

**PENGEMBANGAN MODEL *GREEN TIME*
DEPENDENT HETEROGENEOUS VEHICLE ROUTING
PROBLEM UNTUK MEMINIMASI TOTAL BIAYA**

TESIS



Oleh:

Gregorios Yogas Sundara
8131901005

Pembimbing:
Dr. Carles Sitompul

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNVIERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG
2021**

**PENGEMBANGAN MODEL *GREEN TIME DEPENDENT*
HETEROGENEOUS VEHICLE ROUTING PROBLEM UNTUK
MEMINIMASI TOTAL BIAYA**

TESIS

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Dapat Mengikuti Seminar Hasil
Penelitian Tesis**



Oleh:

**Gregorios Yogas Sundara
8131901005**

**Pembimbing:
Dr. Carles Sitompul**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG
2021**



UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
PROGRAM PASCASARJANA

PERNYATAAN

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

Nama : Gregorios Yogas Sundara
Nomor Pokok Mahasiswa : 8131901005
Program Studi : ~~Magister Teknik Industri / Magister Teknik Kimia~~*)
Program Pascasarjana Fakultas Teknologi Industri
Universitas Katolik Parahyangan

Menyatakan bahwa Tesis / Disertasi *) dengan judul:

"Pengembangan Model Green Time Dependent Heterogeneous Vehicle Routing Problem untuk Meminimasi Total Biaya"

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 : 20 Agustus 2021



Gregorios Yogas Sundara

*) coret yang tidak perlu

HALAMAN PERSETUJUAN

**PENGEMBANGAN MODEL *GREEN TIME DEPENDENT*
HETEROGENEOUS VEHICLE ROUTING PROBLEM UNTUK
MEMINIMASI TOTAL BIAYA**



Oleh:

**Gregorios Yogas Sundara
8131901005**

**Persetujuan Untuk Sidang Tesis pada Hari/Tanggal:
Rabu, 25 Agustus 2021**

Pembimbing:



Dr. Carles Sitompul

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG
AGUSTUS 2021**

**PENGEMBANGAN MODEL *GREEN TIME DEPENDENT*
HETEROGENEOUS VEHICLE ROUTING PROBLEM UNTUK
MEMINIMASI TOTAL BIAYA**

**Gregorios Yogas Sundara (NPM: 8131901005)
Pembimbing Tunggal: Dr. Carles Sitompul
Magister Teknik Industri
Bandung
Agustus 2021**

ABSTRAK

Aktivitas logistik di perkotaan memicu konsumsi energi yang tinggi, terutama dari sektor bahan bakar minyak. Penggunaan energi ini berdampak buruk pada kondisi lingkungan, namun di sisi lain jumlah permintaan yang memaksa terjadinya perpindahan pun semakin tinggi. Perusahaan logistik dalam hal ini perlu berusaha untuk melakukan efisiensi biaya sekaligus efisiensi dalam pengurangan dampak terhadap lingkungan. Pada penelitian ini dilakukan penentuan rute kendaraan berdasarkan metode optimasi dan metode heuristik dari pengembangan model *green time dependent heterogeneous vehicle routing problem*. Model ini bertujuan untuk meminimasi total biaya yang melibatkan komponen biaya pengadaan kendaraan, biaya jarak tempuh, biaya waktu tempuh, serta biaya emisi yang merupakan konversi dari satuan emisi karbon. Model diimplementasi pada sebuah kasus yang terdiri dari 2 depot, 8 pelanggan, 2 jenis kendaraan, dan 2 interval waktu hari. Hasil rute optimal didapatkan melalui pemrograman *Python 3.8* dengan bantuan *solver* Gurobi. Metode heuristik pun berhasil menghasilkan rute dengan perbedaan total biaya 15% dari hasil optimal. Analisis sensitivitas kemudian dilakukan terhadap 5 parameter, dimana terdapat 2 parameter yang menunjukkan perubahan nilai variabel yaitu jumlah kendaraan dan jumlah permintaan. Beberapa saran untuk penelitian selanjutnya pun dibahas dalam penelitian ini.

Kata Kunci: *vehicle routing*, logistik perkotaan, emisi karbon, optimasi

GREEN TIME DEPENDENT HETEROGENEOUS VEHICLE ROUTING PROBLEM TO MINIMIZE TOTAL COST

Gregorios Yogas Sundara (NPM: 8131901005)

Adviser: Dr. Carles Sitompul

Magister of Industrial Engineering

Bandung

August 2021

ABSTRACT

Logistics activities in urban areas trigger high energy consumption, especially from the fuel oil sector. Energy use has a negative environmental impact, but on the other hand, the number of requests that force the movement to occur is also increasing. In this case, logistics companies need to strive for cost efficiency as well as reducing the impact on the environment. In this study, the determination of vehicle routes was carried out using optimization methods and heuristic methods from the development of a green time-dependent heterogeneous vehicle routing problem model. This model aims to minimize total costs involving the vehicle procurement cost, mileage cost, travel time cost, and emission cost which is conversions from carbon emission units. The model is implemented in a case consisting of 2 depots, 8 customers, 2 types of vehicles, and 2 time-intervals of the day. The optimal route results are obtained through Python 3.8 with a Gurobi solver. The heuristic method also succeeded in producing a route with a 15% total cost difference from the optimal solution. Sensitivity analysis is then carried out on 5 parameters, 2 parameters show changes in the value of the variable, namely the number of vehicles and the number of customer's demands. Several suggestions for further research are also discussed in this study.

Keyword: *vehicle routing, urban logistics, carbon emission, optimization*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan yang Maha Esa karena berkat kasih dan penyertaan-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian tesis berjudul “Pengembangan Model *Green Time Dependent Heterogeneous Vehicle Routing Problem* Untuk Meminimasi Total Biaya”. Penulis mengucapkan terima kasih atas semua bantuan dan dukungan yang telah diberikan selama penyelesaian tesis ini. Secara khusus penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Carles Sitompul selaku dosen pembimbing tesis yang telah membimbing dan membantu selama proses penyusunan tesis sehingga dapat diselesaikan dengan baik dan tepat waktu.
2. Bapak Y. M. Kinley Aritonang, Ph.D. selaku dosen pembahas tesis yang telah memberikan berbagai kritik dan masukan dalam penyusunan laporan tesis.
3. Bapak Dr. Julius Dharma Lesmono, S.Si., S.E., M.T., M.Sc. selaku dosen pembahas tesis yang telah memberikan berbagai kritik dan masukan dalam penyusunan laporan tesis.
4. Orang tua dan segenap keluarga penulis yang selalu memberikan doa dan dukungan untuk terus memotivasi penulis dalam menyelesaikan tesis.
5. Vanessa Vicario yang selalu memberikan waktu, motivasi, dan bantuan kepada penulis dalam proses pengerjaan tesis.
6. Daniel dan Kenny Reynaldo yang membantu penulis dalam proses pengerjaan tesis.
7. Dosen Magister Teknik Industri Universitas Katolik Parahyangan atas segala ilmu pengetahuan yang diberikan.

8. Teman-teman penulis yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah memberikan dukungan selama proses pembuatan laporan tesis.

Penulis menyadari bahwa laporan ini belum sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Akhir kata semoga tesis ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca, juga bagi perkembangan keilmuan Teknik Industri.

Bandung, 16 Agustus 2021

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL

HALAMAN PENGESAHAN TESIS

ABSTRAK

KATA PENGANTAR i

DAFTAR ISI iii

DAFTAR GAMBAR v

DAFTAR TABEL vi

DAFTAR LAMPIRAN vii

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Rumusan Masalah 1

1.2 Sintesis Penelitian 7

1.3 Tujuan Penelitian 13

1.4 Batasan dan Asumsi Penelitian 14

1.5 Manfaat Penelitian 14

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Vehicle Routing Problem 16

2.2 Time Dependent Vehicle Routing Problem 17

2.3 Heterogeneous Vehicle Routing Problem 21

2.4 Time Dependent Heterogeneous Vehicle Routing Problem with Time Window 24

2.5 *Vehicle Routing Problem* pada Konteks Logistik Berkelanjutan 27

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

BAB 4 MODEL PENELITIAN

4.1 Pengembangan Model Penelitian 33

4.1.1	Notasi Model	38
4.1.2	Fungsi Objektif	40
4.1.3	Batasan	41
4.2	Implementasi Model dengan Optimasi	43
4.3	Implementasi Model dengan Heuristik	51
4.3.1	Tahap Initialization	54
4.3.2	Tahap <i>Improvement</i>	55
4.3.3	Hasil Implementasi Model dengan Heuristik	57
4.4	Analisis Sensitivitas	61
4.4.1	Perbandingan Biaya Tetap dan Biaya Variabel	61
4.4.2	Perubahan Seluruh Biaya Variabel	65
4.4.3	Perubahan Jumlah Waktu Hari	66
4.4.4	Perubahan Jumlah Kendaraan dan Kapasitas	68
4.4.5	Perubahan Jumlah Permintaan Pelanggan	70
4.5	Diskusi dan Pembahasan	72
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan	76
5.2	Saran	77
DAFTAR PUSTAKA		79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Jumlah Orang yang Tinggal di Area Perkotaan dan Pedesaan	1
Gambar 1.2 Emisi GRK Nasional Tahun 2000-2017	2
Gambar 1.1 Sintesis Penelitian	8
Gambar 2.1 Fungsi waktu tempuh untuk garis i, j dengan 3 interval ($M_{ij} = 3$)	18
Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian	30
Gambar 4.1 Sebaran Lokasi Pelanggan dan Depot Kasus G-TDHVRPTW-A1	45
Gambar 4.2 Rute Pelanggan Hasil Implementasi Model G-TDHVRPTW	48
Gambar 4.3 Rute Pelanggan Hasil Implementasi Kasus G-TDHVRPTW-B1	49
Gambar 4.4 Sebaran Lokasi Pelanggan dan Depot Kasus G-TDHVRPTW-B2	49
Gambar 4.5 Rute Pelanggan Hasil Implementasi Kasus G-TDHVRPTW-B2	50
Gambar 4.6 Rute Pelanggan Hasil Implementasi Kasus G-TDHVRPTW-B3	51
Gambar 4.7 Diagram Alir Metode Heuristik untuk Model G-TDHVRPTW	53
Gambar 4.8 Ilustrasi Tahap <i>Initialization</i>	55
Gambar 4.9 Ilustrasi Penukaran <i>Edge</i> pada Tahap <i>Improvement</i> (sumber: (Hosny, 2011))	56
Gambar 4.10 Rute Pelanggan Hasil Implementasi Metode Heuristik Model G-TDHVRPTW	58
Gambar 4.11 Sebaran Lokasi Pelanggan dan Depot Kasus G-TDHVRPTW-C1	59
Gambar 4.12 Rute Pelanggan Hasil Implementasi Kasus G-TDHVRPTW-C1	61

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Penelitian berdasarkan Tujuan Penelitian	10
Tabel 1.2 Sintesa Penelitian berdasarkan Batasan VRP	11
Tabel 2.3 Indikator Pilar Logistik Berkelanjutan	28
Tabel 4.1 Notasi Model Penelitian Referensi	34
Tabel 4.2 Data Kendaraan	44
Tabel 4.3 Data Pelanggan dan Depot	46
Tabel 4.4 Analisis Sensitivitas Biaya Pengadaan Kendaraan vs Biaya Bahan Bakar	62
Tabel 4.5 Analisis Sensitivitas Biaya Pengadaan Kendaraan vs Biaya Waktu Tempuh	63
Tabel 4.6 Analisis Sensitivitas Biaya Pengadaan Kendaraan vs Biaya Emisi	64
Tabel 4.7 Analisis Sensitivitas Biaya Bahan Bakar, Biaya Waktu Tempuh, dan Biaya Emisi	65
Tabel 4.8 Analisis Sensitivitas Jumlah Waktu Hari	67
Tabel 4.9 Analisis Sensitivitas Jumlah Kendaraan dan Kapasitas	68
Tabel 4.10 Analisis Sensitivitas Permintaan Pelanggan	70

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. <i>Coding</i> Model Optimasi G-TDHVRPTW Python 3.8	1
Lampiran 2. Hasil <i>Running</i> Model Optimasi G-TDHVRPTW Python 3.8	7
Lampiran 3. <i>Coding</i> Metode Heuristik untuk Model G-TDHVRPTW Python 3.8	17
Lampiran 4. Solusi Optimal dan Heuristik Analisis Sensitivitas Perbandingan Cfk dan Cdk	28
Lampiran 5. Solusi Optimal dan Heuristik Analisis Sensitivitas Perbandingan Cfk dan Ctk	36
Lampiran 6. Solusi Optimal dan Heuristik Analisis Sensitivitas Perbandingan Cfk dan Cek	44
Lampiran 7. Solusi Optimal dan Heuristik Analisis Sensitivitas Cdk, Ctk, dan Cek	52
Lampiran 8. Solusi Optimal dan Heuristik Analisis Sensitivitas Waktu Hari	60
Lampiran 9. Solusi Optimal dan Heuristik Analisis Sensitivitas Jumlah Kendaraan dan Kapasitas	62
Lampiran 10. Solusi Optimal dan Heuristik Analisis Sensitivitas Permintaan Pelanggan	64

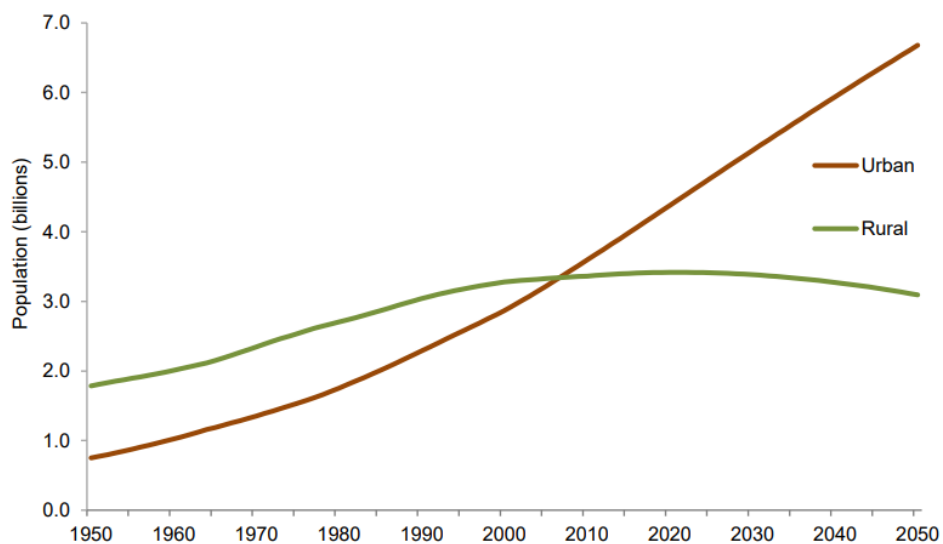
BAB 1

PENDAHULUAN

Bab ini berisikan rumusan masalah, sintesis penelitian, tujuan, batasan dan asumsi penelitian, serta manfaat dari penelitian ini.

1.1 Rumusan Masalah

Pada tahun 2017, data dari *UN World Urbanization Prospects* menunjukkan bahwa terdapat 4.1 milyar orang yang tinggal di area perkotaan. Area perkotaan menanggung 55% dari total jumlah orang yang tinggal di bumi. Apabila dilakukan pemetaan, dari tahun ke tahun jumlah orang yang tinggal di area perkotaan terus meningkat. Sejak tahun 2007, terlihat pada Gambar 1, jumlah populasi area perkotaan sudah melebihi jumlah populasi area pedesaan dan terus meningkat.



Gambar 1.1 Jumlah Orang yang Tinggal di Area Perkotaan dan Pedesaan
(Sumber: Departemen of Economic and Social Affairs United Nation, 2018)

Jumlah ini diprediksikan akan terus meningkat bahkan pada tahun 2050 akan mencapai hampir 7 milyar orang yang tinggal di area perkotaan dengan jumlah total populasi yang diproyeksikan sebanyak 9,8 milyar orang. Tentunya urbanisasi ini memberikan dampak terhadap area perkotaan baik positif maupun negatif.

Menurut Bretzke (2013), area perkotaan mengkonsumsi energi sejumlah 75% dari total dan juga menghasilkan 80% dari total gas rumah kaca. Di Indonesia, menurut kementerian ESDM tahun 2018, dikatakan bahwa konsumsi energi nasional terbesar adalah Bahan Bakar Minyak. Tercatat jumlah konsumsi energi nasional meningkat 9% pada tahun 2017, sebesar 1,23 miliar *Barrels Oil Equivalent* (BOE). *Barrels Oil Equivalent* (BOE) adalah satuan yang umum digunakan untuk energi yang setara dengan energi hasil pembakaran 1 barrel (42 galon atau 160 Liter) minyak mentah (Martínez et al., 2019). Emisi gas rumah kaca berhubungan secara langsung dengan konsumsi bahan bakar minyak (Ericsson et al., 2006).



Gambar 1.2 Emisi GRK Nasional Tahun 2000-2017
(Sumber: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2019)

Sejalan dengan peningkatan jumlah konsumsi energi ini, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Indonesia pun menyampaikan bahwa sektor energi berkontribusi paling besar terhadap gas rumah kaca (GRK) pada tahun 2017 yaitu sebesar 48% dari total (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2019). Namun jumlah ini belum mengikut-sertakan sumber emisi sektor energi yang berasal dari kegiatan transportasi, injeksi, dan penyimpanan karbon dioksida. Apabila melihat data di negara lain seperti United States, menurut United States Environmental Protection Agency (2020), pada tahun 2018 emisi gas rumah kaca yang berasal dari sektor transportasi adalah sebesar 28,2% dan menjadi kontributor terbesar untuk emisi GRK di U.S. Sementara data dari global, emisi GRK yang berasal dari transportasi adalah sebesar 14%, dimana 95% bahan bakar yang digunakan oleh transportasi adalah bahan bakar minyak jenis bensin (premium, pertalite, pertamax, dsb) maupun jenis solar. Menurut United States Environmental Protection Agency (2020), pada tahun 2018 jumlah emisi gas rumah kaca dari bahan bakar minyak didominasi oleh aktivitas transportasi logistik kendaraan truk muatan kecil, sedang, dan besar (84%) untuk bahan bakar solar. Sehingga dalam hal ini aktivitas transportasi logistik menjadi salah satu pemberi sumbangsih terbesar bagi emisi gas rumah kaca.

Jumlah emisi GRK pun mengalami peningkatan pada tahun 2000 hingga 2015 seperti dapat dilihat pada Gambar 1.2. Penurunan jumlah gas rumah kaca pun menjadi tujuan dari kementerian lingkungan hidup dan kehutanan sejak tahun 2015 dan telah berhasil menurunkan emisi GRK pada tahun 2016 dan 2017. Sementara target penurunan emisi GRK ini akan terus berlangsung untuk tahun mendatang. Konsumsi bahan bakar minyak salah satunya datang dari aktivitas logistik

perkotaan, terutama aktivitas logistik di bidang transportasi. Masyarakat harus mulai menyadari pentingnya menjaga lingkungan dengan menerapkan strategi transportasi logistik yang baik (Tan et al., 2019), mengingat permintaan akan perpindahan menjadi salah satu faktor yang memberikan sumbangsih pada dampak lingkungan (Ericsson et al., 2006). Optimasi aktivitas transportasi logistik dapat menjadi salah satu pilihan dalam perencanaan pengurangan dampak lingkungan, daripada hanya mengandalkan pendekatan optimisasi biaya (Glock & Kim, 2015). Dalam penerapannya, optimasi aktivitas transportasi logistik dalam rangka meminimasi emisi gas rumah kaca dan meminimasi biaya ini dapat diaplikasikan perusahaan penyedia layanan logistik di Indonesia seperti JNE, J&T, dsb. dan juga dapat diaplikasikan bagi penyedia layanan transportasi publik.

Optimasi aktivitas transportasi logistik dapat dicapai dengan menyelesaikan permasalahan penentuan rute kendaraan. VRP (*Vehicle Routing Problem*) merupakan topik umum yang dapat mengatasi permasalahan mengenai perbaikan perencanaan rute kendaraan yang optimal dengan menggunakan beberapa batasan kendala (MirHassani & Mohammadyari, 2014) untuk mencapai tujuan tertentu seperti jarak tempuh terpendek, biaya terendah, dan sebagainya (Chu & Hsu, 2019).

Dalam penelitiannya, Bretzke (2013) menyatakan bahwa kemacetan lalu lintas menjadi masalah perkotaan yang paling mendesak di seluruh dunia. Di Jakarta, Indonesia, jumlah mobil pribadi telah meningkat menjadi 10 juta dibandingkan dengan 10 tahun lalu yang hanya 3 juta mobil. Data dari Badan Pusat Statistik pada tahun 2018 pun menunjukkan adanya tren kenaikan jumlah kendaraan bermotor sejumlah 24% dari tahun 2014 hingga 2018 (Badan Pusat

Statistik, 2020). Lalu lintas angkutan yang semakin padat menjadi sumber kemacetan utama dalam area perkotaan (Taniguchi et al., 2002), terutama bagi perkotaan pada umumnya yang tidak memiliki sistem logistik yang komperhensif (Barceló et al., 2013). Sistem logistik komperhensif yang telah diusulkan adalah menggunakan ITS (*Intelligent Transport System*) (Taniguchi & Yamada, 2016). ITS merupakan sistem yang memiliki tujuan untuk meminimasi permasalahan lalu lintas, memberikan informasi mengenai ketersediaan kendaraan umum atau komuter, dan menambah keamanan serta kenyamanan pada penggunaan transportasi.

Di Indonesia, usaha penurunan tingkat kemacetan pun sudah dilakukan dengan menerapkan penggunaan ITS. Terbukti dengan adanya peningkatan jumlah kota yang menerapkan *Area Traffic Control System* (ATCS) sebagai salah satu ITS dari tahun 2014 hingga 2018 menurut data dari Direktorat Jenderal Perhubungan Darat. ATCS merupakan sistem pengendalian lalu lintas jarak jauh dan terpusat yang berbasis teknologi informasi untuk mengoptimalkan kinerja jaringan jalan perkotaan dengan mengatur lampu lalu lintas di setiap persimpangan. Pada tahun 2018 tercatat sudah 37 kota yang menerapkan ATCS pada sistem lalu lintas mereka (Direktorat Jenderal Perhubungan Darat, 2018). Namun demikian, berdasarkan pengamatan, penggunaan ATCS belum terintegrasi dengan sistem distribusi logistik perkotaan. Kendala kemacetan dalam model VRP dapat disebut sebagai kendala *time dependent*.

Selain tingkat kemacetan yang tinggi, kendala lain yang dapat mempersulit perusahaan distribusi logistik perkotaan di Indonesia dalam rangka mencari rute optimal bagi kegiatan distribusi yang mereka lakukan adalah beraneka-ragamnya

jenis kendaraan yang digunakan (Glock & Kim, 2015). Keberanekaragaman kendaraan ini di Indonesia juga dipicu karena faktor daerah yang dijangkau, dimana tidak setiap daerah dapat dijangkau dengan menggunakan jenis kendaraan besar. Misalnya, perusahaan J&T yang menggunakan berbagai macam jenis kendaraan operasional, antara lain: sepeda motor, truk pick up, truck colt diesel, dan truck fuso engkel, dsb.

Kapasitas setiap kendaraan operasional berbeda-beda dan hal ini dapat menjadi kendala dalam penentuan rute optimal pendistribusian logistik. Dalam beberapa penelitian VRP, kondisi seperti ini disebut juga dengan *heterogeneous vehicle*. Maka dalam memodelkan sistem logistik di Indonesia, baik untuk memperhatikan faktor *time-dependent* dan faktor *heterogeneous* dalam perencanaan penjadwalan mereka dan selanjutnya akan menjadi fokus dalam penelitian ini. Setelah melakukan identifikasi tersebut, maka rumusan masalah dari penelitian ini adalah: Bagaimana rancangan model optimasi VRP dalam rangka meminimasi emisi gas rumah kaca (karbon) dan meminimasi biaya dengan memperhatikan kondisi kemacetan yang saat ini ada, serta perbedaan kapasitas armada kendaraan yang dimiliki (TDHVRP – *Time Dependent Heterogeneous Vehicle Routing Problem*). Dengan demikian penelitian ini pun mengarah pada konsep *green/sustainability logistics* yang memperhatikan 3 buah indikator yaitu, indikator ekonomi (minimasi biaya), indikator lingkungan (minimasi emisi gas rumah kaca), serta indikator sosial (kendala kemacetan) (Cinar et al., 2017).

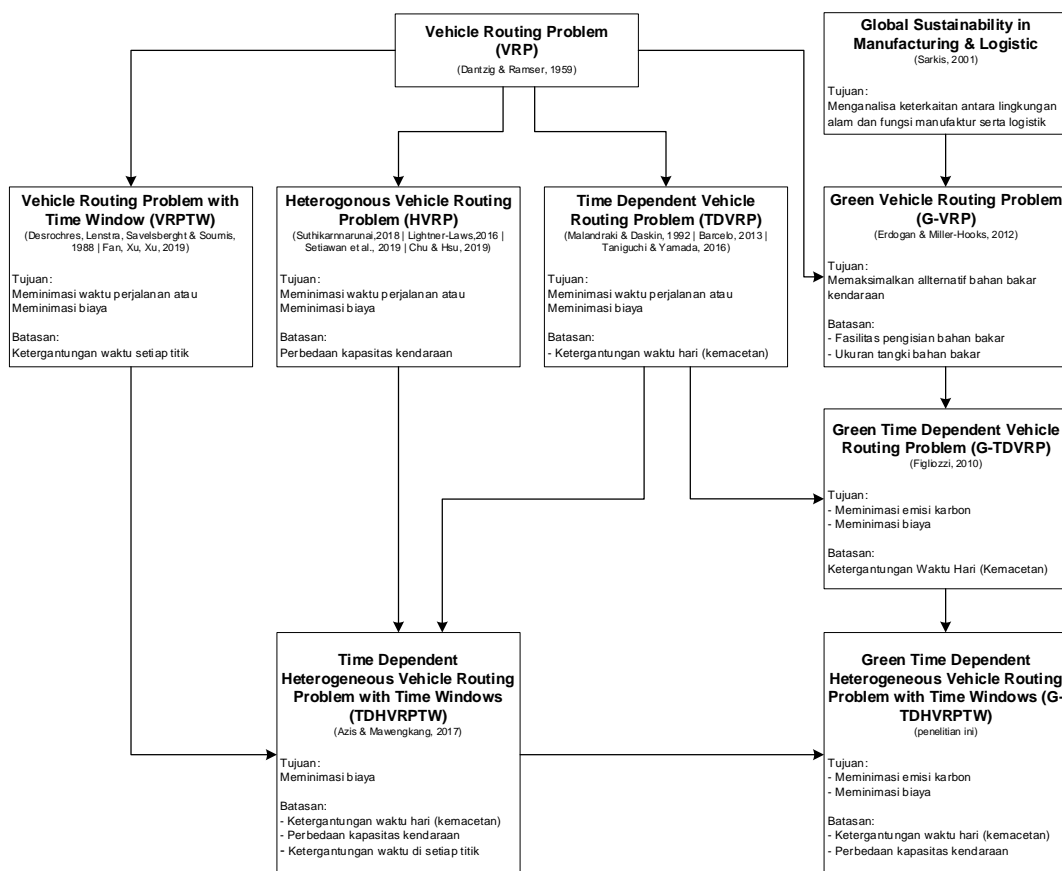
1.2 Sintesis Penelitian

Pada bagian ini diberikan pemaparan mengenai penelitian-penelitian sebelumnya yang berhubungan dengan *Green VRP* dan *TDHVRP*. Sintesis penelitian dibuat berdasarkan referensi-referensi seperti jurnal internasional dan buku dari hasil studi literatur. Posisi dari penelitian ini digambarkan berdasarkan hasil dari sintesis penelitian. Model *Green VRP* pertama kali terdapat pada penelitian Erdogan & Miller-Hooks (2012), dimana model tersebut merupakan model VRP dengan tujuan utama untuk meminimasi dampak buruk terhadap lingkungan. Ide awalnya dimulai dari penelitian Sarkis (2001) yang pada jaman itu mulai membahas mengenai dampak lingkungan bagi manufaktur dan logistik. Dalam penelitian Erdogan & Miller-Hooks (2012), tujuannya adalah untuk memaksimalkan penggunaan alternatif bahan bakar dengan memperhatikan kendala ukuran tangki kendaraan dan fasilitas pengisian bahan bakar.

Setelah itu *G-VRP* berkembang hingga terdapat beberapa penelitian yang memiliki tujuan untuk mencegah dampak pada lingkungan terutama konsumsi energi dan gas rumah kaca seperti penelitian oleh MirHassani & Mohammadyari (2014), Tan et al. (2019), Sawik et al. (2017), dan Li et al. (2019). Bahkan dikatakan konsep *carbon footprint* juga bisa menjadi salah satu faktor dalam model VRP (Jharkharia & Das, 2019). Penelitian-penelitian seperti inilah yang disebut sebagai penelitian berbasis *green-VRP*.

Model VRP sendiri pertama kali dirumuskan oleh Dantzig & Ramser (1959) sudah berkembang pesat hingga terdapat berbagai kendala dalam model-model penelitian secara umum, dimana salah satunya adalah TDHVRP. Terdapat 2 varian VRP yang mendasari terbentuknya model TDHVRP yaitu *time dependent*

vehicle routing problem (TDVRP), heterogeneous vehicle routing problem (HVRP), dan vehicle routing problem with time window (VRPTW). Terdapat penelitian-penelitian dengan topik VRP yang menambahkan kendala kemacetan dalam penelitiannya dengan menerapkan TDVRP: (Barceló et al., 2013), (Taniguchi & Yamada, 2016), (Taniguchi & Yamada, 2016), (Malandraki & Daskin, 1992). Penelitian-penelitian berikut adalah penelitian dengan topik VRP yang menambahkan kendala kapasitas kendaraan HVRP: (Lightner-Laws et al., 2016), (Setiawan et al., 2019), (Glock & Kim, 2015), dan (Chu & Hsu, 2019). Sementara penelitian-penelitian yang menggunakan kendala *time window* cukup banyak, dimana diawali oleh model matematis yang dikembangkan oleh Desrochers et al. (1988).



Gambar 2.1 Sintesis Penelitian

Kendala yang ditambahkan dalam model penelitian G-VRP berkembang seiring perkembangan dari VRP sendiri. Penelitian berbasis G-VPR yang menggunakan minimasi emisi karbon sebagai tujuannya, menggunakan batasan seperti *pick-up/delivery problem* (Jharkharia & Das, 2019) (Qin et al., 2019) (Tan et al., 2019), *capacitated problem* (MirHassani & Mohammadyari, 2014) (Tan et al., 2019), dan *heterogeneous vehicle* (Glock & Kim, 2015). Sejauh ini masih belum ada penelitian G-VRP yang membahas mengenai minimasi emisi karbon dengan memperhatikan kondisi kemacetan lalu lintas sekaligus mempertimbangkan kapasitas kendaraan yang berbeda dan mempertimbangkan *time window*. Padahal kondisi kemacetan dan kapasitas kendaraan menjadi permasalahan dalam hal penjadwalan distribusi logistik di Indonesia sebagaimana yang telah disampaikan pada bagian latar belakang. Maka dari itu pada penelitian ini dicoba untuk mempertimbangkan ketiga hal tersebut. Pada model pun akan ditambahkan pertimbangan *multi depot* yang dapat melayani pelanggan-pelanggan. Dengan demikian model matematis yang dibentuk dalam penelitian ini diharapkan dapat lebih dekat dengan realita yang terjadi.

Tabel 1.1 berisikan posisi penelitian ini dibandingkan dengan studi VRP dan G-VRP yang telah dilakukan pada penelitian-penelitian sebelumnya berdasarkan tujuan penelitian, sementara Tabel 1.2 berisikan posisi penelitian berdasarkan batasan yang diterapkan pada model VRP. Pada penelitian-penelitian sebelumnya baru ada satu buah penelitian yang cukup dekat dengan model yang diharapkan pada penelitian ini yaitu penelitian (Azis & Mawengkang, 2017) yang meliputi pertimbangan *time dependent*, *time window*, dan *heterogeneous*. Penelitian (Azis & Mawengkang, 2017) ini menjadi dasar dari pembuatan model matematis

dari penelitian ini dengan tambahan pertimbangan dari segi minimasi emisi gas rumah kaca. Untuk semakin mendekati kondisi nyata logistic perkotaan, maka batasan *multi-depot* juga ditambahkan.

Tabel 1.1 Penelitian berdasarkan Tujuan Penelitian

Penelitian	Single (S)/ Multiple (M) Objective	Tujuan										
		Minimize Total Travel Time	Minimize Cost	Minimize Carbon Emission	Minimize Fuel Consumption	Minimize Total Number of Vehicle	Minimize Total Distance	Service Responsibility	Determine Job Assignment	Minimize Altitude	Maximize Delivered Palette	Evaluating Methods
VRP												
Barcelo, Grzybowska, Leyva (2013)	S	✓										
Rabbani, Pourreza, Farrokhi (2017)	S	✓										
Sawik, Faulin, Perez-Beranabeu (2017)	M					✓			✓	✓		
Setiawan, Masruroh (2019)	S		✓									
Chu, Hsu (2019)	S		✓									
Fan, Xu, Xu (2009)	M					✓	✓	✓				
Lightner-Laws, Agrawal, Lightner, Wagner (2015)	M	✓							✓			
Li, Lim, Tseng (2018)	S		✓									
Pankratz (2006)	S											✓
Rautela, Sharma, Bhardwaj (2019)	S		✓									
Arviyanto, Setiawan, Saptadi (2014)	M	✓	✓			✓						
Taniguchi, Yamada, Tamaishi (2017)	M		✓				✓					
Taniguchi, Yamada (2017)	M	✓	✓			✓						
Iswari, Asih (2017)	S		✓									
Lombard, Fontane (2018)	S	✓										
Malandraki & Daskin (1992)	S	✓										
Zainal Azis & Herman Mawengkang (2017)	S		✓									
Green VRP												
Glock & Kim (2013)	M		✓	✓								
Jharkharia & Das (2019)	S			✓								
MirHassani & Mohammadyari (2014)	S				✓							
Tan, Deng, Li, Yuan (2019)	M			✓	✓							
Qin, Tao, Li, Chen (2019)	M		✓	✓								
Posisi Penelitian Ini												
Posisi Penelitian Ini	M		✓	✓								

Tabel 1.2 Sintesa Penelitian berdasarkan Batasan VRP

Penelitian	Kendala											
	<i>Time-Windows</i>	<i>Time-Dependent</i>	<i>Pick-up / Delivery</i>	<i>Heterogonous</i>	<i>Fuel Consumption</i>	<i>Multi-Destination</i>	<i>Multi-Trip</i>	<i>Multi-Products</i>	<i>Multi-Depot</i>	<i>Dynamic Pick-up</i>	<i>Capacitated</i>	<i>Cold Chain Logistics</i>
VRP												
Barcelo, Grzybowska, Leyva (2013)	✓	✓	✓									
Rabbani, Pourreza, Farrokhi (2017)	✓					✓					✓	
Sawik, Faulin, Perez-Beranabeu (2017)												
Setiawan, Masruroh (2019)				✓			✓	✓				
Chu, Hsu (2019)	✓			✓			✓					
Fan, Xu, Xu (2009)	✓											
Lightner-Laws, Agrawal, Lightner, Wagner (2015)	✓		✓	✓					✓			
Li, Lim, Tseng (2018)												✓
Pankratz (2006)	✓		✓							✓		
Rautela, Sharma, Bhardwaj (2019)											✓	
Arviyanto, Setiawan, Saptadi (2014)	✓			✓			✓	✓				
Taniguchi, Yamada, Tamaishi (2017)	✓	✓										
Taniguchi, Yamada (2017)	✓	✓	✓									
Iswari, Asih (2017)											✓	
Lombard, Fontane (2018)		✓										
Malandraki & Daskin (1992)	✓	✓									✓	
Zainal Azis & Herman Mawengkang (2017)	✓	✓		✓								
Green VRP												
Glock & Kim (2013)				✓								
Jharkharia & Das (2019)			✓									
MirHassani & Mohammadyari (2014)					✓						✓	
Tan, Deng, Li, Yuan (2019)			✓								✓	
Qin, Tao, Li, Chen (2019)			✓									
Posisi Penelitian Ini												
Posisi Penelitian Ini	✓	✓		✓					✓			

Dalam masalah VRP, umumnya digunakan model matematis berupa *Mixed-Integer Programming* seperti pada penelitian Glock & Kim (2015), Jharkharia & Das (2019), Sawik et al. (2017), Setiawan et al. (2019), dengan metode penyelesaian masalah yang berbeda-beda. Pada penelitian Rabbani et al. (2018), digunakan *Genetic Algorithm (GA)* dan *Hybrid Genetic Algorithm (HGA)* sebagai metode penyelesaian untuk permasalahan minimasi total biaya. Terdapat variasi *Genetic Algorithm* lain yang juga digunakan, yaitu:

1. *Nested Genetic Algorithm* pada penelitian Lightner-Laws et al. (2016) untuk penyelesaian multi-objektif.
2. *Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm* pada penelitian Fan et al. (2009) untuk penyelesaian multi-objektif.
3. *Grouping Genetic Algorithm* pada penelitian Pankratz (2005) untuk mengevaluasi *dynamic pickup, pickup/delivery, dan time windows*.

Terdapat juga penelitian-penelitian yang menggunakan heuristik selain Genetic Algorithm sebagai metode penyelesaian masalah. Barceló et al. (2013) menggunakan *Insertion Based Algorithm*, MirHassani & Mohammadyari (2014) menggunakan *Gravitational Search Algorithm*, Li et al. (2019) menggunakan algoritma *PSO* dan *Modified-PSO*, Rautela et al. (2019) menggunakan *Cheapest Link Algorithm* dan Qin et al. (2019) menggunakan algoritma *Genetic-Hill Climbing*. Pengembangan penggunaan algoritma pun semakin meluas, bahkan pada penelitiannya, Tan et al. (2019) menggunakan algoritma 2 fase. Fase pertama digunakan *Hybrid Ant Colony Optimization* dan pada fase kedua digunakan *Multiple Population Genetic Algorithm*.

Berdasarkan sintesis metode penyelesaian masalah, *Genetic Algorithm* telah diverifikasi dapat menyelesaikan permasalahan minimasi emisi karbon (Qin et al., 2019). Bahkan *genetic algorithm* pun dapat digunakan bersamaan dengan algoritma lain seperti HACO (*Hybrid Ant Colony Optimization*) (Tan et al., 2019) dan menghasilkan performa yang baik setelah divalidasi dengan menggunakan data dari kondisi nyata. Pada penelitian ini penyelesaian model matematis akan dilakukan dengan menggunakan metode heuristik yang diambil dari beberapa sumber literatur sehingga mencakup seluruh batasan dari model G-TDHVRP.

Berdasarkan identifikasi masalah yang dipaparkan, maka dapat dibuat rumusan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana model *green time dependent vehicle routing problem* dengan mempertimbangkan *time windows* dan *multi-depot*?
2. Bagaimana hasil pencarian solusi dengan menggunakan metode optimasi dan menggunakan metode heuristik?
3. Bagaimana tingkat sensitivitas dari parameter model G-TDHVRPTW terhadap solusi yang diperoleh?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dibuat, tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengembangkan model optimasi VRP dengan mempertimbangkan *time-dependent travel time, time window, dan heterogeneous* (TDHVRPTW) dalam rangka meminimasi biaya total yang di dalamnya mencakup emisi gas rumah kaca.

2. Melakukan pencarian solusi dengan menerapkan beberapa kasus, menggunakan metode optimasi dan metode heuristik yang dikembangkan.
3. Mengetahui tingkat sensitivitas parameter model G-TDVRPTW terhadap solusi yang diperoleh.

1.4 Batasan dan Asumsi Penelitian

Beberapa pembatasan dilakukan terhadap permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini. Batasan-batasan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Ukuran performansi biaya hanya meliputi biaya pengadaan transportasi, biaya perjalanan, biaya waktu, serta biaya emisi gas rumah kaca yang merupakan konversi dari volume emisi gas rumah kaca.
2. Rute kendaraan terbatas pada waktu perjalanan yang dapat diselesaikan dalam waktu satu hari (perjalanan jangka pendek).

Asumsi yang ditetapkan untuk menyederhanakan permasalahan yang diteliti adalah sebagai berikut:

1. Kecepatan tempuh kendaraan untuk setiap interval waktu, jarak antar titik, kapasitas setiap jenis kendaraan dan permintaan pelanggan bersifat deterministik.
2. Volume emisi gas rumah kaca hanya dihitung pada saat kendaraan berjalan atau berpindah.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut.

1. Memberikan kontribusi terhadap pengembangan model G-TDVRPTW.

2. Memberikan wawasan bagi pembaca mengenai topik TDVRPTW dan *Green VRP* dalam konteks pengurangan emisi gas rumah kaca.