

PENGEMBANGAN MODEL *LAST-MILE DELIVERY SITE-DEPENDENT VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH PRIORITY AND TIME WINDOWS* UNTUK MEMINIMALKAN TOTAL BIAYA PERJALANAN

TESIS

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat guna mencapai gelar Magister dalam bidang ilmu Teknik Industri



Oleh:

**Lisa Keizia Halim
8132001010**

Pembimbing:

Dr. Ir. Sugih Sudharma Tjandra, S.T., M.Si.

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG
2023**

HALAMAN PERSETUJUAN

**PENGEMBANGAN MODEL *LAST-MILE DELIVERY SITE-DEPENDENT VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH PRIORITY AND TIME WINDOWS*
UNTUK MEMINIMALKAN TOTAL BIAYA PERJALANAN**



Oleh:

**Lisa Keizia Halim
8132001010**

**Persetujuan untuk Sidang Penelitian Tesis pada
Hari/Tanggal: Jumat, 8 September 2023**

Pembimbing:

Dr. Ir. Sugih Sudharma Tjandra, S.T., M.Si.

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG
2023**



UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
PROGRAM PASCASARJANA

PERNYATAAN

Yang bertandatangan di bawah ini, saya dengan data diri sebagai berikut:

Nama : Lisa Keizia Halim
Nomor Pokok Mahasiswa : 8132001010
Program Studi : ~~Magister Teknik Industri / Magister Teknik Kimia *)~~
Program Pascasarjana Fakultas Teknologi Industri
Universitas Katolik Parahyangan

Menyatakan bahwa Tesis / ~~Disertasi *)~~ dengan judul:

Pengembangan Model Last-Mile Delivery Site-Dependent Vehicle Routing Problem with Priority and Time Windows untuk Meminimalkan Total Biaya Perjalanan

adalah benar-benar karya saya sendiri di bawah bimbingan Pembimbing, dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat keilmuan.

Apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya, atau jika ada tuntutan formal atau non formal dari pihak lain berkaitan dengan keaslian karya saya ini, saya siap menanggung segala resiko, akibat, dan/atau sanksi yang dijatuhkan kepada saya, termasuk pembatalan gelar akademik yang saya peroleh dari Universitas Katolik Parahyangan.

Dinyatakan : di Bandung
Tanggal : 5 September 2023



Lisa Keizia Halim
Nama Mahasiswa

*) coret yang tidak perlu

**PENGEMBANGAN MODEL *LAST-MILE DELIVERY SITE-DEPENDENT VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH PRIORITY AND TIME WINDOWS*
UNTUK MEMINIMALKAN TOTAL BIAYA PERJALANAN**

Lisa Keizia Halim (NPM: 8132001010)

Pembimbing: Dr. Ir. Sugih Sudharma Tjandra, S.T., M.Si.

Magister Teknik Industri

Bandung

2023

ABSTRAK

Kemajuan teknologi dan pandemi COVID-19 mendorong masyarakat untuk melakukan pembelian secara *online*. Tingginya pembelian *online* mengakibatkan tingginya aktivitas logistik pengiriman barang, khususnya pada *last-mile delivery*. *Last-mile delivery* yang dilakukan oleh jasa ekspedisi sangat dipengaruhi oleh jenis layanan yang dipilih pelanggan dalam pengiriman paket. Pengiriman barang dengan jenis layanan ekspres harus diprioritaskan dan dikirim terlebih dahulu oleh kurir *last-mile delivery* untuk menghindari penalti apabila klaim batas waktu pengiriman tidak tercapai. Penelitian ini mengusulkan model penentuan rute untuk kurir-kurir *last-mile delivery* dari 1 buah depot dengan mempertimbangkan urutan pengiriman barang berdasarkan jenis kendaraan yang digunakan, prioritas jenis layanan dan *time window* pelanggan. *Time window* pelanggan diperhatikan karena adanya perbedaan waktu penerimaan barang antara lokasi pelanggan pribadi (menerima barang kapan pun) dan lokasi umum (menerima barang hanya pada jam kerja). Model ini bertujuan untuk meminimalkan biaya perjalanan setiap kendaraan untuk memenuhi semua pelanggan. Model diimplementasi dan diuji pada beberapa kasus yang terdiri dari satu depot, lima belas pelanggan, dua jenis kendaraan dengan total tiga unit motor dan dua unit *blind van*, dan tiga kategori prioritas. Model matematis dan kasus diprogram ke dalam bahasa pemrograman AMPL dan diselesaikan dengan bantuan *solver* CPLEX. Model yang dikembangkan cocok digunakan untuk kasus jasa ekspedisi di Indonesia. Model $d = 0$ digunakan saat terjadi ledakan banyak barang yang perlu dikirim. Model $d < p_{max} - 1$ cocok digunakan pada pengiriman hari biasa. Model $d = p_{max} - 1$ cocok digunakan saat tidak terdapat pengiriman prioritas.

Kata kunci: *vehicle routing, site-dependent, time windows, prioritas pengiriman, last-mile delivery*

SITE-DEPENDENT VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH PRIORITY AND TIME WINDOWS TO MINIMIZE TRAVEL COST FOR LAST- MILE DELIVERY

Lisa Keizia Halim (NPM: 8132001010)

Adviser: Dr. Ir. Sugih Sudharma Tjandra, S.T., M.Si.

Magister of Industrial Engineering

Bandung

2023

ABSTRACT

Advances in technology and the COVID-19 pandemic have encouraged people to shop online. The high level of online shopping has resulted in high logistics activities for shipping goods, especially in last-mile delivery. The package's type of service greatly influences the couriers' last-mile delivery. Delivery of goods using express service must be prioritized and sent first by last-mile delivery couriers to avoid penalties if the delivery deadline is not accomplished. This study proposes the route selection model for last-mile delivery couriers from 1 depot by considering the type of vehicle to service a customer, the order of delivery based on the service type, and the customer's time window. The customer's time window is considered because of the difference between the personal (customer can receive the goods any time) and public place (customer can only receive the goods in working time) time window. This model aims to minimize the total travel cost to serve all customers. The proposed model was implemented and tested using hypothetical cases. The model was implemented and tested on several cases consisting of one depot, fifteen customers, two types of vehicles with three units of motors and two blind vans, and three priority categories. The mathematical model and cases are programmed into the AMPL programming language and solved with the help of the CPLEX solver. The developed model is suitable for the case of expedition services in Indonesia. $d = 0$ model is used when there are lots of goods needed to be shipped. $d < p_{max} - 1$ model is most suitable for daily last-mile delivery. $d = p_{max} - 1$ model is suitable when there are no priority shipments.

Keyword: vehicle routing, site-dependent, time windows, priority sequence of delivery, last-mile delivery

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat dan kasih-Nya yang terus menyertai saya selama melakukan penelitian tesis berjudul “c”. Tesis ini ditulis sebagai syarat guna mencapai gelar magister dalam bidang ilmu Teknik Industri di Universitas Katolik Parahyangan.

Saya menerima begitu banyak bantuan, dukungan, serta doa dari berbagai pihak selama penelitian dan proses penyusunan tesis ini berlangsung. Oleh karena itu, saya ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Sugih Sudharma Tjandra, S.T., M.Si. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan begitu banyak saran, masukan, dan pengarahan selama proses penelitian tesis berlangsung.
2. Bapak Prof. Ir. Sani Susanto, M.T., Ph.D., CRMP., IPU., AER. dan Bapak Dr. Carles Sitompul, S.T., M.T., M.I.M. selaku dosen penguji penelitian tesis yang telah memberikan banyak masukan dan saran membangun selama penelitian.
3. Kedua orang tua dan kakak saya: Halim Syarief, Lina Marlina Suwarsa, dan Evelyne Nadia Halim, M.Si., Apt. Yang memberi dukungan dan doa selama proses penyusunan tesis hingga akhir.
4. Rekan-rekan saya, Livia Jane Budiarto, S.Ak dan Hanna Alverina, S.T. yang menemani juga memberikan dukungan dan penghiburan selama proses penyusunan tesis dari awal hingga akhir.
5. Dosen Magister Teknik Industri Universitas Katolik Parahyangan atas segala pengetahuan yang diberikan.

6. Rekan-rekan seperjuangan Ancella Hendrika, S.T., M.T., Eleonora Utami, S.T., M.T., Kevin Grahadian, S.T., M.T., Adinda Oktaviani R., S.T., M.T., Dian Putrawangsa, S.T., M.T., Alfi Safrianti, S.T. dan Leotan, S.T. yang menjadi rekan diskusi bersama selama studi di Magister Teknik Industri.
7. Rekan-rekan asisten Praktikum Ergonomi dan Rekayasa Sistem Kerja dan Praktikum Simulasi Sistem yang telah menemani masa-masa penelitian tesis bersama.

Saya menyadari bahwa tesis ini masih memiliki begitu banyak kekurangan, baik dari penelitian maupun penyusunan laporan. Saya memohon maaf apabila terdapat hal-hal yang kurang berkenan dalam laporan tesis ini. Semoga penelitian tesis ini dapat memberi manfaat bagi bidang keilmuan maupun pembaca.

Cimahi, 4 September 2023

Lisa Keizia Halim

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
HALAMAN PERSETUJUAN	
ABSTRAK	
<i>ABSTRACT</i>	
KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Identifikasi dan Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian.....	9
1.4 Batasan dan Asumsi Penelitian	10
1.5 Manfaat Penelitian.....	10
1.6 Metodologi Penelitian	11
1.7 Sistematika Penulisan.....	13
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	15
2.1 Teori Dasar	15

2.1.1	<i>Vehicle Routing Problem</i>	15
2.1.2	<i>Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows</i>	16
2.1.2	<i>Vehicle Routing Problem with Relaxed Priority Rules</i>	19
2.1.3	<i>Site-Dependent Vehicle Routing Problem</i>	24
2.2	Sintesis Penelitian dan Posisi Penelitian.....	27
BAB 3 MODEL PENELITIAN.....		37
3.1	Model Penelitian	37
3.2	Verifikasi dan Implementasi Model	49
3.2.1	Verifikasi Model.....	49
3.2.2	Implementasi Model.....	77
3.3.3	Validasi Model	86
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		97
4.1	Implementasi Model	97
4.2	Kelonggaran d Terhadap Urutan Prioritas	102
4.2.1	Kelonggaran $d = 0$	103
4.2.2	Kelonggaran $d < p_{max} - 1$	105
4.2.3	Kelonggaran $d = p_{max} - 1$	106
4.3	Ruang Solusi dan Solusi Optimal	107
4.3.1	Tidak Ada Ruang Solusi (<i>No Feasible Solution</i>)	108
4.3.2	Ruang Solusi Tidak Terbatas (<i>Unbounded</i>)	109
4.3.3	Ruang Solusi dengan Beberapa Alternatif Solusi Optimal	110

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	113
5.1 Kesimpulan.....	113
5.2 Saran.....	115

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Tingkat Pembelian Barang Secara Online	2
Gambar 1.2 Tingkat Adopsi Internet Indonesia	3
Gambar 1.3 Metodologi Penelitian	12
Gambar 2.1 Posisi Penelitian	33
Gambar 3.1 Tas Pengantar Paket	51
Gambar 3.2 Ilustrasi <i>Blind Van</i>	51
Gambar 3.3 Rute Kasus Implementasi dengan $d = 0$	83
Gambar 3.4 Rute Kasus Implementasi dengan $d=1$	84
Gambar 3.5 Rute Kasus Implementasi dengan $d=2$	85
Gambar 3.6 Rute Kasus Validasi 1 dengan $d = 0$	88
Gambar 3.7 Rute Kasus Validasi 1 dengan $d = 1$	89
Gambar 3.8 Rute Kasus Validasi 1 dengan $d = 2$	90
Gambar 3.9 Rute Kasus Validasi 2 dengan $d = 0$	93
Gambar 3.10 Rute Kasus Validasi 2 dengan $d = 1$	94
Gambar 3.11 Rute Kasus Validasi 2 dengan $d = 2$	94

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sintesis Penelitian	30
Tabel 3.1 Notasi Model Penelitian Referensi	38
Tabel 3.2 Data Awal Kasus Verifikasi	49
Tabel 3.3 Matriks Jarak Kasus Verifikasi Antar Lokasi Kasus Verifikasi.....	50
Tabel 3.4 Matriks Waktu Tempuh Antar Lokasi Kasus Verifikasi.....	50
Tabel 3.5 x_{ij1} Kasus Verifikasi Motor 1 ($d = 0$)	54
Tabel 3.6 x_{ij2} Kasus Verifikasi <i>Blind Van</i> 2 ($d = 0$)	54
Tabel 3.7 w_{ik} Kasus Verifikasi ($d = 0$).....	55
Tabel 3.8 f_{mi} dan f_{vi} Kasus Verifikasi ($d = 0$).....	55
Tabel 3.9 Daftar Alamat Lokasi Kasus Implementasi.....	78
Tabel 3.10 Data Awal Kasus Implementasi	79
Tabel 3.11 Jarak Antar Lokasi Kasus Implementasi (kilometer)	80
Tabel 3.12 Waktu Tempuh Antar Lokasi Kasus Implementasi (menit).....	80
Tabel 3.13 Rekapitulasi Jarak (kilometer), Biaya (Rupiah), dan Rute Kasus Implementasi	82
Tabel 3.14 Rekapitulasi Jarak (kilometer), Biaya (Rupiah), dan Rute Kasus Validasi 1	86
Tabel 3.15 Data Prioritas Kasus Validasi 2	91
Tabel 3.16 Rekapitulasi Jarak (kilometer), Biaya (Rupiah) dan Rute Kasus Validasi 2	91

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Persamaan Matematika Model Penelitian

Lampiran 2. *Coding Model Last-Mile Delivery Site-Dependent Vehicle Routing Problem with Priority and Time Windows* untuk Meminimalkan Total Biaya Perjalanan Menggunakan Bahasa Pemrograman AMPL

Lampiran 3 *Coding Data Kasus Implementasi Menggunakan Bahasa Pemrograman AMPL*

Lampiran 4 Solusi Kasus Implementasi

BAB 1

PENDAHULUAN

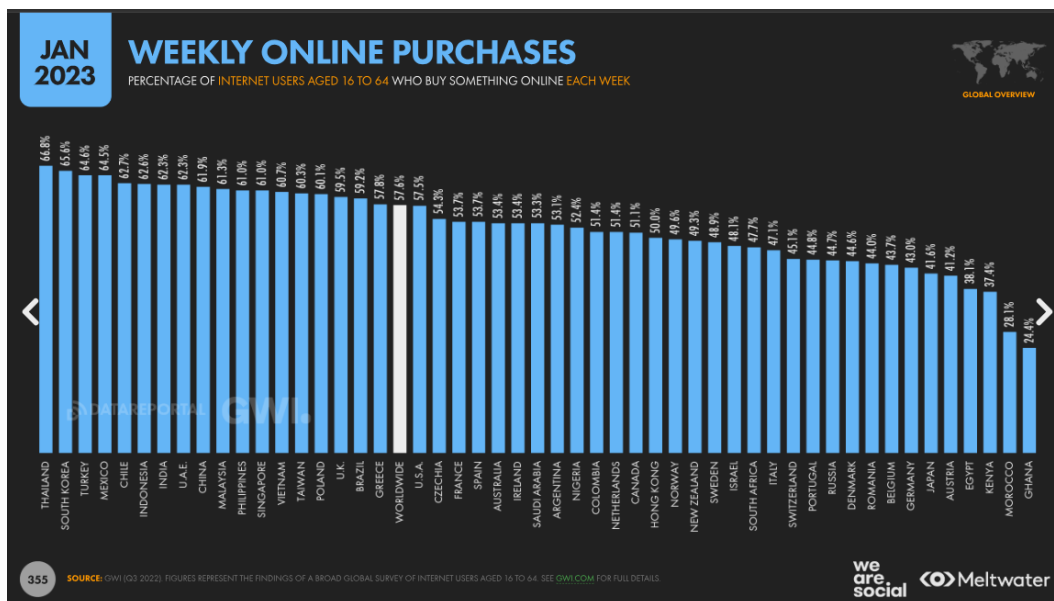
Bab 1 berisi latar belakang, identifikasi masalah, tujuan penelitian, pembatasan masalah dan asumsi penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan dari penelitian.

1.1 Latar Belakang Masalah

Kemajuan teknologi, khususnya kemajuan internet, secara cepat meningkatkan tingkat pembelanjaan *online* (Oloveze, Ogbonna, Ahaiwe, & Ugwu, 2022; Venkatesh, Speier-Pero, & Schuetz, 2022; Saha, Zhuang, & Li, 2020). Perkembangan pembelian barang secara *web-based dan online* menjadi lebih dominan dibandingkan dengan pembelanjaan retail tradisional (Saha et al., 2020). Pembelanjaan secara *online* melalui aplikasi dinilai lebih menghemat waktu, memiliki cakupan produk yang luas, dan harga barang yang lebih kompetitif (Polas, Tabash, Jahanshahi, & Ahamed, 2021).

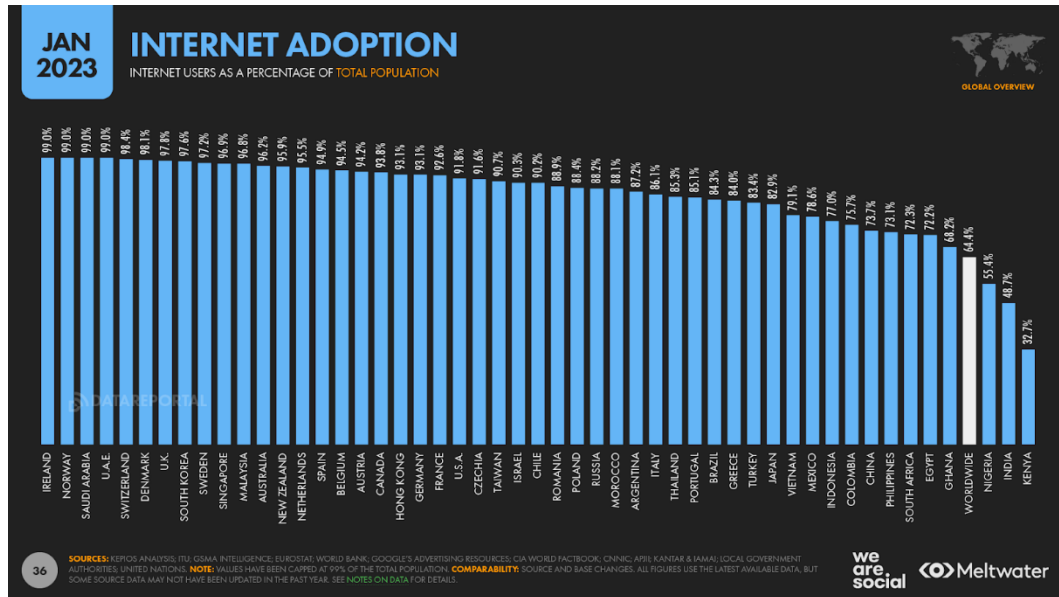
Pandemi COVID-19 yang mewabah pada awal tahun 2020 juga semakin mendorong pertumbuhan bisnis *online*. Tingginya tingkat penularan dan terbatasnya fasilitas medis menyebabkan pemerintahan di berbagai negara mengadopsi strategi *lockdown* (Anas, Khan, Rahman, & Uddin, 2022). Pembatasan sosial dan *lockdown* memaksa konsumen untuk berbelanja secara *online* dan meningkatkan bisnis-bisnis *online* (Dannenberg, Fuchs, Riedler, & Wiedemann, 2020). Fenomena serupa juga terlihat di Indonesia.

Berdasarkan laporan digital We Are Social, 62,6% dari pengguna internet Indonesia yang berusia 16 hingga 64 tahun di Indonesia membeli sesuatu secara *online* setiap minggunya sepanjang tahun 2022 (WeAreSocial, 2023). Berdasarkan Gambar 1.1, tingkat pembelian *online* setiap minggu di Indonesia bahkan lebih besar dari tingkat pembelian *online* setiap minggu secara global yang hanya 57,6%.



Gambar 1.1 Tingkat Pembelian Barang Secara Online
 (Sumber: We Are Social, 2023)

We Are Social dalam laporan yang sama menyebutkan bahwa 77% dari populasi Indonesia merupakan pengguna internet. Hal tersebut dapat dilihat pada grafik Gambar 1.2. Per tanggal Desember 2022, Direktorat Jenderal Kependudukan dan Pencatatan Sipil Kementerian Dalam Negeri Republik Indonesia melaporkan bahwa jumlah penduduk Indonesia adalah 275.344.166 jiwa. Dengan demikian, dapat diestimasi bahwa sekitar 212.015.008 penduduk Indonesia merupakan pengguna internet. Gambar 1.1 menunjukkan bahwa 62,6% penduduk Indonesia dari angka tersebut melakukan pembelian secara *online* setiap minggunya.



Gambar 1.2 Tingkat Adopsi Internet Indonesia
(Sumber: We Are Social, 2023)

Berdasarkan data-data tersebut, diestimasikan sekitar 132.721.395 penduduk Indonesia melakukan pembelian barang secara *online* setiap minggunya. Dengan asumsi bahwa setiap orang melakukan 1 transaksi setiap minggu, terdapat setidaknya 132.721.395 paket yang dikirim setiap minggunya hasil transaksi pembelian barang secara *online*. Angka tersebut belum mempertimbangkan paket-paket yang dikirim di luar transaksi *online* dan adanya konsumen yang bertransaksi lebih dari 1 kali dalam 1 minggu. Meningginya tingkat pembelian secara *online* menyebabkan jasa ekspedisi menjadi penghubung dan *contact point* antara penjual dan pembeli (Movarrei, Vessal, Vessal, & Aspara, 2021).

Jasa ekspedisi menyediakan layanan pengiriman barang. Biaya pengiriman yang dibebankan pada umumnya dihitung berdasarkan berat atau volume barang yang dikirim, jarak pengiriman, dan jenis layanannya. Beberapa jasa ekspedisi yang terdapat di Indonesia antara lainnya adalah POS Indonesia, JNE, J&T Express, TIKI, SiCepat, Ninja Express, AnterAja, dll.

Masing-masing jasa ekspedisi memiliki berbagai jenis layanan pengiriman barang. Jenis layanan pengiriman barang yang paling umum adalah jasa pengiriman reguler dan ekspres. Pengiriman barang layanan ekspres umumnya lebih diprioritaskan karena klaim estimasi tibanya barang pada tujuan lebih cepat dan ketat dibandingkan layanan reguler. Perusahaan ekspedisi juga sering kali memecah kedua layanan tersebut menjadi beberapa jenis layanan yang berbeda seperti kargo, ekonomi, *same day service*, *one night service*, *two-days service*, dll.

SiCepat merupakan perusahaan jasa ekspedisi di Indonesia yang berdiri pada tahun 2014. SiCepat memiliki beberapa jenis layanan pengantaran barang: BEST (Besok Sampai Tujuan), *Same Day Delivery* (sampai dalam 8 jam), SiUntung (reguler), Halu (reguler untuk *e-commerce*), Gokil (Kargo), SiCepat Go! (internasional).

Wawancara dilakukan dengan salah satu kurir *last-mile delivery* dari perusahaan ekspedisi SiCepat bernama Ius. Kurir-kurir pengiriman *last-mile delivery* dibagi di depot berdasarkan area kecamatan. Satu orang kurir *last-mile delivery* dengan kendaraan motor pada umumnya bertanggung jawab atas pengiriman barang satu area kecamatan tertentu. Area pengiriman kurir *last-mile delivery* dengan kendaraan mobil biasanya lebih luas dan dapat memuat hingga 2 kecamatan apabila area kecamatannya relatif kecil.

Pengiriman barang dengan layanan BEST dan *Same Day Delivery* diprioritaskan terlebih dahulu untuk dikirim, khususnya pada *last-mile delivery*. Apabila barang tidak terkirim sebelum klaim estimasi waktu yang ditetapkan, kurir *last-mile delivery* bertanggung jawab untuk mengganti rugi biaya kirim barang tersebut.

Apabila terdapat barang layanan reguler (layanan SiUntung, Halu, dan Gokil) yang dikirimkan untuk area yang sama dengan barang layanan BEST, paket reguler akan dikirimkan sekaligus untuk meminimalkan jarak perjalanan dan memaksimalkan banyak paket yang dapat dikirimkan dalam sekali jalan.

SiCepat memiliki dua jenis kendaraan untuk mengantar paket: motor dan mobil. Motor pada umumnya mengantar paket-paket berukuran kecil (lebih ringan dari 5 kilogram dan lebih kecil dari 30X30X30 sentimeter). Barang-barang yang akan diantar ke jalan kecil seperti gang juga biasa diserahkan pada kurir dengan kendaraan motor. Sebuah motor dapat menampung rata-rata 30 paket dalam sekali perjalanan.

Mobil digunakan untuk mengantar barang berukuran besar (lebih besar dari 30X30X30 sentimeter) atau berat (lebih besar dari 5 kilogram). Ukuran mobil yang besar menyebabkan target alamat-alamat tujuan mobil berupa pinggir jalan atau kompleks perumahan. Barang-barang BEST atau *Same Day Delivery* yang mudah pecah juga biasa dikirim menggunakan mobil. Sebuah mobil dapat menampung sekitar 50 paket dalam sekali perjalanan.

Paket-paket BEST diprioritaskan untuk dikirim terlebih dahulu untuk menghindari kurir *last-mile delivery* mengganti rugi biaya kirim. Setelah paket layanan BEST habis dikirimkan, kurir akan mengirimkan paket-paket reguler.

Kecepatan pengiriman dari depot terakhir menuju alamat tujuan biasanya dapat dipantau oleh konsumen melalui layanan *tracking* yang disediakan oleh jasa pengiriman. Oleh sebab itu, *last-mile delivery* sangat memengaruhi kepuasan konsumen dan persepsi konsumen terhadap mutu jasa ekspedisi (Movarrei et al., 2021). Rute perjalanan *last-mile delivery* perlu direncanakan dengan baik untuk

dapat memenuhi kepuasan konsumen dengan tetap meminimalkan jarak yang ditempuh oleh kurir dalam satu kali pengiriman.

Kurir-kurir *last-mile delivery* perlu menentukan rute perjalanan yang dapat meminimalkan waktu pengiriman dan jarak yang ditempuh. Penentuan rute *last-mile delivery* perlu memerhatikan berbagai batasan, yaitu prioritas pengiriman berdasarkan layanan, kapasitas kendaraan yang digunakan untuk mengantar barang, dan waktu pengiriman yang sesuai. Permasalahan yang dialami oleh kurir-kurir *last-mile delivery* secara umum dapat dimodelkan dengan *Site-Dependent Vehicle Routing Problem with Priority and Time-Windows*.

1.2 Identifikasi dan Rumusan Masalah

Vehicle routing problem merupakan permasalahan penentuan rute sejumlah kendaraan untuk memenuhi permintaan konsumen (Jiang, Ng, Poh, & Teo, 2014). Setiap kendaraan berangkat dari sebuah depot untuk memenuhi permintaan barang konsumen. Berangkat dari model awal *vehicle routing problem*, berbagai jenis varian *vehicle routing problem* selanjutnya dikembangkan untuk menyesuaikan model dengan keadaan nyatanya. Beberapa contoh varian yang telah dikembangkan terhadap model *vehicle routing problem* adalah *capacitated vehicle routing problem* (setiap kendaraan memiliki kapasitas tampung barang yang terbatas), *multi-depot vehicle routing problem* (setiap kendaraan dapat pergi dan sampai pada depot yang berbeda dalam rutennya), *periodic vehicle routing problem* (konsumen perlu dikunjungi beberapa kali selama periode waktu tertentu), *distance vehicle routing problem* (jarak terjauh yang dapat ditempuh oleh kendaraan dibatasi), *vehicle routing problem with pick-ups and deliveries* (kendaraan dapat menjemput

dan mengirim barang dari konsumen), *vehicle routing problem with backhauls* (setiap pengiriman barang harus diselesaikan terlebih dahulu sebelum pengambilan barang dapat dilakukan), *vehicle routing problem with time windows* (konsumen dilayani oleh kendaraan pada rentang waktu tertentu), *heterogeneous vehicle routing problem* (terdapat beberapa jenis kendaraan yang memiliki kapasitas berbeda), *vehicle routing problem with priority rules* (terdapat beberapa konsumen yang perlu dilayani terlebih dahulu), *site-dependent vehicle routing problem* (terdapat batasan kompatibilitas jenis kendaraan mana yang dapat mengunjungi konsumen tertentu), *multitrip vehicle routing problem* (kendaraan dapat kembali ke depot dan mengambil barang untuk konsumen lainnya), dsb.

Meskipun telah banyak varian *vehicle routing problem* yang dikembangkan, permasalahan di dunia nyata sering kali memerlukan beberapa batasan yang digunakan sekaligus. Salah satu contoh nyata penerapan *vehicle routing problem* di dunia nyata adalah pada *last-mile delivery* jasa ekspedisi.

Pengiriman *last-mile delivery* yang dilakukan oleh jasa-jasa ekspedisi umumnya dilakukan dengan menggunakan dua jenis kendaraan: mobil dan motor. Setiap jenis kendaraan memiliki kapasitas tampungnya masing-masing. Setiap kurir memiliki tujuan untuk mengantarkan semua barang kiriman secepat-cepatnya sebelum hari berakhir. Adanya perbedaan jenis kendaraan ini mengindikasikan kebutuhan batasan *site-dependent* dalam penetapan rute pengiriman.

Barang-barang yang dikirim terbagi menjadi beberapa jenis layanan yang berbeda. Barang kiriman dengan layanan BEST atau *same day delivery* diprioritaskan untuk dikirim terlebih dahulu sebelum barang kiriman dengan layanan reguler. Hal ini terjadi karena kurir ingin menghindari penalti penggantian

biaya kirim yang ditetapkan oleh jasa ekspedisi apabila barang kiriman tersebut gagal dikirimkan sebelum hari berakhir. Apabila paket BEST sampai di tujuan pada malam hari, paket-paket reguler akan sampai di tujuan lebih malam lagi. Hal ini mengindikasikan adanya keperluan batasan prioritas untuk dikembangkan dalam penentuan rute pengiriman kurir *last-mile delivery*.

Beberapa konsumen juga memiliki rentang waktu penerimaan barang masing-masing. Konsumen yang mengirimkan barang ke rumah biasanya memiliki rentang penerimaan yang lebih fleksibel. Konsumen yang mengirimkan barang ke kantor atau gedung bersama lainnya memiliki rentang penerimaan yang lebih ketat karena beberapa gedung hanya menerima kiriman barang saat jam kerja. Hal ini menunjukkan bahwa penentuan rute pengiriman *last-mile delivery* perlu memperhatikan batasan *time window*.

Beberapa penelitian telah mengembangkan model *vehicle routing problem* dengan salah satu atau kombinasi kendala *site-dependent*, prioritas, dan/atau *time windows*. Penelitian Ghannadpour (2019), Ghannadpour, Noori, & Tavakkoli-Moghaddam (2014) telah mempertimbangkan batasan *time windows* dalam pengembangan model *vehicle routing problem*. Penelitian Adebayo, Aderibigbe, & Dele-Rotimi (2019) mengembangkan model *vehicle routing problem* dengan gabungan kendala *time windows* dan kapasitas. Contoh penelitian yang pernah mengembangkan model *vehicle routing problem* dengan batasan prioritas dan kapasitas adalah Nufus (2022) dan Shetty, Sudit, & Nagi (2008). Doan, Bostel, & Ha (2021) mengembangkan model *vehicle routing problem* dengan kombinasi kendala prioritas dan *heterogeneous*. Jiang et al. (2014) dan Lubis & Mawenkang (2020) telah mengembangkan model *vehicle routing problem* dengan gabungan

kendala *time windows*, kapasitas, dan *heterogeneous* sekaligus. Model penelitian Chu dan Hsu (2019) menggabungkan kendala *multiple trip* dengan *time windows*. Maghfiroh dan Hanaoka (2018) menerapkan kendala *site dependent* pada model *vehicle routing problem* untuk distribusi pasokan bantuan bencana. Aktas, Bourlakis, & Zisis (2021) menggabungkan kendala *heterogeneous*, kapasitas dan *time windows* dalam model penelitian mereka.

Berdasarkan studi literatur yang dilakukan, belum ada model *vehicle routing problem* yang telah mempertimbangkan batasan *site-dependent* (termasuk kendala kapasitas di dalamnya), prioritas pengiriman barang, dan *time windows* sekaligus hingga saat ini. Oleh sebab itu, penelitian terkait model *vehicle routing problem* dinilai masih memiliki perbedaan dari kondisi nyata yang terjadi pada *last-mile delivery* jasa ekspedisi. Berdasarkan identifikasi masalah yang dijabarkan, dibuatlah rumusan masalah pada penelitian ini:

1. Bagaimana model *vehicle routing problem* dengan mempertimbangkan batasan *site-dependent*, prioritas pengiriman, dan *time windows* (SDVRPPTW) untuk meminimalkan biaya perjalanan?
2. Bagaimana penerapan model pada kasus jasa ekspedisi di Indonesia?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan identifikasi dan rumusan masalah pada subbab 1.2, penelitian ini dilakukan untuk:

1. Mengembangkan model *vehicle routing problem* dengan mempertimbangkan batasan *site-dependent*, prioritas pengiriman, dan *time windows* (SDVRPPTW) untuk meminimalkan biaya perjalanan.

2. Mengetahui penerapan model pada kasus jasa ekspedisi di Indonesia.

1.4 Batasan dan Asumsi Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menerapkan beberapa batasan dan asumsi. Pembatasan masalah dilakukan untuk mempersempit cakupan penelitian agar lebih fokus terhadap permasalahan yang dihadapi. Batasan masalah yang digunakan pada penelitian ini:

1. Hasil yang didapatkan membentuk rute kendaraan untuk melayani konsumen yang barangnya telah sampai di depot terakhir pada pagi hari.
2. Implementasi model hasil pengembangan hanya dilakukan pada kasus hipotetis.

Asumsi penelitian perlu ditetapkan untuk menyederhanakan permasalahan yang diteliti. Asumsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Kecepatan tempuh kendaraan untuk setiap interval waktu, jarak antar titik, kapasitas setiap jenis kendaraan, dan permintaan pelanggan bersifat deterministik.
2. Ukuran barang untuk pelanggan yang mendapat lebih dari satu paket dalam satu pengiriman sama besar.
3. Bahan bakar yang digunakan kendaraan hanya dihitung ketika kendaraan berpindah tempat.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian yang dilakukan diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan kontribusi terhadap pengembangan model SDVRPPTW.

2. Menjadi sumber referensi bagi penelitian pengembangan model VRP lainnya.
3. Menambah wawasan pembaca terkait model SDVRPPTW.

1.6 Metodologi Penelitian

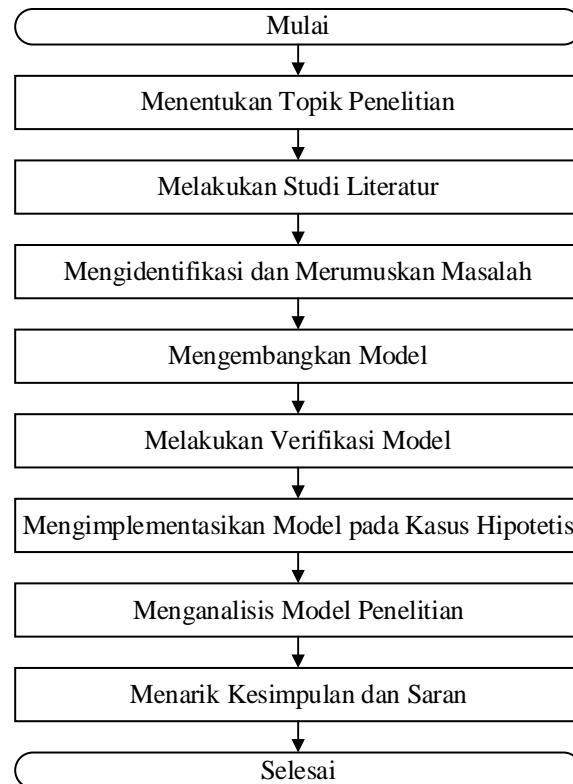
Metodologi penelitian dibutuhkan untuk menyusun langkah-langkah guna mencapai tujuan penelitian. Penelitian ini memiliki metodologi yang dimulai dari penentuan topik penelitian hingga penarikan kesimpulan dan analisis. Gambar 1.3 merupakan *flowchart* metodologi penelitian yang digunakan dalam penelitian pengembangan model *vehicle routing problem* dengan batasan *site-dependent*, prioritas, dan *time windows*.

1. Menentukan topik

Penelitian diawali dengan penentuan topik penelitian. Penentuan topik penelitian dilakukan dengan mempertimbangkan ketertarikan peneliti terhadap perancangan rute pengiriman barang kiriman yang dilakukan oleh kurir-kurir *last-mile delivery* dari depot terakhir menuju alamat tujuan.

2. Melakukan studi literatur

Studi literatur dilakukan untuk menentukan model yang cocok untuk dikembangkan terhadap topik terpilih. Studi literatur juga dilakukan untuk memperdalam pengetahuan mengenai model-model yang telah ada saat ini. Selain itu, sintesis penelitian juga dilakukan pada tahap ini untuk mencari celah kebaruan penelitian.



Gambar 1.3 Metodologi Penelitian

3. Mengidentifikasi dan merumuskan masalah

Identifikasi dan perumusan masalah dilakukan dengan mengamati keadaan pada kondisi nyata pengiriman yang dilakukan oleh kurir *last-mile delivery* dan membandingkannya dengan model-model penelitian yang telah ada. Identifikasi dan perumusan masalah dilakukan dengan mengidentifikasi perbedaan antara kondisi nyata dengan model yang telah ada hingga saat ini.

4. Mengembangkan model

Model matematis yang dikembangkan pada penelitian ini menggunakan dasar referensi pada penelitian sebelumnya yang pernah dilakukan. Model penelitian yang dikembangkan menggabungkan kendala *site-dependent* (termasuk kendala kapasitas di dalamnya), prioritas, dan *time windows* pada model *vehicle routing problem*.

5. Melakukan verifikasi model

Model matematis yang telah dikembangkan perlu diuji untuk memastikan kesesuaian model dengan keadaan yang diharapkan dari model. Proses verifikasi dilakukan dengan membangun program berdasarkan model matematis dan menggunakannya untuk menyelesaikan contoh permasalahan. Hasil dari pengujian ini tidak boleh melanggar batasan yang telah ditetapkan.

6. Mengimplementasikan model pada kasus hipotetis

Pengimplementasian model pada kasus hipotetis dilakukan untuk memastikan model dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan sesuai keadaan nyata dan mencapai tujuan penelitian.

7. Menganalisis model penelitian

Analisis terhadap model penelitian dilakukan untuk melihat kemungkinan dan keberhasilan model penelitian untuk diterapkan di dunia nyata dan potensi pengembangan model pada penelitian selanjutnya.

8. Menarik kesimpulan dan saran

Kesimpulan ditarik pada akhir penelitian untuk menjawab tujuan penelitian. Saran terhadap pengembangan penelitian lebih lanjut juga diberikan pada akhir penelitian.

1.7 Sistematika Penulisan

Laporan penelitian berjudul “Pengembangan Model *Last-Mile Delivery Site-Dependent Vehicle Routing Problem with Priority and Time Windows* untuk Meminimalkan Total Biaya Perjalanan” terbagi menjadi lima bagian utama.

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab 1 berisi latar belakang masalah, identifikasi dan rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan dan asumsi penelitian, manfaat penelitian, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan dari penelitian yang dilakukan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab 2 berisikan teori-teori yang digunakan untuk menyelesaikan penelitian yang dilakukan. Teori-teori yang digunakan pada penelitian ini adalah *vehicle routing problem*, *site-dependent vehicle routing problem*, *vehicle routing problem with time windows*, dan *vehicle routing problem with relaxed priority*. Selain itu, Bab 2 juga berisi sintesis penelitian. Sintesis penelitian merupakan penjelasan pencarian celah kebaruan penelitian dan posisi penelitian dibandingkan dengan penelitian lain yang telah ada.

BAB 3 PENGEMBANGAN MODEL PENELITIAN

Bab 3 berisi rancangan model *site-dependent vehicle routing problem with priority and time windows* yang digunakan untuk meminimalkan total biaya perjalanan. Setelah model dirancang, model akan diverifikasi, diimplementasikan terhadap kasus sederhana, dan divalidasi.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab 4 membahas hasil implementasi model penelitian terhadap kasus hipotetis. Selanjutnya, model penelitian dianalisis terhadap penggunaannya pada kasus jasa ekspedisi di Indonesia.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab 5 berisi kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian yang dilakukan serta saran-saran yang dapat diberikan untuk penelitian lebih lanjut terhadap model serupa.