



## Pengembangan Model Matematis Untuk Meminimalisir Biaya Transportasi Dengan Mempertimbangkan Waktu Operasional Dan Konsumsi Bahan Bakar Pada Kontainer Pendingin

Aji Giri Suseno<sup>1</sup>, Asep Erik Nugraha<sup>2</sup>, Dene Herwanto<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Universitas Singaperbangsa Karawang

Received: 15 Desember 2023  
Revised: 29 Desember 2023  
Accepted: 05 Januari 2024

### Abstract

Meningkatnya biaya logistik menjadi kendala bagi para pelaku usaha, terutama pada pelaku usaha dibidang bahan pokok seperti daging dan produk produk yang memerlukan kesegaran yang terjaga untuk produknya. Dalam konteks logistik, masalah ini menjadi tantangan bagi para pelaku usaha untuk merancang sistem distribusi yang tepat. Salah satu usaha yang dilakukan para pelaku usaha ialah menentukan rute pengiriman yang efisien untuk meningkatkan pelayanan kepada customer. Selain dari itu para pelaku usaha juga mempertimbangkan biaya bahan bakar yang dikonsumsi untuk setiap kali mendistribusikan produknya. Pada penelitian kali ini, pengembangan model matematis akan diperkenalkan untuk menangani masalah distribusi produk terutama produk yang memerlukan kontainer pendingin sebagai salah satu kendaraan yang menjadi alat transportasi untuk produk tersebut. Lebih lanjut lagi beberapa contoh data numerik digunakan untuk menunjang pengujian model kali ini. Solusi optimal pun diperoleh dan menunjukkan bahwa besar total biaya transportasi berbanding lurus dengan total jarak yang ditempuh. Selain dari itu biaya bahan bakar kendaraan dan biaya energi untuk kontainer pendingin menjadi salah satu faktor tingginya biaya distribusi yang dimana faktor tersebut bisa menjadi acuan bagi para pelaku usaha untuk mengambil keputusan.

**Keywords:** Model matematis, logistic, manajemen distribusi

(\*) Corresponding Author: [Aji.giri16016@student.unsika.ac.id](mailto:Aji.giri16016@student.unsika.ac.id)

**How to Cite:** Suseno, A. G., Nugraha, A. E., & Herwanto, D. (2024). Pengembangan Model Matematis Untuk Meminimalisir Biaya Transportasi Dengan Mempertimbangkan Waktu Operasional Dan Konsumsi Bahan Bakar Pada Kontainer Pendingin. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10470866>.

## PENDAHULUAN

Fluktuasi harga pangan merupakan masalah yang selalu dialami oleh beberapa pelaku usaha (Resnia, 2012). Beberapa faktor yang mempengaruhi terjadinya fluktuasi harga tersebut diantaranya nya adalah biaya logistik. Besarnya biaya logistik sangat berpengaruh terhadap harga akhir pada suatu produk. Daging sapi merupakan salah satu bahan pangan yang sering mengalami kenaikan (Zainuddin et al., 2015). Tingginya harga daging sapi perlu diatasi dengan melihat ke persoalan yang ada di hulu, salah satunya adalah rantai distribusi yang panjang yang menyebabkan biaya tambahan yang tidak sedikit dan pada akhirnya berpengaruh kepada haarga akhir atau harga jual daging sapi. Secara umum tingginya harga daging sapi di Indonesia juga disebabkan oleh tingginya harga logistik, terutama biaya penyimpanan dalam *Cold Storage*. Selain itu, selama terjadinya pandemi COVID-19 biaya logistik juga mengalami kenaikan (Yulistia, 2021).

Transportasi merupakan salah satu yang menjadi penyebab tingginya biaya logiostik di Indonesia. Berdasarkan dephub yang dijelaskan oleh (Fajar et al., 2023)

Kamar Dagang dan Industri (KADIN) Indonesia menilai, biaya logistik di Indonesia yang mencapai 24% dari total PDB atau senilai Rp. 1.820 Triliun per tahun merupakan biaya logistik paling tinggi di dunia. Untuk perspektif perusahaan itu sendiri, biaya logistik merupakan salah satu komponen yang berpengaruh terhadap harga akhir pada suatu produk dan juga berpengaruh terhadap daya saing suatu perusahaan. Berdasarkan penelitian yang dibahas oleh Shen & Lian (2007) dalam (Suharyanto, 2017), komponen biaya yang berkontribusi paling tinggi dalam menentukan biaya logistik yaitu biaya transportasi.

Terdapat beberapa faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap besarnya biaya transportasi, salah satunya yaitu jarak. Besar biaya transportasi dapat meningkat secara linear terhadap jarak (Ardyannas et al., 2022). Hal ini disebabkan oleh konsumsi bahan bakar yang berpengaruh secara langsung terhadap jarak yang ditempuh oleh kendaraan.

Masalah Perutean Kendaraan (VRP) adalah masalah optimasi kombinatorial klasik yang terlibat dalam banyak aplikasi (Hadhiatma & Purbo, 2017). Sejak diperkenalkan oleh Dantzig dan Ramser, hingga saat ini sudah banyak penelitian yang berfokus pada optimasi rute distribusi antara depot dengan *customer* yang dikenal dengan *Vehicle Routing Problem* (VRP). VRP sendiri diperkenalkan sebagai suatu permasalahan dalam menentukan rute kendaraan yang ditugaskan untuk melayani kebutuhan customer dengan memenuhi batasan – batasan yang ada serta mampu meminimasi biaya transportasi (Toth & Vigo, 2002). Topik mengenai VRP terus berkembang hingga saat ini. Bahkan, optimasi penentuan rute kendaraan sudah terbukti menghasilkan penghematan ekonomis pada biaya transportasi global sekitar 5% - 20%.

Salah satu perluasan VRP yaitu *Vehicle Routing Problem with Time Windows* (VRPTW) di mana setiap kendaraan harus mengunjungi seluruh node dalam rentang waktu yang diizinkan (Solomon, 1987). Namun pada praktiknya, rentang waktu kunjungan atau *time windows* bukan hanya pada setiap node saja, terdapat juga beberapa masalah di mana jalan yang menghubungkan antar lokasi (biasa disebut *arc*) memiliki batas waktu kunjungan atau waktu operasional. Permasalahan ini diangkat oleh (Çetinkaya, C., Karaoglan, I., and Gökçen, H., 2013). Tetapi (Ahn & Rakha, 2008) menyimpulkan bahwa jarak distribusi terpendek mungkin bukan rute terbaik atau ideal.

Faktanya jumlah bahan bakar yang dikonsumsi, bukan jarak tempuh yang menjadi bahan pertimbangan bagi perusahaan-perusahaan yang mengejar penghematan biaya dalam bahan bakar. Jika saja biaya konsumsi bahan bakar bisa di kurangi setidaknya 5%, penghematan akan secara signifikan berpengaruh terhadap total biaya transportasi. Pengurangan konsumsi bahan bakar juga bermanfaat bagi seluruh masyarakat karena emisi karbon dioksida (faktor utama yang dilaporkan dalam efek rumah kaca) dapat juga dikurangi.

Karenanya, penelitian ini perlu melibatkan batas waktu dan beban dalam kendala. Penelitian kali ini akan membahas tentang pengembangan model matematis yang bertujuan untuk mendukung para pelaku usaha dalam pengambilan keputusan terkait dengan penentuan rute distribusi daging sapi yang efisien dengan mempertimbangkan biaya energi (bahan bakar) yang dibutuhkan untuk setiap kali pengiriman menggunakan Cold Container. Penelitian kali ini diharapkan bisa

menjadi bahan pertimbangan untuk penentuan route kendaraan dengan mempertimbangkan biaya energi Cold Countainer.

## **METODOLOGI PENELITIAN**

### **Kerangka Berpikir**

Sistem distribusi merupakan salah satu proses yang menjadi hal yang tidak bisa diabaikan bagi para pelaku bisnis, dikarenakan hal tersebut bisa mempengaruhi biaya yang menjadi pertimbangan penting bagi para pelaku bisnis. Selain itu adanya batas waktu operasional jalan menjadi penghambat bagi aktivitas bisnis para pelaku usaha khususnya dalam proses distribusi produk. Selain batas waktu operasional jalan, pemilihan rute yang dipilih pun menjadi pertimbangan penting karena panjangnya rute berpengaruh terhadap konsumsi bahan bakar kendaraan. Untuk beberapa pelaku usaha yang memiliki produk yang diharuskan menggunakan kontainer pendingin untuk pengiriman seperti (daging, es krim, dll) konsumsi bahan bakar tidak hanya untuk kendaraan, tetapi kontainer pendingin juga memiliki konsumsi bahan bakar yang berbeda dengan konsumsi bahan bakar kendaraan. Oleh sebab itu, melalui penelitian ini diharapkan mampu membantu para *decision maker* dalam mengambil keputusan terkait optimasi rute kendaraan.

Model matematis yang dikembangkan mempertimbangkan batasan-batasan yakni waktu operasional yang hendak dilalui dan batasan kapasitas kendaraan. *Output* yang yakni total biaya transportasi serta rute optimal yang akan dilalui kendaraan. Solusi optimal yang akan diberikan diharapkan akan membantu para pelaku usaha untuk mengurangi total biaya transportasi, meminimalisir waktu tempuh pendistribusian produk ke setiap pelanggan serta meminimalisir konsumsi bahan bakar kendaraan dan kontainer pendingin.

### **Tahapan Penelitian**

Adapun tahapan yang akan dilakukan mulai dari tahap studi pustaka sampai dengan penarikan kesimpulan akan diuraikan secara rinci pada beberapa sub-subab di bawah ini.

#### **a. Tahap Studi Pustaka**

Tahap ini merupakan tahap pertama untuk memahami konsep VRP dan sejenisnya. Berbagai literatur dicari baik berupa buku maupun artikel-artikel penelitian terdahulu yang dimuat beberapa jurnal internasional. Artikel – artikel penelitian terdahulu yang dijadikan sumber referensi berada dalam rentang tahun 2015 – 2022. Selain itu, studi pustaka dilakukan untuk mencari tahu model yang akan digunakan untuk menyelesaikan VRP yaitu model mixed integer linear programming.

#### **b. Tahap Identifikasi dan Analisis Masalah**

Proses identifikasi masalah kali ini dilakukan dengan cara mencari sumber berita yang kredibel serta isu-isu yang relevan terhadap topik penentuan rute kendaraan dengan aspek tingkat konsumsi bahan bakar kendaraan dan kontainer pendingin. Sementara itu, analisis masalah dilakukan untuk memahami situasi masalah yang terjadi serta mendefinisikannya.

#### **c. Tahap Identifikasi Aspek Sistem**

Permasalahan kali ini akan dipandang sebagai suatu sistem yang mana terdapat aspek *input*, proses, serta *output*. Tahap ini mengobservasi serta mengkolaborasi aspek mana saja yang mampu mempengaruhi penelitian yang akan dibahas. Lebih lanjut lagi, penggambaran proses transformasi sistem dimulai dari *input* menjadi

*output* menggunakan *influence diagram*. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan pemahaman secara konseptual tentang pengaruh aspek *input* terhadap *output* sistem.

d. Tahap Pengembangan Model

Tahap kali ini terdiri atas 2 tahap yakni pengembangan model matematis dan verifikasi model matematis. Proses verifikasi ini dilakukan dengan menggunakan laptop (Asus VivoBook Max X441M dengan Intel Celeron N4000 CPU 2.40 GHz, 4 GB) dan ditulis dengan menggunakan bahasa pemrograman AMPL (*A Mathematical Programming Language*) dan diselesaikan dengan menggunakan solver gurobi versi 9.5.1. untuk mendukung proses verifikasi model matematis diperlukan contoh numerik. Berdasarkan batasan penelitian dari subab sebelumnya. Contoh numerik yang akan digunakan merupakan data dari penelitian sebelumnya.

e. Tahap Implementasi Model Terhadap Beberapa Contoh Numerik

Setelah terbukti bahwa model matematis yang dikembangkan mampu berjalan dengan baik serta mera solusi yang optimal, selanjutnya mengimplementasikan model dengan contoh numerik lainnya. Selain itu data artifisial berupa permintaan dari setiap pelanggan dibangkitkan secara random. Data ini dibutuhkan untuk implementasi model matematis. Adapun proses implementasi model dengan menggunakan contoh numerik di atas masih menggunakan bahasa pemrograman AMPL dan diselesaikan dengan menggunakan *solver* Gurobi versi 9.5.1.

f. Tahap Analisis

Pada tahap ini akan menganalisis hasil dari implementasi model matematis terhadap contoh numerik yang telah dilakukan.

g. Tahap Kesimpulan dan Hasil

Di tahap ini hasil analisis digunakan sebagai penarik kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan. Kesimpulan ini dibuat berdasarkan analisis yang dilakukan sebelumnya.

## HASIL & PEMBAHASAN

### Data Penelitian

Data – data yang dibutuhkan yakni data lokasi tiap *node*, data permintaan tiap *node*, serta data *time windows* untuk masing – masing *arc* yang akan digunakan.

#### Gambar 1. Data Set Solomon

CUST NO.	XCOORD.	YCOORD.	DEMAND	READY TIME	DUE DATE	SERVICE TIME
1	35.00	35.00	0.00	0.00	230.00	0.00
2	41.00	49.00	10.00	161.00	171.00	10.00
3	35.00	17.00	7.00	50.00	60.00	10.00
4	55.00	45.00	13.00	116.00	126.00	10.00
5	55.00	20.00	19.00	149.00	159.00	10.00
6	15.00	30.00	26.00	34.00	44.00	10.00
7	25.00	30.00	3.00	99.00	109.00	10.00
8	20.00	50.00	5.00	81.00	91.00	10.00
9	10.00	43.00	9.00	95.00	105.00	10.00
10	55.00	60.00	16.00	97.00	107.00	10.00
11	30.00	60.00	16.00	124.00	134.00	10.00
12	20.00	65.00	12.00	67.00	77.00	10.00
13	50.00	35.00	19.00	63.00	73.00	10.00
14	30.00	25.00	23.00	159.00	169.00	10.00
15	15.00	10.00	20.00	32.00	42.00	10.00
16	30.00	5.00	8.00	61.00	71.00	10.00
17	10.00	20.00	19.00	75.00	85.00	10.00
18	5.00	30.00	2.00	157.00	167.00	10.00
19	20.00	40.00	12.00	87.00	97.00	10.00
20	15.00	60.00	17.00	76.00	86.00	10.00
21	45.00	65.00	9.00	126.00	136.00	10.00
22	45.00	20.00	11.00	62.00	72.00	10.00
23	45.00	10.00	18.00	97.00	107.00	10.00
24	55.00	5.00	29.00	68.00	78.00	10.00
25	65.00	35.00	3.00	153.00	163.00	10.00

Gambar 1 menunjukkan sebagian data yang akan digunakan pada pengujian model matematis yang akan dikembangkan. Dari data tersebut terdapat beberapa keterangan sebagai berikut:

- a. CUST No. : No. Indeks *node*, dimana *node* 0 adalah depot
- b. XCOORD : Letak koordinat *node* sumbu X
- c. YCOORD : Letak koordinat *node* sumbu Y
- d. DEMAND : Jumlah permintaan dari tiap *node*
- e. READY TIME : Waktu dibukanya tiap *node* baik *customer*
- f. DUE DATE TIME: Waktu ditutupnya tiap *node* baik *customer*
- g. SERVICE TIME : Lama waktu pelayanan pada setiap melakukan pelayanan disetiap *node customer*

**Hasil Komputerisasi**

Pada subbab ini akan disajikan hasil dari penyelesaian contoh numerik dari penelitian Solomon (1987). Contoh numerik yang diselesaikan dengan menggunakan *solver Gurobi 9.5.1* yang ditulis melalui bahasa pemrograman AMPL. Namun sebelumnya verifikasi dilakukan terhadap salah satu contoh numerik pada penelitian Solomon (1987) agar memastikan bahwa hasil yang diperoleh dari program AMPL tidak melanggar batas yang telah ditentukan. Adapun contoh numerik penelitian Solomon (1987) yang dijadikan bahan verifikasi yaitu data R101 25. Hasil pengolahan data R101 25 dengan menggunakan AMPL ditunjukkan dari mulai rute perjalanan yang dipilih serta jarak tempuh masing masing kendaraan melalui tabel dibawah.

**Tabel 1.** Rute Kendaraan Serta Jarak pada R101 25

Kendaraan	Rute	Jarak (Km)
1	0-2-21-3-24-0	99.5082
2	0-5-16-6-0	61.0039

3	0-7-8-17-0	77.762
4	0-11-19-10-0	81.10717
5	0-12-9-20-1-0	83.3993
6	0-14-15-13-0	83.3993
7	0-18-0	31.6228
8	0-23-22-4-25-0	104.9189
	Total	622.722

Tabel 4.4 telah telah memaparkan jumlah kendaraan, rute perjalanan yang di tempuh masing – masing kendaraan. Adapun jumlah kendaraan yang digunakan yakni sebanyak 8 unit dengan jarak total yang ditempuh adalah **622.722 Kilometer**. Selanjutnya kedatangan kendaraan pada masing masing *customer* akan disajikan pada tabel berikut ini.

**Tabel 2.** Waktu kedatangan Kendaraan pada R101 25

Node	Waktu Kedatangan (Menit)
1	171
2	50
3	126
4	159
5	34
6	106.689
7	81
8	105
9	98.6905
10	134
11	67
12	63
13	169
14	32
15	61
16	75
17	167
18	87
19	84.0711
20	136
21	70.4403
22	107
23	68
24	163
25	182

Tabel tersebut menunjukkan kedatangan kendaraan dari masing – masing *customer* yang menjadi acuan untuk melakukan pengujian terhadap model. Pemeriksaan masing – masing rute terhadap batasan - batasan yang telah ditentukan di tunjukan sebagai berikut.

**Rute 1**

Rute 1 diawali dengan perjalanan dari depot 0 menuju ke *customer* 2, kemudian dilanjutkan ke *customer* 21, 3, 24 dan kembali lagi menuju depot 0. Adapun penyesuaian antara waktu waktu keberangkatan dengan waktu kedatangan kendaraan dengan batasan *Open Time Windows* akan ditunjukkan pada tabel berikut. Tabel 4. 3 Verifikasi Open Time Windows

Dari	Ke	Travel time (menit)	Arrival Time	Open Time	Close Time	Cek Open	Cek Close
0	2	18	50	50	60	OK	OK
2	21	10.4403	70.4403	62	72	OK	OK
21	3	26.9258	126	116	126	OK	OK
3	24	14.1421	163	153	163	OK	OK
24	0	203	-	-	-	OK	OK

Dijelaskan sebagai berikut :

Dari : *Node* asal

Ke : *Node* tujuan

*Travel Time* : Waktu perjalanan dari *node* asal ke *node* tujuan (menit)

*Arrival Time* : Waktu kedatangan kendaraan (menit)

*Open Time* : Waktu dimulai nya *customer* melayani (menit)

*Close Time* : Waktu dimana *customer* berhenti melayani (menit )

*Cek Open* : Keterangan apakah waktu kedatangan kendaraan melanggar ketentuan dari *Open Time Windows*

*Cek Close* : Keterangan apakah waktu kedatangan kendaraan melanggar ketentuan dari *Close Time Windows*

Pada kolom *Cek Open* memiliki fungsi logika apabila waktu kedatangan kendaraan kurang dari waktu dibukanya pelayanan *customer* maka kolom tersebut akan menampilkan No, Namun apabila sebaliknya maka hasil yang akan muncul yakni OK. Sementara untuk kolom *Cek Close*, apabila kedatangan kendaraan melebihi batas dari waktu pelayanan maka hasil yang akan ditampilkan pada kolom tersebut adalah NO dan begitu sebaliknya jika sesuai dengan batasan yang telah di tentukan maka hasil nya akan OK.

Pada Tabel 3 kolom *Cek Open* dan *Cek Close* berisi hasil OK yang berarti rute 1 tidak melanggar batasan yang telah ditentukan. Total waktu yang di tempuh kendaraan adalah **99.51 menit** . Berikutnya yakni memastikan muatan kendaraan tidak melebihi dari kapasitas kendaraan yang ditampilkan pada tabel berikut ini.

**Tabel 4.** Verifikasi muatan kendaraan rute 1 R101 25

Demand Ke	Akumulasi Demand	Capacity	Cek Muatan
7	7	200	OK
11	18	200	OK
13	31	200	OK

3	34	200	OK
34	0	200	OK

Kolom pada tabel diatas memiliki keterangan sebagai berikut :

- Demand* ke : Jumlah permintaan pada *node* tujuan
- Akumulasi *demand* : Jumlah permintaan kumulatif atau total muatan kendaraan
- Capacity* : Kapasitas angkut kendaraan (dalam satuan berat)
- Cek Muatan : Keterangan muatan

Pada kolom Cek Muatan menunjukkan keterangan “OK” yang dimana berarti muataan yang diangkut tidak melebihi kapasitas angkut kendaraan. Namun apabila kondisi sebaliknya, maka kolom Cek Muatan akan berisi “NO” yang berarti muatan yag diangkut melebihi kapasitas muatan kendaraan yang diizinkan. Dengan hasil yang di tampilkan pada tabel diatas maka rute 1 tidak melanggar batasan kapasitas yang ditentukan. Selanjutnya adalah tabel konsumsi bahan bakar dan juga energi yang di gunakan untuk rute 1.

**Tabel 5.** Konsumsi Bahan bakar dan Enegi rute 1 R101 25

Fuel Cost	Variable Cost	Enegy
10000	15012	2.35
10000	8634.128	3.09801
10000	21971.45	4.147527
10000	11356.11	1.221403
10000	24000	1

Kolom pada tabel diatas memiliki keterangan sebagai berikut:

- Fuel Cost* : Biaya bahan bakar (Rp/Liter)
- Variable Cost* : Biaya bahan bakar kendaraan yang harus dikeluarkan dipengaruhi oleh muatan yang diangkut (Rp)
- Energy* : Besaran nilai konsumsi bahan bakar *container* pendingin pendingin dengan satuan liter per jam (Liter/jam)

Kolom *Fuel Cost* pada tabel diatas menunjukkan harga bahan bakar perliter. Sedangkan untuk *Variable Cost* menunjukkan total biaya bahan bakar yang dikeluarkan ketika kendara tersebut berangkat dari *node* depot ke destinasi yang dituju dan untuk kolom *Energy* menunjukkan jumlah bahan bakar yang harus dikonsumsi *container* pendingin pada saat dia melakukan perjalanan dan melakukan pelayanan pada *customer*. Dilihat pada hasil Tabel 5 total biaya untuk bahan bakar yang dikeluarkan untuk kendaraan tersebut dari mulai berangkat dari *node* depot hingga menuju kepada tujuan *customer* terakhir ialah **Rp. 80.973,69.-** dan total konsumsi energi yang harus dikeluarkan *container* pendingin adalah **11.82 Liter.**

**Rute 2**

Pada rute 2, kendaraan berjalan dari depot 0 menuju ke node 5, kemudian dilanjut 16, 6 dan kembali ke depot 0

**Tabel 6.** Verifikasi Open Time Windows

Dari	Ke	Travel time (menit)	Arrival Time	Open Time	Close Time	Cek Open	Cek Close
0	5	20.6155	34	34	44	OK	OK
5	16	11.1803	75	75	85	OK	OK
16	6	18.0278	106.689	99	109	OK	OK
6	0	11.1803	127.8693				

Sama halnya rute 1 dan rute 2 tidak terindikasi melanggar batasan yang telah ditentukan sebelumnya. Lain halnya dengan rute 1, rute 2 kali ini menempuh waktu selama 61menit. Selanjutnya yaitu pemeriksaan pada muatan kendaraan yang akan ditunjukkan pada Tabel 7.

**Tabel 7.** Verifikasi muatan kendaraan rute 1 R101 25

Demand Ke	Akumulasi Demand	Capacity	Cek Muatan
26	26	200	OK
19	45	200	OK
3	48	200	OK
48	0	200	OK

Pada Tabel 8 menunjukkan tidak ada muatan kendaraan yang melebihi kapasitas muatan yang diizinkan dengan kata lain rute 2 tidak melanggar aturan yang telah ditentukan. Selanjutnya adalah Tabel konsumsi bahan bakar dan energi untuk rute 2.

**Tabel 8.** Konsumsi Bahan bakar dan Energi rute 1 R101 25

Fuel Cost	Variable Cost	Energy
10000	17481.94	7.187183
10000	9190.207	5.122677
10000	14476.32	1.350927
10000	8944.24	0.372677

Pada tabel 8 Total dari biaya konsumsi bahan bakar pada rute 2 yakni Rp. 50.092,71.- dan total konsumsi energi container pendingin pada rute sebesar 14.03 liter.

**Rute 3**

Pada rute 3, kendaraan dari depot 0 menuju ke node 7 selanjutnya ke 8, 17 dan kembali lagi menuju ke depot 0.

**Tabel 9.** Verifikasi Open Time Windows

Dari	Ke	Travel time (menit)	Arrival Time	Open Time	Close Time	Cek Open	Cek Close
0	7	21.2132	81	81	91	OK	OK

7	8	12.2066	105	95	105	OK	OK
8	17	13.9284	167	157	167	OK	OK
17	0	30.4138	207.4138				

Rute 3 tidak terindikasi melanggar batasan yang telah ditentukan dengan waktu tempuh **77.76 menit**. Selanjutnya adalah pemeriksaan pada muatan kendaraan yang akan disajikan pada Tabel 10.

**Tabel 10.** Verifikasi muatan kendaraan rute 1 R101 25

Demand Ke	Akumulasi Demand	Capacity	Cek Muatan
26	26	200	OK
19	45	200	OK
3	48	200	OK
48	0	200	OK

Pada Tabel 10 rute 3 tidak terindikasi melanggar batasan dengan total muatan 16 dan kapasitas muatan kendaraan yang diizinkan adalah 200. Selanjutnya adalah tabel total biaya konsumsi bahan bakar dan energi yang akan di sajikan pada tabel berikut.

**Tabel 11.** Konsumsi Bahan bakar dan Energi rute 1 R101 25

Fuel Cost	Variable Cost	Energy
10000	17481.94	7.187183
10000	9190.207	5.122677
10000	14476.32	1.350927
10000	8944.24	0.372677

Tabel diatas menunjukkan total biaya bahan bakar yang perlu dikeluarkan pada rute 3 yakni RP. 62.711,14.- dan total energinya adalah 6.59 liter.

**Route 4**

Rute 4 berangkat dari depot 0 menuju ke node 11 selanjutnya menuju ke 19, 10 dan berakhir kembali ke depot 0. Berikut tabel verifikasi rute 4 yang akan disajikan dibawah ini.

**Tabel 12.** Verifikasi Open Time Windows

Dari	Ke	Travel time (menit)	Arrival Time	Open Time	Close Time	Cek Open	Cek Close
0	11	33.541	67	67	77	OK	OK
11	19	7.07107	84.0711	76	86	OK	OK
19	10	15	134	124	134	OK	OK
10	0	25.4951	169.4951				

Rute 4 tidak terindikasi melakukan pelanggaran batasan yang telah ditentukan dengan total waktu yang ditempuh ialah 81.11 menit. Tahap selanjutnya

adalah melakukan verifikasi terhadap muatan yang dibawa oleh kendaraan pada rute 4, yang akan disajikan pada tabel dibawah.

**Tabel 13.** Verifikasi muatan kendaraan rute 1 R101 25

Demand Ke	Akumulasi Demand	Capacity	Cek Muatan
12	12	200	OK
17	29	200	OK
16	45	200	OK
0	45	200	OK

Terlihat dari hasil tabel diatas rute 4 membawa total muatan 45 yang dimana total muatan tersebut tidak melebihi muatan yang diizinkan. Tabel berikutnya yang akan disajikan dibawah ialah tabel total biaya bahan bakar dan total energi yang digunakan pada rute 4.

**Tabel 14.** Konsumsi Bahan bakar dan Enegi rute 1 R101 25

Fuel Cost	Variable Cost	Enegy
10000	28342.15	4.118033
10000	5890.201	4.485702
10000	12240	4.5
10000	20396.08	0.849837

Rute 4 memiliki total biaya bahan bakar sebesar Rp. 66.868,43.- dan total energi yang dikonsumsi container pendingin ialah 13.95 Liter.

**Rute 5**

Rute 5 berangkat dari depot dan menuju ke customer 12 dan selanjutnya menuju ke 9, 20, 1 lalu kembali lagi ke depot 0. Hasil verifikasi akan disajikan dalam tabel di bawah.

**Tabel 15.** Verifikasi Open Time Windows

Dari	Ke	Travel time (menit)	Arrival Time	Open Time	Close Time	Cek Open	Cek Close
0	12	15	63	63	73	OK	OK
12	9	25.4951	98.6905	97	107	OK	OK
9	20	11.1803	136	126	136	OK	OK
20	1	16.4924	171	161	171	OK	OK
1	0	15.2315	196.2315				

Dari hasil tabel diatas rute 5 tidak terindikasi melakukan pelanggaran terhadap batasan yang telah ditentukan dengan total waktu yang telah ditempuh selama 83.4 menit. Selanjut nya adalah proses verifikasi muatan kendaraan yang akan disajikan pada tabel berikutnya.

**Tabel 16.** Verifikasi muatan kendaraan rute 1 R101 25

Demand Ke	Akumulasi Demand	Capacity	Cek Muatan
19	19	200	OK
16	35	200	OK
9	44	200	OK
10	54	200	OK
0	54	200	OK

Total muatan yang diangkut pada rute 5 tidak melebihi dari aturan muatan yang diizinkan, dengan begitu rute 5 tidak melanggar batasan yang telah ditentukan. Dengan total muatan yang dibawa mulai dari depot ialah 54. Selanjutnya adalah tabel yang akan menyajikan total biaya bahan bakar dan energi yang dikonsumsi kendaraan pada rute 5.

**Tabel 17.** Konsumsi Bahan bakar dan Energi rute 1 R101 25

Fuel Cost	Variable Cost	Energy
10000	12810	5.25
10000	21288.41	4.849837
10000	9156.666	2.622677
10000	13358.84	3.049747
10000	12185.2	0.507717

Total biaya konsumsi bahan bakar pada rute 5 adalah Rp. 68.799,12.- dengan jumlah energi yang dihabiskan pada container pendingin di rute 5 sebanyak 16.28 liter.

**Rute 6**

Rute 6 berangkat dari mulai depot 0 menuju ke customer 14 dan dilanjutkan menuju ke customer 15, 13 selanjutnya kembali ke depot 0. Verifikasi dilakukan pada rute 6 dengan hasil yang akan disajikan pada tabel dibawah.

**Tabel 18.** Verifikasi Open Time Windows

Dari	Ke	Travel time (menit)	Arrival Time	Open Time	Close Time	Cek Open	Cek Close
0	14	32.0156	32	32	42	OK	OK
14	15	15.8114	61	61	71	OK	OK
15	13	20	169	159	169	OK	OK
13	0	11.1803	190.1803				

Sama halnya dengan rute sebelumnya, rute 6 tidak terindikasi melanggar batasan Open Time Windows maupun Close Time Windows. Rute 6 memiliki total waktu tempuh 79 menit. Selanjutnya hasil verifikasi muatan kendaraan akan disajikan pada tabel berikutnya.

**Tabel 19.** Verifikasi muatan kendaraan rute 1 R101 25

Demand Ke	Akumulasi Demand	Capacity	Cek Muatan
20	20	200	OK
8	28	200	OK
23	51	200	OK
0	51	200	OK

Muatan pada rute 6 berstatus “OK” yang artinya total muatan sebesar 51 yang dibawa pada rute 6 ini tidak melebihi batas muatan yang telah diizinkan yakni sebesar 200. Tabel selanjutnya adalah tabel konsumsi bahan bakar dan energi pada rute 6 yang akan disajikan di bawah ini.

**Tabel 20.** Konsumsi Bahan bakar dan Energi rute 1 R101 25

Fuel Cost	Variable Cost	Enegy
10000	27245.28	6.067187
10000	13139.27	2.527047
10000	16460	6.416667
10000	8944.24	0.372677

Total biaya bahan bakar yang di konsumsi pada rute 6 sebesar Rp. 65.788,79.- dengan total energi yang dihabiskan untuk rute 6 sebesar 15.38 Liter.

**Route 7**

Route 7 berangkat dari depot 0 menuju ke customer 18 dan kembali ke depot 0.

**Tabel 21.** Verifikasi Open Time Windows

Dari	Ke	Travel time (menit)	Arrival Time	Open Time	Close Time	Cek Open	Cek Close
0	18	15.8114	87	87	97	OK	OK
18	0	15.8114	112.8114				

Route 7 tidak melanggar batasan yang telah ditentukan sebelumnya dengan total waktu tempuh pada rute 7 adalah 31.62 menit. Selanjutnya hasil verifikasi total muatan akan ditampilkan pada tabel dibawah.

**Tabel 22.** Verifikasi muatan kendaraan rute 1 R101 25

Demand Ke	Akumulasi Demand	Capacity	Cek Muatan
12	12	200	OK
0	12	200	OK

Total muatan pada rute 7 sebesar 12 tidak melanggar batasan muatan yang telah diizinkan sebelumnya dengan status muatan ialah “OK”. Selanjutnya ialah tabel besaran konsumsi bahan bakar dan energi pada rute 7.

**Tabel 23.** Konsumsi Bahan bakar dan Energi rute 1 R101 25

Fuel Cost	Variable Cost	Enegy
10000	12838.86	3.527047
10000	12649.12	0.527047

Total biaya bahan bakar yang di konsumsi pada rute 7 Rp. 25.487,98.- dan energi yang telah dihabiskan untuk rute 7 sebesar 4.05 Liter.

**Rute 8**

Rute 8 mulai berangkat dari depot 0 menuju ke customer 23 dan selanjutnya menuju ke 22, 4, 25 dan kembali lagi ke depot 0. Hasil verifikasi Time Windows akan disajikan pada tabel di bawah ini.

**Tabel 24.** Verifikasi Open Time Windows

Dari	Ke	Travel time (menit)	Arrival Time	Open Time	Close Time	Cek Open	Cek Close
0	23	36.0555	68	68	78	OK	OK
23	22	11.1803	107	97	107	OK	OK
22	4	14.1421	159	149	159	OK	OK
4	25	10	182	172	182	OK	OK
25	0	33.541	225.541				

Dari hasil yang ditampilkan pada tabel 4.27 rute 8 tidak terindikasi melanggar batasan yang telah ditentukan dengan total waktu tempuh 104.92 menit. Selanjutnya tahap verifikasi muatan pada rute 8 akan ditampilkan pada tabel berikutnya.

**Tabel 25.** Verifikasi muatan kendaraan rute 1 R101 25

Demand Ke	Akumulasi Demand	Capacity	Cek Muatan
29	29	200	OK
18	47	200	OK
19	66	200	OK
6	72	200	OK
0	72	200	OK

Total muatan pada rute 8 berstatus “OK” yang berarti rute 8 tidak terindikasi melakukan pelanggaran terhadap batasan muatan yang diizinkan sebelumnya. Dengan jumlah muatan yang dibawa oleh rute 8 ialah 72. Berikutnya adalah tabel yang akan menampilkan seberapa besar biaya bahan bakar pada rute 8.

**Tabel 26.** Konsumsi Bahan bakar dan Enegi rute 1 R101 25

Fuel Cost	Variable Cost	Enegy
10000	31440.4	8.45185
10000	9424.993	4.872677
10000	11667.23	5.221403

Fuel Cost	Variable Cost	Enegy
10000	8060	1.833333
10000	26832.8	1.118033

Pada tabel 4.29 menunjukkan jumlah biaya bahan bakar kendaraan dan konsumsi energi yang dihabiskan pada rute 8. Total biaya bahan bakar yang dikonsumsi pada rute 8 adalah Rp. 87.425,42.- dan total energi yang dihabiskan untuk container pendingin pada rute 8 ialah 21.5 Liter.

## KESIMPULAN

Pada Tugas Akhir ini, pembahasan tentang perancangan model matematis yang bertujuan untuk permasalahan distribusi *cold chain* produk dengan mempertimbangkan waktu operasional. Dari beberapa tahap yang telah dilalui, terdapat beberapa poin penting yang dapat diambil yaitu hasil implementasi perancangan model terhadap instance R101 25 Solomon menunjukkan bahwa model mampu memberikan solusi yang optimal. Dari hasil implementasi tersebut, total muatan memberi pengaruh terhadap konsumsi bahan bakar kendaraan dan juga berpengaruh terhadap total biaya transportasi. Selain daripada itu, konsumsi energi pada *container* pendingin juga memiliki pengaruh terhadap total biaya transportasi yang di pengaruhi oleh lamanya proses transportasi dan pelayanan *customer*. *Time Windows* sebagai salah satu indikator model untuk memilih sebuah rute distribusi *cold chain* produk mampu menghasilkan rute yang optimal.

## REFERENCES

- Ahn, K., & Rakha, H. (2008). The effects of route choice decisions on vehicle energy consumption and emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 13(3), 151–167. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2008.01.005>
- Ardyannas, D. E., Putri, R. A., & Rahayu, M. J. (2022). Moda Transportasi Dan Faktor Pemilihan Moda Dalam Implementasi Kebijakan Sistem Zonasi: Studi Kasus Sma Negeri Di Kecamatan Boyolali. *Desa-Kota*, 4(1), 67. <https://doi.org/10.20961/desa-kota.v4i1.53668.67-77>
- Çetinkaya, C., Karaoglan, I., and Gökçen, H. (2013). Two-stage Vehicle Routing Problem with Arc Time Windows: A Mixed Integer Programming Formulation and a Heuristic Approach. *European Journal of Operational Research*, 3, 539–550.
- Fajar, M. N., Fikri, A., Arkan, M. T., & Sahara, S. (2023). Lemahnya Mutu Kualitas Infrastruktur Logistik di Indonesia Berdampak pada Perekonomian Nasional. *Cross-Border*, 6(1), 389–399.
- Hadhiatma, A., & Purbo, A. (2017). *VEHICLE ROUTING PROBLEM UNTUK DISTRIBUSI BARANG MENGGUNAKAN ALGORITMA SEMUT*. 1996, 139–145.
- Resnia, R. (2012). Fluktuasi Harga Bahan Pangan Pokok (Bapok) Dan Daya Beli Kelompok Masyarakat Berpendapatan Rendah. *Buletin Ilmiah Litbang Perdagangan*, 6(2), 169–188.

<http://download.garuda.ristekdikti.go.id/article.php?article=744293&val=11717&title=FLUKTUASI HARGA BAHAN PANGAN POKOK BAPOK DAN DAYA BELI KELOMPOK MASYARAKAT BERPENDAPATAN RENDAH>

- Solomon, M. M. (1987). Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems With Time Window Constraints. *Operations Research*, 35(2), 254–265. <https://doi.org/10.1287/opre.35.2.254>
- Suharyanto. (2017). Peranan Biaya Logistik Dalam Estimasi Biaya Produksi Dan Peningkatan Laba Perusahaan. *Tedc*, 11(1), 77–84.
- Toth & Vigo. (2002). The Vehicle Routing Problem. *Society and Mathematics*.
- Yulistia, A. (2021). *Analisis Risiko Pasokan Daging Sapi Dharma Jaya Dalam Kondisi Pandemi Covid-19*. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Zainuddin, A., Asmarantaka, R. W., & Harianto, H. (2015). Integration of Beef Prices in the Domestic and International Market. *Buletin Ilmiah Litbang Perdagangan*, 9(2), 109–128.