adalah total pengiriman yang berdasarkan dari volume permintaan. Total pengiriman berpengaruh terhadap biaya penyimpanan dimana biaya penyimpanan merupakan perkalian dari jumlah produk yang disimpan dengan biaya penyimpanan. Jumlah produk yang disimpan berdasarkan pada berapa total pengiriman untuk ke semua lokasi. Produk yang dikirimkan oleh kurir memiliki batas kapasitas dari setiap kendaraan. Keterbatasan tersebut berpengaruh kepada jumlah pemakaian kendaraan dimana hal itu juga dipengaruhi oleh permintaan pelanggan. Variabel keputusan lain yaitu jumlah pemakaian kendaraan memiliki pengaruh kepada komponen biaya pengiriman yang merupakan perkalian dari biaya pengiriman dan jumlah kendaraan yang digunakan. Biaya pengiriman sendiri memiliki efek besar terhadap biaya *outbound logistics* yaitu sebesar 93% dimana perlu perencanaan yang efisien untuk meningkatkan penggunaan kendaraan yang optimal.

Dilakukan penelitian selama 3 bulan yaitu dari Bulan Oktober hingga Desember 2022. Penelitian ini dibagi menjadi 12 periode atau minggu. Periode 1 mengalami perubahan dari pemakaian kendaraan 18 unit menjadi 4 unit. Periode 2 mengalami perubahan dari pemakaian kendaraan 19 unit menjadi 11 unit. Periode 3 mengalami perubahan dari pemakaian kendaraan 20 unit menjadi 8 unit. Periode 4 mengalami perubahan dari pemakaian kendaraan 26 unit menjadi 13 unit. Periode 5 mengalami perubahan dari pemakaian kendaraan 15 unit menjadi 7 unit. Periode 6 mengalami perubahan dari pemakaian kendaraan 13 unit menjadi 5 unit. Periode 7 mengalami perubahan dari pemakaian kendaraan 21 unit menjadi 7 unit. Periode 8 mengalami perubahan dari pemakaian kendaraan 31 unit menjadi 6 unit. Periode 9 mengalami perubahan dari pemakaian kendaraan 25 unit menjadi 11 unit. Periode 10 mengalami perubahan dari pemakaian kendaraan 15 unit menjadi 5 unit. Periode 11 mengalami perubahan dari pemakaian kendaraan 15 unit menjadi 6 unit. Periode 12 mengalami perubahan dari pemakaian kendaraan 15 unit menjadi 6 unit.

Semua periode mengalami penurunan dan tidak ada periode yang mengalami kenaikan atau sama. Hal tersebut dikarenakan semua kendaraan masih bisa untuk direalisasikan lebih baik dan menunjukkan bahwa harus ada yang diubah. Perubahan yang paling signifikan adalah pada periode 8 yaitu sebesar 18 unit dibandingkan dari periode lainnya. Pemakaian kendaraan paling tinggi berada pada periode 8 yaitu 31 unit dan berubah yang paling tinggi yaitu pada periode 4 yaitu 13 unit. Pemakaian kendaraan paling rendah sebelumnya berada pada periode 11 yaitu 11 unit dan berubah yang paling rendah yaitu periode 1 yaitu 4 unit.

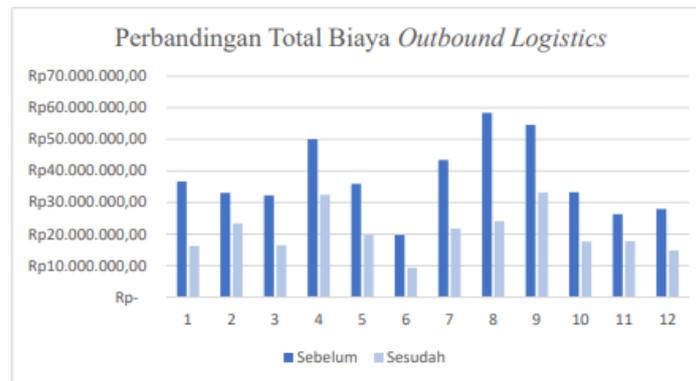
Kendaraan yang dipakai oleh perusahaan terdapat lima yaitu L300, CDE, CDD, Fuso, dan Buildup. perubahan terjadi di 3 kendaraan yaitu L300, CDE, dan CDD sedangkan untuk Fuso dan Buildup sudah optimal tetapi memiliki perubahan dalam penggunaan kapasitas dari kendaraan tersebut. L300 mengalami penurunan dari 71 unit menjadi 5 unit, CDE dari 80 unit menjadi 21 unit, dan CDD dari 54 unit menjadi 43 unit. Penggunaan kendaraan sangat bergantung pada kapasitas tipe kendaraan dimana jika pemakaian kendaraan tinggi maka biaya pengiriman juga meningkat. Biaya pengiriman sebagai komponen dari biaya *outbound logistics* pasti mempengaruhi biaya *outbound logistics*. Maka diperlukan optimasi berapa jumlah produk yang dapat dimuat dalam kendaraan sesuai dengan kapasitas kendaraan itu sendiri. Dari penelitian ini, dapat menghasilkan peningkatan utilisasi kapasitas kendaraan dari 69% menjadi 96% yaitu sebesar 26%. Penurunan penggunaan kendaraan disebabkan oleh optimasi yang telah dilakukan.



Gambar 4. 1. Perubahan Utilitas Kendaraan Terpakai (unit)

## b. Analisis Biaya Outbound Logistics

Biaya *Outbound logistics* memiliki dua aktivitas utama yaitu penyimpanan dan pengiriman dimana aktivitas tersebut memiliki biaya masing-masing yaitu biaya penyimpanan dan biaya pengiriman. Biaya penyimpanan adalah perkalian antara biaya penyimpanan per produk dengan total produk yang sesuai dengan permintaan area. Lalu untuk biaya pengiriman yaitu perkalian antara biaya kendaraan dan jumlah kendaraan. Terdapat dua variabel keputusan yang berpengaruh dengan biaya *outbound logistics* yaitu total pengiriman sesuai dengan permintaan dan jumlah kendaraan yang digunakan. Permintaan pelanggan merupakan variabel yang tidak bisa dikontrol oleh perusahaan dan tidak bisa diubah-ubah, maka jika dilakukan pengurangan biaya dengan mengubah variabel keputusan yaitu jumlah kendaraan yang digunakan dimana pada penelitian ini memiliki pengurangan pemakaian kendaraan dari 229 unit menjadi 89 unit. Jumlah kendaraan yang digunakan berdasarkan optimasi kapasitas setiap kendaraan. Kapasitas kendaraan berhasil ditingkatkan dari 69% menjadi 96%. Biaya *outbound logistics* setiap periode mengalami penurunan dimana penurunan terbesar ada di periode 8, 7, dan 9. Biaya *outbound logistics* yang mengalami penurunan ini dipengaruhi oleh pengurangan jumlah kendaraan yang digunakan di masing-masing periode. Terjadi penurunan total biaya *outbound logistics* secara agregat yaitu dari Rp451.364.739 menjadi Rp246.817.288. Dimana perubahan terbesar terjadi pada periode 8, 7, dan 9 secara berurutan. Dari hal ini, perlu dilakukan analisis lebih lanjut menggunakan analisis sensitivitas untuk mengetahui apakah parameter berpengaruh terhadap biaya *outbound logistics*.



Gambar 4. 2. Perbandingan Total Biaya Outbound Logistics Per Periode

## B. Analisis Sensitivitas

### a. Perubahan Volume Permintaan

Permintaan pelanggan dapat mempengaruhi kepada biaya penyimpanan dan juga penggunaan kendaraan. Terdapat enam skenario yaitu penurunan 5%, 10%, dan 15% lalu kenaikan 5%, 10%, dan 15%. Angka-Angka tersebut merupakan skenario yang mungkin akan terjadi di perusahaan. Dari ketiga periode yang telah dilakukan analisis sensitivitas mengenai parameter volume permintaan, kesimpulan yang bisa didapatkan bahwa biaya *outbound Logistics* berbanding lurus dengan volume permintaan. Saat dilakukan skenario kenaikan volume, terjadi kenaikan biaya *outbound logistics*. Begitu pula dengan penurunan volume yang mengakibatkan biaya *outbound logistics* juga menurun.

### b. Perubahan Biaya Pengiriman

Biaya kendaraan dapat mempengaruhi biaya *outbound logistics* itu sendiri dan dapat dipengaruhi oleh faktor yang ada di pihak kurir. Terdapat enam skenario yaitu kenaikan 5%, 10%, dan 15% lalu penurunan 5%, 10%, dan 15%. Angka-Angka tersebut merupakan skenario yang mungkin akan terjadi di perusahaan. Analisis sensitivitas ini juga dicoba ke tiga periode yaitu periode 7, 8, dan 9 dikarenakan perubahan yang signifikan biaya *outbound logistics*. Dari ketiga analisis sensitivitas biaya kendaraan, kesimpulan yang dapat diambil adalah biaya *outbound logistics* berbanding lurus dengan biaya pengiriman. Saat dilakukan skenario kenaikan biaya kendaraan, terjadi kenaikan biaya *outbound logistics*. Begitu pula dengan penurunan biaya kendaraan yang mengakibatkan biaya *outbound logistics* juga menurun.

### c. Perubahan Biaya Penyimpanan

Parameter yang ketiga adalah Biaya Penyimpanan. Biaya penyimpanan dapat mempengaruhi biaya *outbound logistics* itu sendiri dan dapat dipengaruhi oleh faktor yaitu berapa banyak produk yang masuk dan keluar dari warehouse. Terdapat enam skenario yaitu kenaikan 5%, 10%, dan 15% lalu penurunan 5%, 10%, dan 15%. Angka-Angka tersebut merupakan skenario yang mungkin akan terjadi di perusahaan. Analisis sensitivitas ini juga dicoba ke tiga periode yaitu periode 7, 8, dan 9 dikarenakan perubahan yang signifikan biaya *outbound logistics*.

Dari ketiga analisis sensitivitas biaya penyimpanan, kesimpulan yang dapat diambil adalah biaya *outbound logistics* berbanding lurus dengan biaya penyimpanan. Saat dilakukan skenario kenaikan biaya penyimpanan, terjadi kenaikan biaya *outbound logistics*. Begitu pula dengan penurunan biaya penyimpanan yang mengakibatkan biaya *outbound logistics* juga menurun.

#### d. Hasil Analisis Sensitivitas Keseluruhan

Setelah melakukan ketiga analisis sensitivitas, dilakukan perbandingan biaya *outbound logistics* dari perubahan volume permintaan, biaya penyimpanan, dan biaya pengiriman di ketiga periode.

Dari analisis sensitivitas yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa parameter yang paling berpengaruh adalah permintaan. Dari ketiga periode tersebut, menghasilkan visualisasi analisis sensitivitas yang mirip dimana menggambarkan bahwa parameter permintaan lebih memiliki pengaruh dibandingkan parameter yang lain. Parameter permintaan sendiri merupakan parameter yang fluktuatif dan susah untuk diprediksi sehingga memberikan pengaruh yang signifikan. Jika kedepannya dapat lebih memperhatikan volume permintaan maka diperlukan rencana yang lebih baik lagi untuk biaya *outbound logistics*.

### V. KESIMPULAN DAN SARAN

#### A. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian yang dilakukan oleh penulis mengenai mengurangi biaya *outbound logistics* di industri unggas dengan metode *mixed integer linear programming (MILP)* yaitu:

- Penelitian ini telah menjawab tujuan dari penelitian yaitu mengembangkan model matematika optimal untuk meminimalkan biaya *outbound logistics* dengan menggunakan *mixed integer linear programming (MILP)* dimana mengalami penurunan dari Rp451.364.739 menjadi Rp246.817.288.
- Nilai optimal dari variabel keputusan tipe kendaraan dan jumlah kendaraan yang digunakan dimana didapatkan hasil bahwa utilisasi penggunaan 5 kendaraan yaitu L300, CDE, CDD, Fuso, dan Buildup berkurang. L300 mengalami penurunan dari 71 unit menjadi 5 unit, CDE dari 80 unit menjadi 21 unit, CDD dari 54 unit menjadi 43 unit, Fuso dan Buildup tidak mengalami perubahan karena sudah optimal dan memiliki kapasitas paling besar dibandingkan kendaraan lain. Dari perubahan ini menghasilkan pengiriman yang lebih efisien.
- Nilai optimal dari variabel keputusan kuantitas produk yang muat di dalam kendaraan yaitu utilitas kapasitas kendaraan mengalami peningkatan yang awalnya memiliki utilitas 69% dapat naik menjadi 96%..

#### B. Saran

Saran dibuat atas dasar penelitian ini yang masih terdapat kekurangan dan keterbatasan sehingga dapat dikembangkan kembali dalam penelitian selanjutnya. Berikut merupakan beberapa saran yang penulis berikan yaitu:

- Penelitian ini hanya memiliki beberapa variabel keputusan yaitu tipe kendaraan, jumlah kendaraan yang digunakan, dan kapasitas kendaraan. Disarankan oleh penulis untuk mengembangkan variabel keputusan lain seperti rute dari setiap kendaraan ke area dari perusahaan TPL.
- Penelitian ini berfokus pada utilitas kendaraan dan berapa jumlah kendaraan yang digunakan, penelitian selanjutnya dapat memperhatikan apakah menentukan gudang yang lebih baik atau memperbaiki layout dari gudang dapat memiliki dampak ke biaya *outbound logistics*.
- Penelitian ini berfokus kepada optimasi kendaraan per periode, penelitian selanjutnya dapat memperhatikan variabel keputusan penjadwalan produksi untuk mengetahui kapabilitas produksi dalam pengiriman.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Kami tim peneliti mengucapkan terima kasih Departemen Teknik Industri, Universitas Indonesia untuk bantuan dana mengikuti Seminar Nasional Teknik Industri UGM 2024.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alumbugu, P. O., Shakantu, W., & Tsado, A. (2020). Analysis of outbound logistics channels for construction material. *Journal of Engineering, Project, and Production Management*. <https://doi.org/10.2478/jeppm-2020-0003>. (*references*)
- [2] Bredström, D., Haugen, K., Olstad, A., & Novotný, J. (2015). A mixed integer linear programming model applied in barge planning for Omya. *Operations Research Perspectives*, 2, 150–155. <https://doi.org/10.1016/j.orp.2015.07.002>.
- [3] Castillo, E., Mínguez, R., & Castillo, C. (2008). Sensitivity analysis in optimization and reliability problems. *Reliability Engineering & System Safety*, 93(12), 1788–1800. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2008.03.010>.
- [4] Chandra, S., Ghosh, D., & Srivastava, S. K. (2016). Outbound logistics management practices in the automotive industry: An emerging economy perspective. *DECISION*, 43(2), 145–165. <https://doi.org/10.1007/s40622-015-0122-0>.
- [5] Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP). (2013). *Supply chain management terms and glossary* (11th ed.). Author.
- [6] Cosic, A., Stadler, M., Mansoor, M., & Zellinger, M. (2021). Mixed-integer linear programming-based optimization strategies for Renewable Energy Communities. *Energy*, 237, 121559. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121559>.
- [7] Gunasekaran, A., Patel, C., & McGaughey, R. E. (2004). A Framework for Supply Chain Performance Measurement. *International Journal of Production Economics*, 87(3), 333–347. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2003.08.003>.
- [8] Handayani, D. I., Masudin, I., Rusdiansyah, A., & Suharsono, J. (2021). Production distribution model considering traceability and carbon emission: A case study of the Indonesian canned fish food industry. *Logistics*, 5(3), 59. <https://doi.org/10.3390/logistics5030059>.
- [9] Hakim, I. M., & Abbas, F. M. (2019). ICIBE 2019: Proceedings of the 2019 5th International Conference on Industrial and Business Engineering. In *Optimization Model of Truck Utilization to Minimize Outbound Logistics Cost* (pp. 62-66). Jakarta, DKI Jakarta: ICIBE. doi: <https://doi.org/10.1145/3364335.3>.
- [10] Huang, C., Wong, C. K., & Tam, C. M. (2011). Optimization of Tower Crane and material supply locations in a high-rise building site by mixed-integer linear programming. *Automation in Construction*, 20(5), 571–580. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.11.023>.
- [11] Koné, O., Artigues, C., Lopez, P., & Mongeau, M. (2012). Comparison of mixed integer linear programming models for the resource-constrained project scheduling problem with consumption and production of resources. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 25(1-2), 25–47. <https://doi.org/10.1007/s10696-012-9152-5>.
- [12] Kwateng, K. O., Manso, J. F., & Osei-Mensah, R. (2014). Outbound Logistics Management in Manufacturing Companies in Ghana. *Review of Business & Finance Studies*, 5(1), 83–92.
- [13] Lambert D.M., Stock J.R., E. L. . (n.d.). *Fundamentals of Logistics Management* by Lambert D.M., Stock J.R., Ellram Li.M. (z-lib.org).pdf.
- [14] Moonsri, K., Sethanan, K., & Worasan, K. (2022). A novel enhanced differential evolution algorithm for outbound logistics of the poultry industry in Thailand. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 8(1), 15. <https://doi.org/10.3390/joitmc8010015>.
- [15] Moretti, L., Astolfi, M., Vergara, C., Macchi, E., Pérez-Arriaga, J. I., & Manzolini, G. (2019). A design and dispatch optimization algorithm based on mixed integer linear programming for rural electrification. *Applied Energy*, 233–234, 1104–1121. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.09.194>.
- [16] Omu, A., Choudhary, R., & Boies, A. (2013). Distributed Energy Resource System optimization using mixed integer linear programming. *Energy Policy*, 61, 249–266. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.05.009>.
- [17] Shamsuddoha, M., Quaddus, M., & Klass, D. (2011). A simulation supply chain model for a sustainable and Environment Friendly Poultry Industry: Insights from Bangladesh. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.1957885>.
- [18] Stadler, H. (2015). *Supply Chain Management: An Overview*. In: Stadler, H., Kilger, C., Meyr, H. (eds) *Supply Chain Management and Advanced Planning*. Springer Texts in Business and Economics. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-55309-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-55309-7_1).
- [19] Badan Pangan Nasional.(2022). Peraturan Badan Pangan Nasional Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2022. *Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2022, Nomor 1022*.
- [20] Distribusi Perdagangan Komoditas Daging Ayam Ras Indonesia 2022. Badan Pusat Statistik. (2022). Retrieved February 7, 2023, from <https://www.bps.go.id/publication/2022/10/24/55caab2238cf10197854af46/distribusiperdagangan-komoditas-daging-ayam-ras-di-indonesia-2022.html>.