



UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA

**PENGEMBANGAN MODEL RUTE KENDARAAN
HETEROGEN DENGAN JENDELA WAKTU DAN *MULTI
TRIP* UNTUK PENGIRIMAN DAGING AYAM SEGAR**

TESIS

Heri Asbowo

NIM. 7787230034

MAGISTER TEKNIK INDUSTRI DAN MANAJEMEN

FAKULTAS TEKNIK

SERANG

2025



UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA

**PENGEMBANGAN MODEL RUTE KENDARAAN
HETEROGEN DENGAN JENDELA WAKTU DAN *MULTI*
TRIP UNTUK PENGIRIMAN DAGING AYAM SEGAR**

TESIS

Heri Asbowo

NIM. 7787230034

MAGISTER TEKNIK INDUSTRI DAN MANAJEMEN

FAKULTAS TEKNIK

SERANG

2025

HALAMAN PENGESAHAN

Diajukan oleh

Nama : Heri Asbowo
NIM : 7787230034
Program Studi : Magister Teknik Industri dan Manajemen
Judul Tesis : Pengembangan Model Rute Kendaraan Heterogen
Dengan Jendela Waktu Dan Multi Trip Untuk
Pengiriman Daging Ayam Segar

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Magister Teknik Industri dan Manajemen, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

Ditetapkan di : Cilegon, 26 Juni 2025

Pembimbing

Utama : Dr. Ir. Sirajuddin, ST., MT.

Pembimbing

Pendamping : Dr. Muhammad Adha Ilhami, ST., MT.

Penguji 1 : Dr. Yayan Hary Yadi, ST., MT.

Penguji 2 : Dr. Ir. Maria Ulfah, MT.

Penguji 3 : Dr. Ratna Ekawati, ST., MT.

Mengetahui,

Kordinator Program Studi Magister Teknik Industri dan Manajemen



Dr. Shanti Kirana Anggraeni, SP., MT.

NIP. 197401292003122001

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa:

1. Tesis yang berjudul “Pengembangan Model Rute Kendaraan Heterogen Dengan Jendela Waktu Dan *Multi Trip* Untuk Pengiriman Daging Ayam Segar” adalah karya saya sendiri dan tidak pernah diajukan orang lain untuk memperoleh gelar akademik serta tidak terdapat karya atau tulisan orang lain kecuali yang tertulis dengan acuan yang disebutkan sumbernya dalam laporan Tesis.
2. Apabila ternyata di dalam laporan ini terdapat bukti unsur-unsur plagiasi, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan dan diproses sesuai peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat secara sungguh-sungguh untuk dipergunakan sebagaimana mestinya

Cilegon, 26 Juni 2025



Heri Asbowo

KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Assalamualaikum Wr. Wb.

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tesis ini. Laporan tesis ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan mencapai derajat Magister Program Studi Teknik Industri dan Manajemen di Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Laporan tesis yang penulis ajukan ini berjudul **“Pengembangan Model Rute Kendaraan Heterogen Dengan Jendela Waktu Dan *Multi Trip* Untuk Pengiriman Daging Ayam Segar”**.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan Puji dan syukur kepada Allah SWT karena telah diberi kemudahan dalam penulisan tesis ini, penulis ucapkan terima kasih kepada istri dan kedua anak tersayang atas dukungannya selama penulis menempuh pendidikan pasca sarjana, tak lupa penulis ucapkan terima kasih kepada Bapak Dr. Ir. Sirajuddin, ST., MT., dan Bapak Dr. Muhammad Adha Ilhami, ST., MT., selaku dosen pembimbing yang telah banyak mengarahkan, membimbing, dan memberikan masukan serta inspirasi bagi penulis sehingga dapat menyelesaikan tesis ini dengan baik walaupun masih terdapat kekurangan dan terakhir penulis mengucapkan berbagai pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu atas bantuannya dalam penyusunan laporan tesis ini.

Semoga laporan tesis ini dapat memperkaya ilmu pengetahuan tentang teori penjadwalan dalam upaya mencerdaskan kehidupan bangsa serta dapat memberikan manfaat bagi penulis khususnya dan pembaca umumnya. Aamiin.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Heri Asbowo

Abstrak

Pengembangan Model Rute Kendaraan Heterogen Dengan Jendela Waktu Dan *Multi Trip* Untuk Pengiriman Daging Ayam Segar

Heri Asbowo

PT XYZ, produsen daging ayam, mengalami tingkat retur sebesar 3% akibat keterlambatan distribusi yang bersumber dari proses penentuan rute secara manual dan tantangan operasional seperti batasan waktu, jumlah dan kapasitas armada yang beragam, dalam satu hari ada dua waktu pengiriman namun diutamakan pengiriman pagi. Sehingga permasalahan yang ada di PT. XYZ akan diselesaikan dengan dimodelkan sebagai *Heterogeneous Vehicle Routing Problem with Time windows and Multi-Trips* (HVRPTWMT) dengan fungsi tujuan meminimalkan total jarak pengiriman produk ayam segar PT XYZ. Model menghasilkan solusi optimal berupa total jarak 774,45 km yang terbagi dalam 6 rute yaitu Rute 1 Area Mojokerto - Bojonegoro - Jombang, Rute 2 Area Mojokerto, Rute 3 Mojokerto - Pasuruan - Surabaya - Bojonegoro, Rute 4 Mojokerto - Malang – Blitar, Rute 5 Mojokerto - Malang, dan Rute 6 Mojokerto - Malang. Hasil uji sensitivitas menunjukkan bahwa model mampu menyesuaikan diri dengan perubahan parameter penting seperti kapasitas kendaraan, permintaan pelanggan, dan batas waktu operasional. Meskipun jarak yang dihasilkan sedikit lebih panjang dibanding sistem eksisting (774,45 km dibandingkan 694,39 km), namun model ini sepenuhnya mengikuti ketentuan operasional perusahaan, berbeda dengan sistem eksisting yang ditemukan melanggar alokasi kendaraan. Berdasarkan hal tersebut, model yang dikembangkan dinilai menghasilkan solusi optimal yang sesuai dengan regulasi perusahaan.

Kata kunci: Daging Ayam Segar, Metode Analitik, Model Matematika, *Multi Integer Linear Programming*, *Vehicle Routing Problem*.

Abstract

Development of *Heterogeneous Vehicle Route Model with Time window and Multi-Trip* for Fresh Chicken Meat Delivery

Heri Asbowo

PT XYZ, a chicken meat producer, experienced a return rate of 3% due to distribution delays stemming from manual routing and complex operational challenges such as time constraints, diverse fleets, and multiple deliveries. This problem is modeled as the Heterogeneous Vehicle Routing Problem with Time windows and Multi-Trips (HVRPTWMT). The purpose of this study is to design an HVRPTWMT model that is able to minimize the total delivery distance of PT XYZ's fresh products, by paying attention to the characteristics of each vehicle and the urgency of morning delivery. A quantitative approach was used in this study with the help of the solver LINGO version 21.0.26, based on actual data as of April 10, 2025. The model produces an optimal solution in the form of a total distance of 774.45 km divided into 6 efficient routes. The results of the sensitivity test showed that the model was able to adapt to changes in important parameters such as vehicle capacity, customer demand, and operational deadlines. Although the resulting range is slightly longer than the current system (774.45 km compared to 694.39 km), this model fully follows the company's operational conditions, in contrast to the existing system which was found to be in violation of vehicle allocation. Based on this, the developed model is considered to produce optimal solutions that are in accordance with company regulations.

Keywords: *Exact Method, Fresh Chicken Meat, Mathematical Models, Multi Integer Linear Programming, Vehicle Routing Problem.*

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	ii
KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH	iii
Abstrak	iv
Abstract	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian	5
1.4. Manfaat Penelitian	5
1.5. Batasan Masalah.....	5
BAB II LANDASAN TEORI	7
2.1. Landasan Teori.....	7
2.1.1. <i>Travelling Salesman Problem (TSP)</i>	7
2.1.2. <i>Vehicle Routing Problem (VRP)</i>	8
2.1.3. <i>Lingo Software</i>	12
2.2. Penelitian Terdahulu	15
2.3. Posisi Penelitian	25

2.4.	Kerangka Berpikir.....	29
BAB III METODE PENELITIAN.....		31
3.1.	Desain Penelitian.....	31
3.2.	Tempat dan Waktu Penelitian	31
3.3.	Alat Penelitian.....	32
3.4.	Tahapan Penelitian	32
3.5.	Detail Tahapan Penelitian	34
3.5.1.	Identifikasi Masalah	35
3.5.2.	Identifikasi jenis VRP	37
3.5.3.	Pencarian literatur / Study Literatur	37
3.5.4.	Pengumpulan Data	38
3.5.5.	Pembuatan Model	39
3.5.6.	Verifikasi dan Validasi Model	39
3.5.7.	Membandingkan sistem nyata.....	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		42
4.1.	Identifikasi Masalah	42
4.2.	Identifikasi jenis VRP	43
4.3.	Data Penelitian	44
4.4.	Pembuatan model	50
4.4.1.	Notasi Model.....	51
4.4.2.	Batasan dan Asumsi	51
4.4.3.	Parameter Model	53
4.4.4.	Fungsi Tujuan	54
4.4.5.	Fungsi Kendala	55

4.4.6.	Pembuatan <i>code</i> lingo	58
4.5.	Verifikasi Model	66
4.6.	Validasi Model	67
4.7.	Analisa Hasil Model.....	74
4.8.	Perbandingan model dengan sistem nyata	79
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		81
5.1.	Kesimpulan	81
5.2.	Saran.....	81
DAFTAR PUSTAKA		84
LAMPIRAN.....		89

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Penelitian sebelumnya.....	20
Tabel 2 Posisi Penelitian	25
Tabel 3 Data pelanggan PT.XYZ.....	45
Tabel 4 Data pengiriman PT. XYZ	48
Tabel 5 Data permintaan pelanggan PT. XYZ.....	48
Tabel 6 Data Armada PT. XYZ	50
Tabel 7 Parameter Pelanggan.....	53
Tabel 8 Parameter Kendaraan	54
Tabel 9 Uji Sensitivitas dengan mengubah jumlah, komposisi dan kapasitas kendaraan.....	68
Tabel 10 Uji Sensitivitas Model dengan mengubah jumlah permintaan	70
Tabel 11 Uji Sensitivitas Model dengan mengubah batas waktu pengiriman	71
Tabel 12 Uji Sensitivitas Model dengan mengubah <i>Time windows</i> pelanggan	73
Tabel 13 Analisa kesesuaian hasil dengan batasan	78
Tabel 14 Rekap pengiriman 10 April 2025 PT. XYZ.....	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Tampilan “ <i>About</i> ” aplikasi Lingo	14
Gambar 2 Kerangka Berpikir	29
Gambar 3 Diagram Alir Penelitian	32
Gambar 4 Detail tahapan penelitian	35
Gambar 5 Armada pengiriman PT. XYZ	44
Gambar 6 Lokasi Pelanggan PT. XYZ untuk pengiriman 10 April 2025	46
Gambar 7 Produk Karkas Segar PT. XYZ	47
Gambar 8 Seksi SETS Model	58
Gambar 9 Seksi SETS Model	59
Gambar 10 Seksi SUBMODEL Model	62
Gambar 11 Seksi CALC Model	65
Gambar 12 Tampilan <i>Solver</i> Status Model	67
Gambar 13 Hasil Status pada Lingo untuk data PT. XYZ	74
Gambar 14 Grafik rute pengiriman	75
Gambar 15 Detail rute pengiriman	75
Gambar 16 Gambar hasil model dalam peta	77

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 <i>Lingo Code</i>	89
------------------------------------	----

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Transportasi dan logistik memegang peranan krusial dalam perekonomian modern, menjadi urat nadi yang menghubungkan produsen dan konsumen. Efisiensi dalam pergerakan barang dan informasi merupakan fondasi bagi keberhasilan berbagai jenis usaha. Rangkaian aktivitas seperti pengadaan, penyimpanan, pemrosesan, hingga pendistribusian produk menjadi mata rantai yang saling terkait dan memerlukan pengelolaan yang cermat. Optimalisasi setiap tahapan, termasuk pemilihan rute pengiriman dan alokasi sumber daya transportasi, secara langsung berdampak pada harga dan kepuasan pelanggan.

Sebesar 10% sampai 15% dari harga suatu barang berasal dari biaya yang harus dikeluarkan untuk distribusi barang (Narasimha *et al.*, 2012). Proses pengiriman barang sebagai contoh daging ayam segar memiliki kendala tersendiri di antaranya usia produk yang pendek serta adanya susut produk jika proses dilakukan terlalu lama. Jika hambatan-hambatan ini tidak diperhitungkan dapat memicu ketidakpuasan pelanggan yang berpotensi merugikan citra dan kinerja perusahaan serta dapat menimbulkan masalah lain seperti retur barang.

Kasus Retur barang akibat dari keterlambatan pada proses pendistribusian ini dialami oleh PT XYZ. PT. XYZ merupakan salah satu perusahaan yang memproduksi daging ayam segar dan beku di Indonesia. Laporan retur PT. XYZ periode 2 - 19 April 2025 menunjukkan total retur akibat keterlambatan adalah sebesar 3% atau sebesar 5,9 ton dari total pengiriman sebesar 197 ton. Berdasarkan penelitian oleh Sirajuddin *et al.* (2022), kebutuhan daging ayam pada tahun 2022 hingga 2026 mengalami kenaikan yang sangat signifikan. Agar dapat memenuhi permintaan pasar yang terus meningkat dan menjaga kualitas, maka PT. XYZ berupaya menciptakan sistem pengiriman yang efisien dan terstruktur. PT. XYZ menetapkan beberapa kebijakan dan peraturan yang esensial dalam pembentukan rute.

Peraturan-peraturan ini sengaja diterapkan sebagai batasan atau kendala yang harus diperhitungkan ketika membuat sebuah rute pengiriman agar kepuasan pelanggan tetap terjaga. Adanya batasan-batasan memiliki dampak negatif yaitu menjadikan proses penentuan rute sulit karena masih dilakukan secara manual. Kebijakan pengiriman yang diterapkan oleh PT. XYZ meliputi batas *Trip* pengiriman setiap harinya yaitu hanya waktu pengiriman pagi dan waktu pengiriman siang, semua kendaraan harus kembali maksimal jam 6 sore, kendaraan pengiriman segar dan beku terpisah karena kedua produk memerlukan *range* suhu yang berbeda di mana pengiriman segar menggunakan 3 buah truk L300 dengan kapasitas 1500 kg dan 2 truk CDE dengan kapasitas 2500 kg, untuk pengiriman beku menggunakan 6 truk CDE (*Colt Diesel Engkel*) dan 1 truk CDD dengan kapasitas 6000 kg, barang harus diterima oleh pelanggan sesuai waktu penerimaan pelanggan, dan terakhir pengiriman pada pagi hari lebih diutamakan karena faktor umur produk yang pendek, agar lebih cepat tiba ke tempat pelanggan.

Proses pembuatan rute secara manual ini seyogyanya dapat diatasi dengan banyak cara, salah satu cara dengan membuat sebuah model *Vehicle Routing Problem* (VRP). Proses pembuatan rute pada PT. XYZ dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa faktor yaitu *Time windows* (jendela waktu penerimaan di tempat pelanggan), *Heterogeneous Vehicle* (keberagaman jenis dan kapasitas kendaraan), dan *Multi Trip* (jumlah trip bisa lebih dari satu untuk setiap kendaraan) serta mempertimbangkan batas waktu kembali ke depot atau gudang. Berdasarkan informasi yang telah didapat maka dapat dipastikan jenis VRP dari proses pengiriman di PT, XYZ adalah VRP dengan jendela waktu dengan kendaraan heterogen dan *Multi Trip* atau dikenal dengan *Heterogeneous Vehicle Routing Problem with Time windows and Multi-Trips* (HVRPTWMT). Penerapan VRPTW dengan kendaraan heterogen dan *Multi Trip* dapat membantu dalam minimasi jarak, minimasi biaya pengiriman, dan minimasi waktu pengiriman (Dedović & Gušavac, 2023; Ramadhani *et al.*, 2021).

. *Vehicle Routing Problem* telah banyak dikaji dengan beragam metode pendekatan. Melalui berbagai basis data ilmiah dan jurnal akademis didapatkan

beberapa penelitian yang memiliki kemiripan dengan VRP pada PT. XYZ. Zhang & Li (2024) memperkenalkan *Hybrid Heuristic Harmony Search Algorithm* (HHHSA) yang berhasil menemukan solusi terbaik untuk sebagian besar *dataSet* Solomon. Dedović & Gušavac (2023) menggunakan *GNU Linear Programming Kit* (GLPK) untuk menghasilkan solusi optimal pada 20 kota dengan tiga jenis kendaraan. Huang *et al.* (2021) mengembangkan varian baru MTVRPTW-UQD dan metode *Branch-and-price-and-cut* (BPC) untuk mendapatkan solusi optimum. Di Indonesia, Ramadhani *et al.* (2021) menerapkan model VRPTW dengan *split delivery*, *Multi Trips*, dan *Multi products* di PT. Pertamina TBBM Rewulu. Pan *et al.* (2021) menggabungkan *Adaptive Large Neighborhood Search* (ALNS) dan *Variable Neighborhood Descent* (VND) untuk transportasi perkotaan. Sitek *et al.* (2021) mengembangkan model optimasi terintegrasi dengan pendekatan hibrida. Madankumar & Rajendran (2019) mengembangkan model *Mixed Integer Linear Programming* (MILP) untuk VRPSDPTW. Taş *et al.* (2014) memperkenalkan *Vehicle Routing Problem with Flexible Time windows* (VRPFlexTW). Baldacci *et al.* (2012) menggunakan Algoritma Berdasarkan Formulasi Set *Partitioning* (SP) untuk VRPTW. Lin (2011) meneliti masalah pengambilan dan pengiriman dengan batasan jendela waktu. Azi *et al.* (2007) mengembangkan algoritma analitik untuk masalah rute kendaraan tunggal. Penelitian Bard *et al.* (2002) menjadi acuan dengan mengembangkan metode *Branch-and-cut* untuk VRPTW. Penelitian-penelitian ini menunjukkan beragam pendekatan dalam optimasi rute kendaraan dengan mempertimbangkan batasan kapasitas, jendela waktu, dan kendala lainnya. Berdasarkan *study* literatur didapatkan gap antara penelitian ini dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yaitu penentuan *Trip* 1 sebagai prioritas dalam pengiriman dan terdapat jenis kendala yang lebih banyak yaitu 8 jenis kendala yang digunakan dalam penelitian ini.

Penelitian ini menggunakan metode analitik untuk mengembangkan model VRPTW dan menggunakan *software* Lingo sebagai *solver*. Metode analitik dipilih karena mampu memberikan solusi optimal untuk masalah optimasi yang kompleks. *Software* Lingo berfungsi sebagai tempat memodelkan dan menganalisis rute pengiriman yang optimal untuk PT. XYZ, dengan tujuan utama untuk

meminimalkan jarak tempuh kendaraan. Meminimasi jarak tempuh berbanding lurus dengan biaya pengiriman karena semakin jauh jarak pengiriman mengakibatkan biaya solar juga pasti meningkat.

Berdasarkan penelitian sebelumnya dan permasalahan yang dijabarkan, maka penelitian ini akan dikembangkan model matematika permasalahan VRPTW dengan fungsi tujuan meminimalkan jarak tempuh dengan memperhatikan *Heterogeneous Vehicle* (keberagaman jenis dan kapasitas kendaraan), dan *Multi Trip* (jumlah trip bisa lebih dari satu untuk setiap kendaraan) serta mempertimbangkan batas waktu kembali ke depot atau gudang. Selanjutnya, penelitian ini akan menganalisis sensitivitas model yang telah dikembangkan, untuk memahami secara mendalam bagaimana perubahan parameter jumlah dan kapasitas kendaraan, jumlah dan rata-rata permintaan pelanggan, batas waktu pengiriman dan *time window* pelanggan terhadap fungsi tujuan. Terakhir, jarak tempuh minimal yang dihasilkan dari model dan dibandingkan dengan jadwal pengiriman saat ini. Pembaruan yang ada pada penelitian ini dibandingkan dengan penelitian sebelumnya adalah penggunaan tipe kendala yang lebih banyak yaitu 8 tipe kendala, dan menambahkan kendala khusus untuk dapat memprioritaskan pengiriman pada *Trip* pagi atau *Trip* pertama agar produk lebih cepat tiba ke tangan pelanggan.

1.2. Rumusan Masalah

Sesuai latar belakang di atas maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah

- 1) Bagaimana model VRP pada PT. XYZ untuk mendapatkan solusi optimum dengan fungsi tujuan minimasi jarak?
- 2) Bagaimana menganalisis sensitivitas pada model yang dikembangkan untuk mengetahui pengaruh perubahan parameter jumlah dan kapasitas kendaraan, jumlah dan rata-rata permintaan pelanggan, batas waktu pengiriman dan *time window* pelanggan terhadap fungsi tujuan?

- 3) Bagaimana jarak tempuh minimal yang dihasilkan dari model dan dibandingkan dengan jadwal pengiriman saat ini?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas maka penelitian ini memiliki tujuan yaitu

- 1) Mengembangkan model VRP pada PT. XYZ untuk mendapatkan solusi optimum dengan fungsi tujuan minimasi jarak
- 2) Melakukan analisa sensitivitas pada model yang dikembangkan untuk mengetahui pengaruh perubahan parameter perubahan jumlah dan kapasitas kendaraan, jumlah dan rata-rata permintaan pelanggan, batas waktu pengiriman dan *time window* pelanggan terhadap fungsi tujuan.
- 3) Membandingkan jarak hasil model dengan jarak pada laporan pengiriman saat ini.

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini dilakukan karena memiliki beberapa manfaat yaitu:

- 1) Model yang dikembangkan dalam penelitian ini dapat memberikan masukan terutama untuk perencanaan rute dengan prioritas trip di masa depan
- 2) Model ini dapat membantu perusahaan mengatur rute pengiriman sehingga mengurangi retur akibat keterlambatan.
- 3) Meminimalkan jarak dapat membuat proses pengiriman lebih cepat sehingga susut berkurang yang pada akhirnya dapat pula mengurangi konsumsi bahan bakar.

1.5. Batasan Masalah

Pada penelitian ini ditetapkan berapa batasan dengan tujuan untuk menjaga penelitian tidak keluar jauh dari tujuan di atas. Beberapa batasan tersebut adalah :

- 1) Penelitian ini dilakukan pada bagian pengiriman atau ekspedisi di PT. XYZ.

- 2) Penelitian ini menggunakan *Software* Lingo dalam penentuan solusi optimum.
- 3) Penelitian ini hanya untuk pengiriman produk segar karena pengiriman produk segar berlomba dengan waktu dan tempat atau titik tujuan yang lebih banyak sedangkan jumlah kendaraan lebih sedikit, sehingga tingkat kesulitannya lebih tinggi dibandingkan dengan pengiriman beku
- 4) Armada yang digunakan dalam pembuatan model hanya kendaraan yang digunakan pada pengiriman segar.
- 5) Data pengiriman yang digunakan adalah periode 2 hingga 19 April 2025.
- 6) Model hanya menggunakan data pengiriman tanggal 10 April 2025 karena jumlah pengiriman pada tanggal tersebut adalah tertinggi.
- 7) Jendela waktu pengiriman yang digunakan adalah jendela waktu yang ditetapkan oleh PT. XYZ berdasarkan kesepakatan dengan pelanggan. Permintaan perubahan jendela waktu atau pengiriman di luar jendela waktu tidak termasuk dalam analisis

DAFTAR PUSTAKA

- Azi, N., Gendreau, M., & Potvin, J. Y. (2007). An exact algorithm for a single-vehicle routing problem with *time windows* and multiple routes. *European Journal of Operational Research*, 178(3), 755–766. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.02.019>
- Baldacci, R., Mingozzi, A., & Roberti, R. (2012). Recent exact algorithms for solving the vehicle routing problem under capacity and *time window* constraints. *European Journal of Operational Research*, 218(1), 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.07.037>
- Bard, J. F., Kontoravdis, G., & Yu, G. (2002). *A Branch-and-Cut Procedure for the Vehicle Routing Problem with Time windows*. 36(2), 250–269. <https://doi.org/doi:10.1287/trsc.36.2.250.565>
- Benhida, S., & Mir, A. (2018). Generatif Subtour Elimination Constraints for The Traveling Salesman Problem. *IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN)* *Www.Iosrjen.Org ISSN, 08(7)*, 2278–8719. www.iosrjen.org
- Çam, Ö. N., & Sezen, H. K. (2020). The formulation of a linear programming model for the vehicle routing problem in order to minimize idle time. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 3(1), 22–29. <https://doi.org/10.31181/dmame2003132h>
- Dedović, U., & Gušavac, B. A. (2023). Optimal Vehicle Routing in Consumer Goods Distribution: A GNU Linear Programming Kit-Based Analysis. *Acadlore Transactions on Applied Mathematics and Statistics*, 1(2), 87–95. <https://doi.org/10.56578/atams010204>
- Duman, E. N., Taş, D., & Çatay, B. (2022). Branch-and-price-and-cut methods for the electric vehicle routing problem with *time windows*. *International Journal of Production Research*, 60(17), 5332–5353. <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1955995>

- El-Sherbeny, N. A. (2010). Vehicle routing with *time windows*: An overview of exact, heuristic and metaheuristic methods. *Journal of King Saud University - Science*, 22(3), 123–131. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2010.03.002>
- Escobar, J. W., Duque, J. L. R., & García-Cáceres, R. (2022). A granular tabu search for the refrigerated vehicle routing problem with homogeneous fleet. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 13(1), 135–150. <https://doi.org/10.5267/j.ijiec.2021.6.001>
- Huang, N., Li, J., Zhu, W., & Qin, H. (2021). The multi-trip vehicle routing problem with *time windows* and unloading queue at depot. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 152. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102370>
- Huang, N., Qin, H., Du, Y., & Wang, L. (2024). An exact algorithm for the multi-trip vehicle routing problem with *time windows* and multi-skilled manpower. *European Journal of Operational Research*, 319(1), 31–49. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ejor.2024.06.025>
- Huang, N., Qin, H., Xu, G., & Wan, F. (2024). *An Enhanced Exact Algorithm for the Multi-Trip Vehicle Routing Problem with Time windows and Capacitated Unloading Station*.
- KEMENTERIAN PERHUBUNGAN. (2015). TATA CARA PENETAPAN BATAS KECEPATAN. In *KEMENTERIAN PERHUBUNGAN* (Vol. PM111). KEMENTERIAN PERHUBUNGAN.
- Lin, C. K. Y. (2011). A vehicle routing problem with pickup and delivery *time windows*, and coordination of transportable resources. *Computers and Operations Research*, 38(11), 1596–1609. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2011.01.021>
- Liu, Q., Liu, C., Niu, S., Long, C., Zhang, J., Xu, M., & Xu, M.-G. (2024). *2D-Ptr: 2D Array Pointer Network for Solving the Heterogeneous Capacitated Vehicle Routing Problem Attention Mechanism; Combinatorial Optimization*;

Heterogeneous CVRP; Pointer Network; Reinforcement Learning ACM Reference Format. www.ifaamas.org

- Lou, P., Zhou, Z., Zeng, Y., & Fan, C. (2024). Vehicle routing problem with *time windows* and carbon emissions: a case study in logistics distribution. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(29), 41600–41620. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-31927-9>
- Madankumar, S., & Rajendran, C. (2019). *A mixed integer linear programming model for the vehicle routing problem with simultaneous delivery and pickup by heterogeneous vehicles, and constrained by time windows.* <https://doi.org/10.1007/s12046-018-1048-yS>
- Maroof, A., Ayvaz, B., & Naeem, K. (2024). Logistics Optimization Using Hybrid Genetic Algorithm (HGA): A Solution to the Vehicle Routing Problem with *Time windows* (VRPTW). *IEEE Access*, 12, 36974–36989. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3373699>
- Miller, C. E., Tucker, A. W., & Zemlin, R. A. (1960). *Integer Programming Formulation of Traveling Salesman Problems**.
- Narasimha, K. S. V., Kivelevitch, E., & Kumar, M. (2012, June). Ant Colony Optimization Technique to Solve the Min-Max Multi Depot Vehicle Routing Problem. *American Control Conference*.
- Pan, B., Zhang, Z., & Lim, A. (2021). Multi-trip time-dependent vehicle routing problem with *time windows*. *European Journal of Operational Research*, 291(1), 218–231. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.09.022>
- Ramadhani, D. S., Masruroh, N. A., & Waluyo, J. (2021). Model of vehicle routing problem with split delivery multi trips, multi products and compartments for determining fuel distribution Routes. *ASEAN Journal of System Engineering*, 5, 51–55. <http://journal.ugm.ac.id/index.php/ajse>
- Roy, M. (2022). Great circle theorem and the application of the spherical cosine rule to estimate distances on a globe. *International Journal of Statistics and*

- Applied Mathematics*, 7(3), 136–142.
<https://doi.org/10.22271/maths.2022.v7.i3b.833>
- Sirajuddin, S., Bhaswara, G., & Gunawan, A. (2022). Model sistem dinamis industri ayam pedaging dalam memenuhi kebutuhan daging ayam. *Journal Industrial Servicess*, 8(1), 53. <https://doi.org/10.36055/jiss.v8i1.14184>
- Sitek, P., Wikarek, J., Rutczyńska-Wdowiak, K., Bocewicz, G., & Banaszak, Z. (2021). Optimization of capacitated vehicle routing problem with alternative delivery, pick-up and *time windows*: A modified hybrid approach. *Neurocomputing*, 423, 670–678.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neucom.2020.02.126>
- Souleymane, B., Oussama, D., Fatima Ezzahra, A., & Fouad, R. (2025). A *Time window* Assignment Strategy for Dynamic Vehicle Routing Problem. *Transportation Research Procedia*, 84, 169–176.
<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2025.03.060>
- Taş, D., Jabali, O., & Van Woensel, T. (2014). A vehicle routing problem with flexible *time windows*. *Computers and Operations Research*, 52(PART A), 39–54. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2014.07.005>
- Wu, D., Li, J., Cui, J., & Hu, D. (2023). Research on the Time-Dependent Vehicle Routing Problem for Fresh Agricultural Products Based on Customer Value. *Agriculture (Switzerland)*, 13(3). <https://doi.org/10.3390/agriculture13030681>
- Wu, D., & Wu, C. (2022). Research on the Time-Dependent Split Delivery Green Vehicle Routing Problem for Fresh Agricultural Products with Multiple *Time windows*. *Agriculture (Switzerland)*, 12(6).
<https://doi.org/10.3390/agriculture12060793>
- Yu, V. F., Jodiawan, P., Lin, S. W., Nadira, W. F., Asih, A. M. S., & ... (2024). Using Simulated Annealing to Solve the Multi-Depot Waste Collection Vehicle Routing Problem with *Time window* and Self-Delivery Option. *Mathematics*. <https://www.mdpi.com/2227-7390/12/3/501>

- Zhang, Y., & Li, J. (2024). A Hybrid Heuristic Harmony Search Algorithm for the Vehicle Routing Problem With *Time windows*. *IEEE Access*, 12, 42083–42095. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3378089>
- Zong, Z., Tong, X., Zheng, M., & Li, Y. (2024). Reinforcement Learning for Solving Multiple Vehicle Routing Problem with *Time window*. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*, 15(2). <https://doi.org/10.1145/3625232>