

**PENGEMBANGAN MODEL
CAPACITATED VEHICLE ROUTING PROBLEM
DENGAN PRIORITAS PENGIRIMAN**

SKRIPSI

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

disusun oleh:

Nama : Ivo Vilery Putri Izzatin Nufus

NPM : 2017610164



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
2022**

**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG**



Nama : Ivo Vilery Putri Izzatin Nufus
NPM : 2017610164
Program Studi : Sarjana Teknik Industri
Judul Skripsi : **PENGEMBANGAN MODEL CAPACITATED
VEHICLE ROUTING PROBLEM DENGAN
PRIORITAS PENGIRIMAN**

TANDA PERSETUJUAN SKRIPSI

Bandung, 30 Januari 2022
**Ketua Program Studi Sarjana
Teknik Industri**

(Dr. Ceicalia Tesavrita, S. T., M.T.)

Pembimbing Tunggal

(Dr. Sugih Sudharma Tjandra, S. T., M. Si.)



PERNYATAAN TIDAK MENCONTEK ATAU MELAKUKAN PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,
Nama : Ivo Vilery Putri Izzatin Nufus
NPM 2017610164

dengan ini menyatakan bahwa Skripsi dengan Judul:
**PENGEMBANGAN MODEL *CAPACITATED VEHICLE ROUTING PROBLEM*
DENGAN PRIORITAS PENGIRIMAN**

adalah hasil pekerjaan saya dan seluruh ide, pendapat atau materi dari sumber lain telah dikutip dengan cara penulisan referensi yang sesuai.

Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dan jika pernyataan ini tidak sesuai dengan kenyataan, maka saya bersedia menanggung sanksi yang akan dikenakan kepada saya.

Bandung, 29 Januari 2022

Ivo Vilery Putri Izzatin Nufus
NPM : 2017610164

ABSTRAK

Transportasi merupakan sebuah sarana yang pasti digunakan dalam kehidupan sehari-hari, terlebih pada ruang lingkup industri. Transportasi sendiri menjadi suatu hal yang dianggap krusial karena dapat mempengaruhi proses lainnya yang ada dalam rantai pasok. Sebagian besar biaya yang dikeluarkan dalam rantai pasok berasal dari biaya transportasi. Semakin jauh jarak yang ditempuh maka semakin besar juga biaya yang harus dikeluarkan.

CVRP merupakan suatu model pengembangan dari VRP dasar, yang mana model ini dibuat untuk menyelesaikan permasalahan dalam penentuan rute optimal dengan adanya batasan kapasitas kendaraan. Masih belum ada model yang tepat untuk dapat merepresentasikan permasalahan CVRP dengan adanya prioritas pengiriman. Pada penelitian ini dilakukan pengembangan model *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) dengan prioritas pengiriman. Dilakukan juga pengembangan pada algoritma metaheuristik menggunakan *Simulated Annealing* (SA) untuk dapat mempermudah pengguna dalam menyelesaikan permasalahan dengan skala yang lebih besar karena adanya keterbatasan AMPL (solusi eksak) dalam memberikan solusi.

Model CVRP dengan adanya prioritas pengiriman menggunakan model matematis dasar, dengan menambahkan batasan baru (persamaan dan matriks prioritas). Pengujian dari penerapan model CVRP dengan adanya prioritas pengiriman pada kasus hipotetik pun berhasil dilakukan karena setiap kendaraan mengunjungi node prioritas terlebih dahulu dan tidak ada kendaraan yang mengangkut lebih dari kapasitas kendaraan. Penerapan algoritma metaheuristik SA sudah memberikan hasil yang baik dan sudah mendekati optimal untuk beberapa kasus. Perlu dilakukannya penelitian lebih lanjut untuk mengembangkan algoritma agar menjadi lebih baik lagi dan dapat lebih merepresentasikan keadaan aktual di dunia nyata.

Kata Kunci: *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP), *Simulated Annealing*, Rantai Pasok, Transportasi, AMPL

ABSTRACT

Transportation is something that definitely used everyday, especially in industrial scope. Transportation itself is also something crucial because it can affect other processes in supply chain. Most of the costs incurred in the supply chain come from transportation costs. The more further the distance that the vehicle took, the greater the costs.

CVRP is a development model of basic VRP, in which this model was created to solve problems in determining the optimal route in the presence of vehicle capacity limitations. There is still no exact model that can be used to represent the CVRP problem with delivery priority. In this research, a Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) model was developed with delivery priority. The development of metaheuristic algorithms using Simulated Annealing (SA) is also carried out to make it easier for users to solve problems on a larger scale because of AMPL (exact solver) in providing solutions.

The CVRP model with the delivery priority uses a basic mathematical model, by adding new constraints (matrix and priority equation). The test of the application of the CVRP model with the delivery priority in the hypothetical case was successfully carried out because each vehicle visited the priority node first and no vehicle carried more than the vehicle capacity. The application of the SA metaheuristic algorithm has given good results and is close to optimal best solutions for some cases. Further research is needed to develop the algorithms so it can give better solutions and be more representative of actual condition in the real world.

Keywords : *Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP), Simulated Annealing, Supply Chain, Transportation, AMPL*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dengan judul “Pengembangan Model *Capacitated Vehicle Routing Problem* dengan Prioritas Pengiriman”.

Dalam proses penelitian dan penyusunan laporan ini, penulis menghadapi banyak kesulitan yang tidak bisa penulis lewati tanpa adanya bimbingan, bantuan, doa, semangat, serta dukungan yang telah diberikan oleh banyak pihak. Oleh karenanya penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada pihak-pihak yang telah berkontribusi sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini. Terima kasih sebesar-besarnya penulis sampaikan, khususnya kepada:

1. Bapak Dr. Sugih Sudharma Tjandra, S.T., M.Si. dan Bapak Fran Setiawan, S. T., M.T., yang telah membimbing, membagikan ilmunya, memberikan masukan, memberikan semangat, serta motivasi kepada penulis dalam setiap proses yang penulis lalui sampai penelitian ini dapat diselesaikan.
2. Keluarga, terutama orang tua penulis yang selalu memberikan semangat serta motivasinya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini.
3. Bapak Y. M. Kinley Aritonang, Ph. D dan Bapak Dedi Suryadi, S.T., M.S., Ph. D., selaku dosen penguji proposal penulis yang telah memberikan masukan dan perbaikan pada proposal penelitian ini.
4. Kak Alif, Kak Firhan, dan Vina, yang senantiasa meluangkan waktunya untuk membantu mengajari penulis dalam pembuatan program. Abelio Ravly, yang selalu bersedia untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan penulis saat proses dan penyusunan penelitian.
5. Farrel Edgarda, Pradenja Ayuningtiyas, dan Pramaisya Btari, orang-orang terdekat penulis yang selalu ada untuk membantu penulis dalam melewati masa-masa tersulit saat proses penelitian, baik dalam bertukar pikiran, menemani, mendukung, memberikan masukan, memotivasi, hingga berbagi canda tawa.

6. Jonathan Halim, Nisrina Dwianti, Michielle Mulyani, Rizaldi Pratama, Nadhira Vania, Rio Chandra, Deandra Gadis, Prisqia Hanifah, selaku teman dekat penulis yang selalu menemani, menyemangati, mendukung, memberikan motivasi serta masukan, berbagi canda tawa, dan bertukar pikiran, baik selama proses penelitian mau pun selama menjalani masa perkuliahan.
7. Maureen Priscylia, Keyne Amanda, Rana Putri, Filencia Liviani, Brigitta Gabriella, Evelyn Citra, Oswaldy Karsten, Muhammad Naufal, Joseph Kang, Fanny Ramadhan, dan Muhammad Fairuz, selaku teman dekat penulis yang selalu mendukung, menyemangati, memberikan canda tawa, dan menemani penulis selama menjalani masa perkuliahan.
8. Seluruh dosen dan Staff Universitas Katolik Parahyangan, yang membimbing penulis selama masa perkuliahan, yang namanya tidak bisa disebutkan satu per satu.

Semoga penelitian yang telah dilakukan ini dapat bermanfaat ke depannya, baik untuk penulis sendiri mau pun pembaca. Penulis menyadari masih banyak kekurangan yang dilakukan dalam penelitian ini dan masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, masukan, kritik, serta saran yang membangun penulis harapkan agar dapat membuat penelitian ini menjadi lebih baik lagi.

Bandung, 29 Januari 2022

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	.....	i
ABSTRACT	.....	ii
KATA PENGANTAR	.....	iii
DAFTAR ISI	.....	v
DAFTAR TABEL	.....	ix
DAFTAR GAMBAR	.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	.....	I-1
I.1	Latar Belakang Masalah	I-1
I.2	Identifikasi dan Rumusan Masalah	I-4
I.3	Pembatasan Masalah dan Asumsi Penelitian	I-7
I.4	Tujuan Penelitian.....	I-8
I.5	Manfaat Penelitian.....	I-8
I.6	Metodologi Penelitian	I-9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	.....	II-1
II.1	Rantai Pasok	II-1
II.2	Pemodelan Matematis.....	II-2
II.3	Vehicle Routing Problem (VRP).....	II-3
II.4	Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)	II-5
II.5	Metaheuristik	II-8
II.6	Simulated Annealing	II-10
BAB III PENGEMBANGAN MODEL	.....	III-1
III.1	Penerjemahan Model CVRP Dasar ke Bahasa AMPL.....	III-1
III.2	Verifikasi & Validasi Model CVRP Dasar Dalam AMPL	III-5
III.3	Penyesuaian Model CVRP Dasar dengan Adanya Batasan Prioritas	III-8
III.4	Verifikasi & Validasi Model CVRP Dasar dengan Batasan Prioritas	III-12
III.5	Variasi Kasus Pengujian Model Matematis	III-20
III.5.1	Kasus Pertama Solusi Eksak.....	III-21

III.5.2	Kasus Kedua Solusi Eksak	III-31
III.5.3	Kasus Ketiga Solusi Eksak.....	III-38
III.5.4	Kasus Keempat Solusi Eksak	III-44
III.5.5	Kasus Kelima Solusi Eksak.....	III-48
III.5.6	Kasus Keenam Solusi Eksak	III-53
III.5.7	Kasus Ketujuh Solusi Eksak	III-58
III.6	Pengembangan Algoritma Metaheuristik	III-65
III.7	Verifikasi & Validasi Algoritma Metaheuristik	III-73
III.8	Pengembangan Program.....	III-76
III.8.1	Fungsi Inisiasi Awal	III-76
III.8.2	Fungsi Objek Kendaraan.....	III-78
III.8.3	Fungsi Inisiasi Kendaraan	III-79
III.8.4	Fungsi Jarak	III-79
III.8.5	Fungsi <i>Generate Initiate</i>	III-80
III.8.6	Fungsi <i>Vehicle Move</i>	III-80
III.8.7	Fungsi <i>Route List Check</i>	III-81
III.8.8	Fungsi <i>Show Routes</i>	III-81
III.8.9	Fungsi <i>Swap</i>	III-82
III.8.10	Fungsi Calculate Cost	III-82
III.8.11	Fungsi Simulated Annealing	III-83
III.8.12	Fungsi Konstanta.....	III-84
III.8.13	Fungsi Perhitungan	III-85
III.9	Penerapan Kasus Hipotetik Pada Algoritma Metaheuristik	III-85
III.9.1	Kasus Pertama Solusi Algoritma.....	III-86
III.9.2	Kasus Kedua Solusi Algoritma.....	III-89
III.9.3	Kasus Ketiga Solusi Algoritma	III-90
III.9.4	Kasus Keempat Solusi Algoritma.....	III-91
III.9.5	Kasus Kelima Solusi Algoritma	III-92
III.9.6	Kasus Keenam Solusi Algoritma.....	III-94
III.9.7	Kasus Ketujuh Solusi Algoritma	III-95
BAB IV ANALISIS.....		IV-1
IV.1	Analisis Pengembangan Model CVRP	IV-1
IV.2	Analisis Simulated Annealing	IV-2

IV.3	Analisis Perbandingan Hasil Perhitungan dengan AMPL dan Penerapan Algoritma Metaheuristik.....	IV-4
BAB V KESIMPULAN & SARAN		V-1
V.1	Kesimpulan.....	V-1
V.2	Saran	V-1
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		
RIWAYAT HIDUP PENULIS		

DAFTAR TABEL

Tabel I.1 Rekapitulasi Pengembangan Model VRP dengan adanya Prioritas	I-5
Tabel III.1 Hasil Perhitungan Kemungkinan yang Terjadi Secara Manual	III-5
Tabel III.2 Kemungkinan Rute yang Memungkinkan untuk Terpilih dan Tidak Ada Batasan Kapasitas Kendaraan yang Terlanggar	III-7
Tabel III.3 Jarak Antara Node Hipotetik.....	III-13
Tabel III.4 Rekapitulasi Hasil Perhitungan dengan Menggunakan <i>Software</i> AMPL.....	III-13
Tabel III.5 Data <i>Demand</i> Hipotetik Untuk Masing-Masing Node	III-17
Tabel III.6 Variasi <i>Demand</i>	III-18
Tabel III.7 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Total Jarak Minimum dan Rute.....	III-18
Tabel III.8 Rekapitulasi Kemungkinan Kasus.....	III-21
Tabel III.9 Titik Koordinat untuk Setiap Node.....	III-22
Tabel III.10 Matriks Jarak.....	III-22
Tabel III.11 Data <i>Demand</i> untuk Masing-Masing Node	III-24
Tabel III.12 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kasus Pertama	III-29
Tabel III.13 Skenario Kasus <i>Demand</i> Pengujian Kasus Pertama	III-30
Tabel III.14 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kasus Pertama	III-31
Tabel III.15 Titik Koordinat untuk Setiap Node.....	III-32
Tabel III.16 Matriks Jarak Kasus Kedua.....	III-33
Tabel III.17 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kasus Kedua.....	III-35
Tabel III.18 Skenario Kasus <i>Demand</i> Kasus Kedua.....	III-36
Tabel III.19 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kasus Kedua.....	III-37
Tabel III.20 Titik Koordinat untuk Setiap Node Kasus Ketiga	III-38
Tabel III. 21 Matriks Jarak Kasus Ketiga.....	III-39
Tabel III.22 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kasus Ketiga.....	III-41
Tabel III. 23 Skenario Kasus <i>Demand</i> Kasus Ketiga	III-42
Tabel III.24 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kasus Ketiga	III-43
Tabel III.25 Titik Koordinat Setiap Node Kasus Keempat.....	III-45
Tabel III.26 Matriks Jarak Kasus Keempat.....	III-45
Tabel III.27 Hasil Perhitungan AMPL Kasus Keempat.....	III-46

Tabel III.28 Skenario Kasus <i>Demand</i> Kasus Keempat	III-47
Tabel III.29 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kasus Keempat	III-48
Tabel III.30 Titik Koordinat untuk Setiap Node Kasus Kelima.....	III-49
Tabel III.31 Matriks Jarak Kasus Kelima.....	III-50
Tabel III.32 Hasil Perhitungan AMPL Kasus Kelima	III-50
Tabel III.33 Skenario Kasus <i>Demand</i> Kasus Kelima.....	III-52
Tabel III.34 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kasus Kelima	III-52
Tabel III.35 Titik Koordinat untuk Setiap Node Kasus Keenam	III-54
Tabel III.36 Matriks Jarak Kasus Keenam	III-54
Tabel III.37 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kasus Keenam	III-55
Tabel III.38 Skenario Kasus <i>Demand</i> Kasus Keenam	III-57
Tabel III.39 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kasus Keenam	III-57
Tabel III.40 Titik Koordinat untuk Setiap Node Kasus Ketujuh.....	III-59
Tabel III.41 Data <i>Demand</i> Kasus Ketujuh.....	III-60
Tabel III.42 Skenario Kasus <i>Demand</i> Kasus Ketujuh.....	III-63
Tabel III.43 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kasus Ketujuh	III-64
Tabel III.44 Data Koordinat, <i>Demand</i> , dan Node Prioritas	III-67
Tabel III.45 Data Kasus <i>Demand</i> Verifikasi & Validasi Metaheuristik	III-75
Tabel III.46 Rekapitulasi Hasil Percobaan Verifikasi & Validasi.....	III-75
Tabel IV.1 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kasus Hipotetik Pertama	IV-4
Tabel IV.2 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kasus Hipotetik Kedua	IV-5
Tabel IV.3 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kasus Hipotetik Ketiga.....	IV-6
Tabel IV.4 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kasus Hipotetik Keempat	IV-8
Tabel IV.5 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kasus Hipotetik Kelima	IV-8
Tabel IV.6 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kasus Hipotetik Keenam	IV-9
Tabel IV.7 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kasus Hipotetik Ketujuh.....	IV-10

DAFTAR GAMBAR

Gambar I.1 <i>Flowchart</i> Metodologi Penelitian	I-12
Gambar II.1 Contoh CVRP	II-6
Gambar III.1 <i>Fail Model</i> CVRP Dasar	III-2
Gambar III.2 <i>Fail Data</i> CVRP Dasar.....	III-3
Gambar III.3 <i>Fail Run</i> CVRP Dasar.....	III-3
Gambar III.4 Hasil Penyelesaian Masalah Penerjemahan CVRP Dasar	III-4
Gambar III.5 <i>Fail Model</i> Model CVRP dengan Adanya Penambahan Batasan Prioritas	III-10
Gambar III.6 <i>Fail Data</i> Node Prioritas Berjumlah 2.....	III-11
Gambar III.7 Hasil Penyelesaian Masalah dengan Adanya Penambahan Prioritas.....	III-11
Gambar III.8 Posisi Node Kasus Pertama.....	III-21
Gambar III.9 <i>Fail Model</i> Kasus Pertama dengan Tidak Adanya Node yang Diprioritaskan.....	III-23
Gambar III.10 <i>Fail Data</i> untuk Melakukan Perhitungan Kasus Pertama dengan Tidak Ada Node yang Diprioritaskan	III-24
Gambar III.11 Hasil Perhitungan Kasus Pertama dengan Tidak Ada Node yang Diprioritaskan.....	III-25
Gambar III.12 <i>Fail Model</i> Perhitungan Kasus Pertama dengan Adanya Node yang Diprioritaskan.....	III-26
Gambar III.13 <i>Fail Data</i> Perhitungan Kasus Pertama dengan Adanya Node yang Diprioritaskan.....	III-27
Gambar III.14 Hasil Perhitungan Kasus Pertama dengan Adanya Node yang Diprioritaskan.....	III-28
Gambar III.15 Ilustrasi Rute Kasus Pertama.....	III-29
Gambar III.16 Posisi Node yang Dibuat untuk Kasus Kedua	III-32
Gambar III.17 Ilustrasi Rute Kasus Kedua	III-35
Gambar III.18 Posisi Node yang Dibuat untuk Kasus Ketiga.....	III-38
Gambar III.19 Ilustrasi Rute Kasus Ketiga	III-41
Gambar III.20 Posisi Node yang Dibuat untuk Kasus Keempat	III-44

Gambar III.21 Ilustrasi Rute Kasus Keempat	III-46
Gambar III.22 Posisi Node yang Dibuat untuk Kasus Kelima	III-49
Gambar III.23 Ilustrasi Rute untuk Kasus Kelima	III-51
Gambar III.24 Posisi Node yang Dibuat untuk Kasus Keenam.....	III-53
Gambar III.25 Ilustrasi Rute untuk Kasus Keenam.....	III-56
Gambar III.26 Untuk Posisi Node yang Dibuat untuk Kasus Ketujuh	III-58
Gambar III.27 Keterbatasan Saat Dilakukan Formulasi	III-60
Gambar III.28 Hasil Kasus Ketujuh	III-61
Gambar III.29 Ilustrasi Rute untuk Kasus Ketujuh.....	III-62
Gambar III.30 Visualisasi Data Set yang Telah Diinputkan.....	III-68
Gambar III.31 Rute Inisiasi Awal Kasus Encoding-Decoding.....	III-69
Gambar III.32 Visualisasi Rute Kasus Encoding-Decoding	III-72
Gambar III.33 Fungsi <i>Library</i>	III-77
Gambar III.34 Fungsi Dataset Kasus.....	III-77
Gambar III.35 Fungsi Visualisasi Dataset.....	III-78
Gambar III.36 Fungsi Objek Kendaraan	III-79
Gambar III.37 Fungsi Inisiasi Kendaraan.....	III-79
Gambar III.38 Fungsi Jarak.....	III-79
Gambar III.39 Fungsi <i>Generate Initiate</i>	III-80
Gambar III.40 Fungsi <i>Vehicle Move</i>	III-81
Gambar III.41 Fungsi <i>Route List Check</i>	III-81
Gambar III.42 Fungsi <i>Show Routes</i>	III-82
Gambar III.43 Fungsi <i>Swap</i>	III-82
Gambar III.44 Fungsi <i>Calculate Cost</i>	III-83
Gambar III.45 Fungsi <i>Acceptanceprobability</i>	III-83
Gambar III.46 Fungsi <i>Simulated Annealing</i>	III-84
Gambar III.47 Fungsi Konstanta	III-85
Gambar III.48 Fungsi Perhitungan	III-85
Gambar III.49 Fungsi Dataset Kasus1	III-86
Gambar III.50 Visualisasi Data Set Yang Telah Diunggah.....	III-87
Gambar III. 51 Data Set Node Prioritas Dalam Bentuk Tabel	III-87
Gambar III.52 Lokasi Node-Node Kasus Satu.....	III-88
Gambar III.53 Visualisasi Hasil Perhitungan Kasus 1 Dengan Penerapan Kasus CVRP Pada Algoritma Metaheuristik	III-88

Gambar III.54 Visualisasi Hasil Penerapan Kasus Kedua CVRP Pada Algoritma Metaheuristik	III-89
Gambar III.55 Visualisasi Hasil Penerapan Kasus Ketiga dengan Menggunakan Algoritma Metaheuristik	III-90
Gambar III.56 Visualisasi Hasil Penerapan Kasus Keempat dengan Menggunakan Algoritma Metaheuristik	III-92
Gambar III.57 Visualisasi Hasil Penerapan Kasus Kelima dengan Menggunakan Algoritma Metaheuristik	III-93
Gambar III.58 Visualisasi Hasil Penerapan Kasus Keenam dengan Menggunakan Algoritma Metaheuristik	III-94
Gambar III.59 Visualisasi Hasil Penerapan Kasus Ketujuh dengan Menggunakan Algoritma Metaheuristik	III-95

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A <i>FAIL DATA</i> DAN HASIL SOLUSI AMPL VARIASI	
DEMAND PERHITUNGAN SKENARIO VALIDASI	A-1
LAMPIRAN B <i>FAIL DATA</i> & HASIL SOLUSI AMPL KASUS 1	B-1
LAMPIRAN C <i>FAIL DATA</i> & HASIL SOLUSI AMPL KASUS 2	C-1
LAMPIRAN D <i>FAIL DATA</i> & HASIL SOLUSI AMPL KASUS 3	D-1
LAMPIRAN E <i>FAIL DATA</i> & HASIL SOLUSI AMPL KASUS 4	E-1
LAMPIRAN F <i>FAIL DATA</i> & HASIL SOLUSI AMPL KASUS 5	F-1
LAMPIRAN G <i>FAIL DATA</i> & HASIL SOLUSI AMPL KASUS 6	G-1
LAMPIRAN H <i>FAIL DATA</i> & HASIL SOLUSI AMPL KASUS 7	H-1
LAMPIRAN I <i>FLOWCHART</i> ALGORITMA METAHEURISTIK	I-1
LAMPIRAN J GRAFIK <i>COST</i> TERHADAP PENURUNAN SUHU	
<i>SIMULATED ANNEALING</i> PADA PENERAPAN KASUS	J-1

BAB I

PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai pendahuluan yang berisikan latar belakang masalah, identifikasi dan rumusan masalah, batasan masalah dan asumsi penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan metodologi penelitian yang akan dilakukan pada penelitian ini.

I.1 Latar Belakang Masalah

Transportasi adalah suatu kegiatan atau proses pemindahan barang atau manusia dari lokasi tertentu ke lokasi lainnya (O'byrne, 2017). Dengan adanya transportasi ini dapat membantu kegiatan manusia dalam kehidupannya sehari-hari untuk bepergian ke lokasi lain, atau mengirimkan suatu barang dari suatu lokasi ke lokasi yang lain. Menurut Dinas Perhubungan (2013), transportasi memiliki peran yang sangat penting dalam menunjang pertumbuhan dan pembangunan ekonomi suatu negara. Sistem transportasi yang baik, dapat menunjang keberhasilan dalam pencapaian pengembangan dan pembangunan perekonomian negara. Hampir seluruh kegiatan yang dilakukan sehari-hari berkaitan dengan transportasi. Mulai dari pergi ke lokasi yang dituju, pengiriman barang dari *supplier* ke manufaktur hingga barang tersebut sampai ke konsumen, dan lain sebagainya. Transportasi juga menjadi suatu hal yang dianggap krusial, karena dapat mempengaruhi proses lainnya yang ada pada rantai pasok. Contohnya seperti keterlambatan dalam pengiriman bahan baku dapat mengganggu aktivitas produksi yang memerlukan bahan baku tersebut.

Transportasi tentunya berkaitan juga dengan biaya, sebab adanya biaya yang harus dikeluarkan untuk mencapai lokasi yang ingin dituju. Biaya transportasi di Amerika Serikat berjumlah 6% dari GDP (*Gross Domestic Product*)-nya dan memberikan proporsi sebesar 40% – 60% dari seluruh biaya yang dikeluarkan (Supply Chain Dive, 2017). Hal tersebut dapat diartikan bahwa sebagian besar biaya yang dikeluarkan pada rantai pasok suatu perusahaan berasal dari biaya transportasi. Dengan begitu proporsi biaya transportasi yang cukup besar dari total biaya perusahaan dapat dikurangi dengan mengoptimalkan rantai pasok.

Optimasi rantai pasok untuk mengurangi total biaya logistik atau transportasi dapat dilakukan dengan penentuan rute yang optimal. Rute yang akan dilalui oleh kendaraan dalam pengiriman berkaitan erat dengan jarak yang akan ditempuh serta biaya yang akan dikeluarkan sebagai biaya pengiriman. Semakin jauh jarak atau rute yang akan ditempuh oleh kendaraan maka semakin besar juga biaya yang harus dikeluarkan, sehingga penentuan rute yang optimal merupakan suatu cara yang dapat dilakukan untuk mengoptimalkan rantai pasok sebagai solusi dalam pengurangan biaya transportasi yang cukup besar.

Vehicle Routing Problem (VRP) merupakan suatu model dasar dalam optimasi rantai pasok yang dibuat untuk menentukan rute terpendek dan optimal. VRP sendiri merupakan suatu model perpanjangan atau variasi dari *Travelling Salesman Problem* (TSP) (Applegate, Bixby, Chvatal, & Cook, 2006). *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) juga merupakan suatu model pengembangan dari VRP dasar, yang mana model ini dibuat untuk menyelesaikan permasalahan dalam penentuan rute optimal dengan adanya batasan kapasitas kendaraan (Kao & Chen, 2011).

Selain CVRP, terdapat model-model pengembangan lain seperti VRPTW (*Vehicle Routing Problem with Time Windows*) yang dibuat untuk merepresentasikan permasalahan rute kendaraan dengan batasan waktu pengiriman oleh konsumen (Solomon, Desrochers, Desrosiers, 1992). VRPTW ini dapat menyelesaikan permasalahan pada kondisi aktual seperti transportasi bahan berbahaya (Alexiou & Katsavounis, 2015). Contoh lain dari variasi model VRP dasar yang dikembangkan yaitu seperti variasi pada pola pengiriman (*split deliveries*), *multi depot*, *green VRP*, penjadwalan, *pick-up & delivery*, dan lain sebagainya.

Pengembangan model CVRP dari model VRP dasar ini bertujuan untuk dapat lebih merepresentasikan permasalahan yang terjadi pada kondisi aktual dengan adanya batasan kapasitas. Pengembangan variasi model VRP harus terus dilakukan untuk mendukung pengembangan dan penerapan model serta metode dan sebagai alat riset operasi untuk mengatasi permasalahan rute kendaraan dan logistik, juga mendorong pertukaran ilmu/informasi yang terkait antara praktisi, peneliti, dan pengguna akhir dalam penyelesaian masalah baru di dunia nyata (Irnich, Toth, & Vigo, 2014). Tidak hanya model VRP dasar saja yang dikembangkan, namun model pengembangan CVRP pun dapat dikembangkan

kembali agar lebih merepresentasikan permasalahan yang ada dalam dunia nyata atau kondisi aktual.

CVRP merupakan suatu permasalahan rute kendaraan NP(*Non-deterministic Polynomial-time*)-hard yang dapat menyelesaikan permasalahan secara optimal namun hanya dalam skala yang kecil jika menggunakan metode solusi eksak (Baldacci, Toth, & Vigo, 2010). Karena CVRP termasuk ke dalam NP-hard, maka menurut Belfiore, Tsugunobu, & Yoshizaki (2008), hal tersebut dapat memperkuat bahwa penerapan metode heuristik dan metaheuristik merupakan solusi yang mendekati optimal. Seiring dengan berkembangnya jaman, banyak pengembangan dari permasalahan rute kendaraan dilakukan, baik dengan pendekatan heuristik mau pun metaheuristik. Pendekatan heuristik digunakan untuk menyelesaikan permasalahan optimasi dengan skala kecil, sedangkan metaheuristik dapat menyelesaikan permasalahan dengan skala permasalahan yang lebih besar, dalam waktu komputasi yang cepat, dan tipe permasalahan yang acak sekalipun (Laporte, Ropke, & Vidal, 2014).

Metaheuristik adalah sebuah metode berbasis algoritma khusus yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan optimasi yang cukup kompleks (Sangaiah, Sheng, & Zhang, 2018). Atau dapat juga diartikan sebagai suatu algoritma khusus yang dibuat untuk menemukan strategi terbaik dalam menyelesaikan permasalahan yang rumit atau tingkat lanjut (Talbi, 2009). Salah satu permasalahan yang dapat diselesaikan dengan penerapan algoritma metaheuristik ini adalah permasalahan dalam penentuan rute yang optimal dengan model *Vehicle Routing Problem*. Maka dari itu, penerapan algoritma metaheuristik dianggap dapat memberikan solusi yang terbaik untuk menyelesaikan permasalahan rute kendaraan dengan skala yang lebih besar.

Banyak model VRP dasar yang telah dikembangkan untuk mengatasi permasalahan transportasi pada kondisi nyata atau aktualnya. Namun masih ada permasalahan dengan kondisi aktual yang masih belum dapat diselesaikan hanya dengan model CVRP dasar saja. Seperti permasalahan CVRP dengan adanya prioritas konsumen tertentu untuk dikunjungi terlebih dahulu pada saat pengiriman. Padahal model pengembangan CVRP dengan adanya prioritas pengiriman dibutuhkan untuk menyelesaikan permasalahan yang ada di dunia nyata seperti pengiriman stok darah rutin ke Rumah Sakit, pengiriman bantuan korban bencana, dan lain sebagainya.

Karena masih belum banyaknya peneliti yang melakukan pengembangan model CVRP dengan mempertimbangkan prioritas pengiriman, maka pada penelitian ini akan dilakukan pengembangan model CVRP dengan prioritas pengiriman. Dan untuk dapat lebih menggambarkan permasalahan yang ada pada kondisi aktual, pada penelitian ini dilakukan juga pengembangan pada algoritma metaheuristik. Hal tersebut dilakukan dengan tujuan agar mampu dalam menangani permasalahan yang ada pada dunia nyata dengan skala yang besar dan dengan waktu komputasi yang cukup singkat.

I.2 Identifikasi dan Rumusan Masalah

Sudah banyak peneliti yang melakukan pengembangan model berdasarkan kasus permasalahan yang realistis dengan segala batasan yang sesuai untuk merepresentasikan permasalahan pada kondisi aktual (Rajabi, Shariat, Babei, Vigo, 2018), namun masih belum ada model yang tepat untuk merepresentasikan permasalahan CVRP dengan mempertimbangkan prioritas pengiriman. Dari tinjauan pustaka yang telah dilakukan, model dasar CVRP, pertama kali dipopulerkan oleh Clarke & Wright (1964) namun dengan tidak ada batasan pada prioritas pengiriman. Pembuatan model untuk menentukan rute optimal dengan adanya prioritas pengiriman telah dimodelkan oleh Ravly (2021). Penelitian tersebut dilakukan dengan pembuatan model MTSP (*Multiple Traveling Salesman Problem*) dengan adanya prioritas pengiriman dari kasus yang telah dibahas oleh Salsabila (2020). Model tersebut lebih mengarah pada pemilihan rute yang optimal dengan adanya prioritas lokasi yang harus dikunjungi terlebih dahulu. Pada model tersebut tidak ada batasan kapasitas kendaraan dalam melakukan perjalanan.

Pengembangan model VRP dengan adanya prioritas pengiriman telah dikembangkan oleh (Ghannadpour, Noori, Tavakkoli, 2014). Namun model VRP yang dikembangkan lebih mengarah pada pemenuhan kebutuhan yang disesuaikan dengan tingkat kepentingan/urgensi masing-masing permintaan yang tidak menentu. CVRP dengan adanya prioritas telah dikembangkan oleh (Nucamendi-Guillèn, Flores-Díaz, & Olivares-Benitez, 2020), namun pada model tersebut lebih menekankan pada tingkatan prefensi prioritas tertentu dan perhitungan keterlambatan total, sedangkan pada penelitian ini CVRP dengan adanya prioritas pengiriman tidak mementingkan tingkatan atau level prioritas

tertentu. Pada penelitian tersebut juga lebih mengarah pada pengembangan dengan *memetic algorithm*.

Pengembangan model VRP dengan adanya prioritas pengiriman juga telah dikembangkan oleh Sheng, Ma, & Xia (2020), namun yang membedakan pengembangan model tersebut dengan penelitian yang akan dilakukan adalah adanya batasan berupa kapasitas kendaraan. Pada penelitian yang dilakukan oleh Sheng, et al. (2020), tidak adanya batasan pada kapasitas, justru adanya batasan lain berupa keterbatasan sumber daya, sedangkan pada penelitian ini akan dilakukan pengembangan CVRP dengan adanya prioritas pengiriman saja. Rekapitulasi hasil tinjauan pustaka pengembangan model VRP dengan adanya prioritas pengiriman dapat dilihat pada Tabel I.1 berikut.

Tabel I.1 Rekapitulasi Pengembangan Model VRP dengan adanya Prioritas

Peneliti	Tipe Model	Metode Penyelesaian
Ghannadpour, et al. (2014)	VRP <i>with Priority</i>	<i>Exact</i>
Nucamendi-Guillèn, et al. (2020)	CCVRP <i>with Priority</i>	<i>Metaheuristic</i>
Sheng, et al. (2020)	VRP <i>with Priority & Limited Resources</i>	<i>Exact</i>
Ravly (2021)	MTSP <i>with Priority</i>	<i>Exact</i>

Berdasarkan tinjauan pustaka yang telah dilakukan juga, lebih banyak penelitian yang melakukan pengembangan pada CVRP dengan pendekatan heuristik dalam penyelesaian masalah rute kendaraan dengan adanya batasan kapasitas kendaraan. Masih belum banyak ditemukannya peneliti yang melakukan pengembangan model eksak untuk CVRP dengan adanya prioritas pengantaraan.

Penyelesaian masalah penentuan rute kendaraan optimal dengan kapasitas kendaraan dan adanya prioritas pengiriman ini dapat digambarkan dengan permasalahan yang terjadi misalnya pada pendistribusian barang yang dilakukan oleh jasa pengiriman barang. Pendistribusian barang tersebut dilakukan setiap hari dengan jumlah kendaraan serta kapasitas kendaraan yang bermacam-macam. Barang yang akan didistribusikan ke konsumen pun jumlahnya beragam. Model penyelesaian masalah penentuan rute kendaraan ini dikembangkan kemudian diselesaikan melalui *software* AMPL (*A Mathematical Programming Language*) untuk solusi eksak dari formulasi model matematisnya. Dari formulasi model matematis tersebut kemudian dikembangkan algoritma metaheuristik untuk penyelesaian masalah yang lebih besar.

Penerapan metode metaheuristik dalam menyelesaikan permasalahan VRP ini dianggap lebih mudah dan memberikan hasil mendekati optimal jika dibandingkan dengan penyelesaian masalah dengan metode pendekatan heuristik (Golden, Raghavan, & Wasil, 2008). Menurut Talbi (2009), metode pendekatan heuristik hanya dapat diterapkan pada masalah tertentu yang lebih spesifik saja, karena lebih bersifat *problem dependent*. Metode heuristik lebih sulit untuk diterapkan pada permasalahan yang beragam dan kompleks, namun membuahkan solusi yang kurang optimal sehingga tidak bisa merepresentasikan permasalahan pada kondisi aktual. Oleh karena itu, penerapan metode algoritma metaheuristik untuk menyelesaikan permasalahan CVRP dengan prioritas pengiriman dapat diimplementasikan karena dengan metode ini mampu memberikan solusi yang mendekati optimal dan dalam jangka waktu komputasi yang relatif cepat.

Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan dalam pengembangan algoritma metaheuristik untuk permasalahan rute kendaraan ini. Misalnya saja seperti penerapan algoritma yang mengacu pada perilaku semut dalam sebuah koloni untuk mencari makanan, *Ant Colony Optimization* (ACO) (Tripathy, 2014), *Genetics Algorithm* (GA) (Holland, 1975), *Particle Swarm Optimization* (PSO) (Dang, Guibadj, & Moukrim, 2013), *Simulated Annealing* (SA) (Kirkpatrick, Gelatt, & Vecchi, 1983), dan lain sebagainya.

Penerapan algoritma metaheuristik yang sesuai pada model VRP memainkan peran penting dalam menemukan solusi yang layak (mendekati optimal) dengan kualitas yang tinggi dalam waktu komputasi yang relatif cepat untuk menyelesaikan permasalahan rute kendaraan yang ada di dunia nyata (Irnich, et al., 2014). Adanya keterbatasan pencarian solusi yang dapat dilakukan oleh *software* AMPL untuk melakukan perhitungan secara *exact* juga menjadi suatu solusi dari dikembangkannya algoritma metaheuristik untuk permasalahan CVRP. Karena *software* AMPL hanya dapat memperhitungkan sebanyak 500 *variable* saja, dan ketika lebih dari itu harus menggunakan bantuan *NEOS Solver*, sehingga dengan penerapan algoritma metaheuristik pada permasalahan ini diharapkan dapat lebih merepresentasikan permasalahan yang ada pada kondisi aktual.

Sebagai metode probabilistik yang general, *Simulated Annealing* (SA) memiliki kemampuan untuk mendapatkan solusi yang dekat dengan optimal dalam

menyelesaikan permasalahan yang kompleks dan dengan skala pencarian yang besar (Lin S. W., 2011). Menurut Arikon & Erol (2012), penggunaan metode *Simulated Annealing* telah berhasil diimplementasikan untuk berbagai permasalahan kombinatorial. Pada kasus ini adanya tambahan prioritas, yang mana permasalahan tersebut dapat dibidang masuk ke permasalahan optimasi kombinatorial. Penggunaan metode SA diharapkan dapat memberikan solusi yang mendekati optimal pada pengembangan model CVRP dengan adanya prioritas pengiriman di penelitian ini.

Berdasarkan identifikasi masalah yang telah diuraikan dan dijelaskan, dapat diperoleh rumusan masalah untuk penelitian yang dilakukan. Rumusan masalahnya adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana model matematis *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) dengan adanya prioritas pengiriman?
2. Bagaimana hasil pengujian dari penerapan model *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) dengan adanya prioritas pengiriman pada kasus hipotetik?
3. Bagaimana penerapan algoritma metaheuristik SA (*Simulated Annealing*) pada model *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) dengan adanya prioritas pengiriman untuk kasus hipotetik?

I.3 Pembatasan Masalah dan Asumsi Penelitian

Pembatasan masalah dan asumsi penelitian akan ditetapkan pada penelitian ini untuk membatasi ruang lingkup masalah agar penelitian dapat lebih terfokus pada masalah yang dituju. Hal ini dilakukan guna untuk mencapai tujuan penelitian yang akan ditetapkan. Terdapat beberapa batasan masalah yang ditetapkan pada penelitian ini. Batasan masalah tersebut adalah sebagai berikut:

1. Data yang digunakan merupakan data hipotetik yang digunakan pada penelitian MTSP dengan prioritas pengiriman Ravly (2021) dan tambahan data hipotetik kapasitas.
2. Model CVRP dasar yang digunakan adalah model CVRP oleh Toth & Vigo (2002).
3. Hanya ada satu depot saja yang digunakan dalam contoh kasus yang digunakan dan diperhitungkan.
4. Pengiriman tidak mempertimbangkan jam atau waktu kerja.

Selanjutnya dibuat asumsi penelitian guna untuk mempermudah proses penelitian yang dilakukan. Terdapat beberapa asumsi yang ditetapkan pada penelitian ini. Asumsi-asumsi yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

1. Data hipotetik yang digunakan merepresentasikan data kasus pada kondisi aktual.
2. Contoh kasus yang digunakan merupakan proses pendistribusian barang yang dilakukan oleh jasa pengiriman yang mengirimkan barang dengan besar dan volume yang sama untuk setiap barangnya.

I.4 Tujuan Penelitian

Setelah dilakukan identifikasi masalah serta penentuan batasan dan asumsi penelitian, dilakukan pemaparan pada tujuan penelitian. Tujuan penelitian ini dipaparkan untuk menjawab rumusan masalah yang sebelumnya telah ditetapkan. Tujuan penelitian ini memuat hal-hal yang ingin dicapai dari dilakukannya penelitian ini. Tujuan penelitiannya adalah sebagai berikut:

1. Menyusun model matematis *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) dengan adanya prioritas pengiriman.
2. Menguji dan menerapkan hasil pengujian dari penerapan model *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) dengan adanya prioritas pengiriman pada kasus hipotetik.
3. Menerapkan algoritma metaheuristik SA (*Simulated Annealing*) pada model *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) dengan adanya prioritas pengiriman untuk kasus hipotetik

I.5 Manfaat Penelitian

Dengan dilakukannya penelitian ini, diharapkan dapat memberikan manfaat baik secara teoritis mau pun secara praktis. Berikut merupakan manfaat-manfaat dari dilakukannya penelitian ini.

1. Manfaat Teoritis
 - a. Dapat dijadikan sebagai referensi pembelajaran mengenai permasalahan CVRP dan algoritma metaheuristik khususnya algoritma *Simulated Annealing* dalam penerapan permasalahan CVRP dengan prioritas pengiriman.

- b. Dapat dijadikan referensi untuk dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menambahkan batasan-batasan baru yang dapat merepresentasikan kondisi aktual di dunia nyata juga mengenai permasalahan CVRP dengan prioritas pengantaran.
 - c. Dapat dijadikan sebagai referensi perbandingan dengan metode solusi permasalahan lain mengenai permasalahan CVRP dengan prioritas pengiriman.
2. Manfaat Praktis
- a. Dapat digunakan oleh pihak yang membutuhkan khususnya perusahaan untuk menyelesaikan permasalahan CVRP dengan prioritas pengantaran dalam penentuan rute terpendek sehingga dapat meminimumkan biaya transportasi.
 - b. Dapat digunakan oleh pelajar, mahasiswa, atau pihak lainnya untuk mendapatkan solusi permasalahan CVRP dengan adanya prioritas pengiriman dalam menyelesaikan tugas.

I.6 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian dibuat untuk mengetahui prosedur dan tahapan yang harus dilakukan agar penelitian dapat berjalan dengan teratur dan sistematis. Pada sub bab ini akan dipaparkan serta dijelaskan dengan menggunakan *flowchart* mengenai tahapan apa saja yang dilakukan mulai dari awal penelitian sampai penelitian ini selesai. Metodologi penelitian yang dilakukan pada penelitian ini terdiri dari sepuluh langkah proses yang dapat dilihat pada Gambar I.1.

1. Studi Literatur

Tahapan ini merupakan proses mempelajari segala teori yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan serta berbagai permasalahan yang ada pada penelitian ini. Studi literatur dilakukan dengan membaca buku, atau teori-teori yang berkaitan dengan penelitian serta mencari referensi lain seperti artikel, jurnal, dan lain sebagainya.

2. Identifikasi & Perumusan Masalah

Selanjutnya dilakukan proses pencarian dan penjabaran permasalahan pada objek yang akan dilakukan penelitian. Permasalahan-permasalahan tersebut nantinya akan diteliti berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan. Lalu

masalah-masalah yang telah diidentifikasi tersebut dirumuskan untuk kemudian dapat diselesaikan dalam penelitian ini.

3. Penentuan Batasan Masalah & Asumsi Penelitian

Setelah dilakukan identifikasi dan perumusan masalah, dilakukan penentuan batasan dan asumsi dalam penelitian. Batasan masalah dan asumsi penelitian ditentukan agar penelitian dapat lebih fokus pada permasalahan yang dibahas dan cakupan penelitian tidak terlalu luas.

4. Penentuan Tujuan & Manfaat Penelitian

Pada tahapan ini akan dilakukan penentuan tujuan dan manfaat penelitian setelah proses penentuan batasan serta asumsi yang terdapat pada objek penelitian dilakukan. Tujuan penelitian ini ditentukan untuk menjawab apa yang dirumuskan pada perumusan masalah. Kemudian manfaat penelitian dijabarkan untuk mengetahui berbagai manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini.

5. Pembuatan Model Matematis CVRP

Tahapan selanjutnya adalah pembuatan model matematis dari permasalahan pada penelitian. Pembuatan model matematis ini dilakukan berdasarkan pada penelitian yang telah dilakukan oleh Ravly (2021) mengenai pengembangan model *Multiple Traveling Salesman Problem* yang dikembangkan dalam model VRP dengan adanya prioritas pengiriman dan kapasitas kendaraan. Model CVRP yang dibuat berdasarkan model matematis CVRP dasar oleh Toth & Vigo (2002). dengan adanya penambahan variasi prioritas pengiriman.

6. Penerjemahan Model Matematis CVRP ke dalam Bahasa AMPL

Setelah model matematis CVRP dengan prioritas pengiriman dibuat, selanjutnya model tersebut diterjemahkan ke dalam *software* AMPL untuk diformulasikan. Penerjemahan model matematis ini bertujuan untuk mengetahui apakah model yang telah dibuat dapat diformulasikan.

7. Validasi & Verifikasi Model Matematis CVRP

Setelah model matematis CVRP dengan prioritas pengiriman diterjemahkan ke dalam *software* AMPL, selanjutnya dilakukan validasi dan verifikasi model. Validasi dan verifikasi model matematis dilakukan untuk memastikan bahwa model tersebut telah sesuai. Jika model tervalidasi dan terverifikasi, maka dapat dilanjutkan ke tahap berikutnya. Namun jika sebaliknya,

dilakukan pembuatan model matematis kembali sampai model tersebut tervalidasi dan terverifikasi.

8. Penerapan Model Matematis CVRP pada Kasus Hipotetik

Ketika model matematis yang telah dibuat diterjemahkan ke dalam *software* AMPL dan sudah tervalidasi serta terverifikasi. Tahap penerapan model matematis pada kasus hipotetik dilakukan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui hasil solusi dari permasalahan pada kasus hipotetik.

9. Pengembangan Algoritma Metaheuristik *Simulated Annealing*

Dari model matematis yang telah dibuat, kemudian dikembangkan dengan penerapan algoritma metaheuristik. Pengembangan dengan penerapan algoritma metaheuristik ini dibuat agar dapat membantu dalam penyelesaian permasalahan CVRP dengan adanya prioritas pengiriman dalam skala yang besar dan dalam waktu yang cepat serta memberikan hasil yang cukup optimal.

10. Validasi & Verifikasi Algoritma *Simulated Annealing*

Setelah dilakukan pengembangan dalam penerapan algoritma metaheuristik pada model matematis CVRP dengan adanya prioritas pengiriman, selanjutnya dilakukan validasi dan verifikasi algoritma. Validasi dan verifikasi ini dilakukan agar algoritma yang telah dibuat sudah sesuai, sehingga dapat memberikan hasil yang optimal dalam menyelesaikan formulasi CVRP dengan adanya prioritas pengiriman.

11. Penerapan Algoritma pada Kasus Hipotetik CVRP

Setelah algoritma metaheuristik dengan metode PSO tervalidasi dan verifikasi, dilakukan penerapan pada kasus hipotetik. Hal ini bertujuan untuk mengetahui hasil solusi dari permasalahan pada kasus hipotetik.

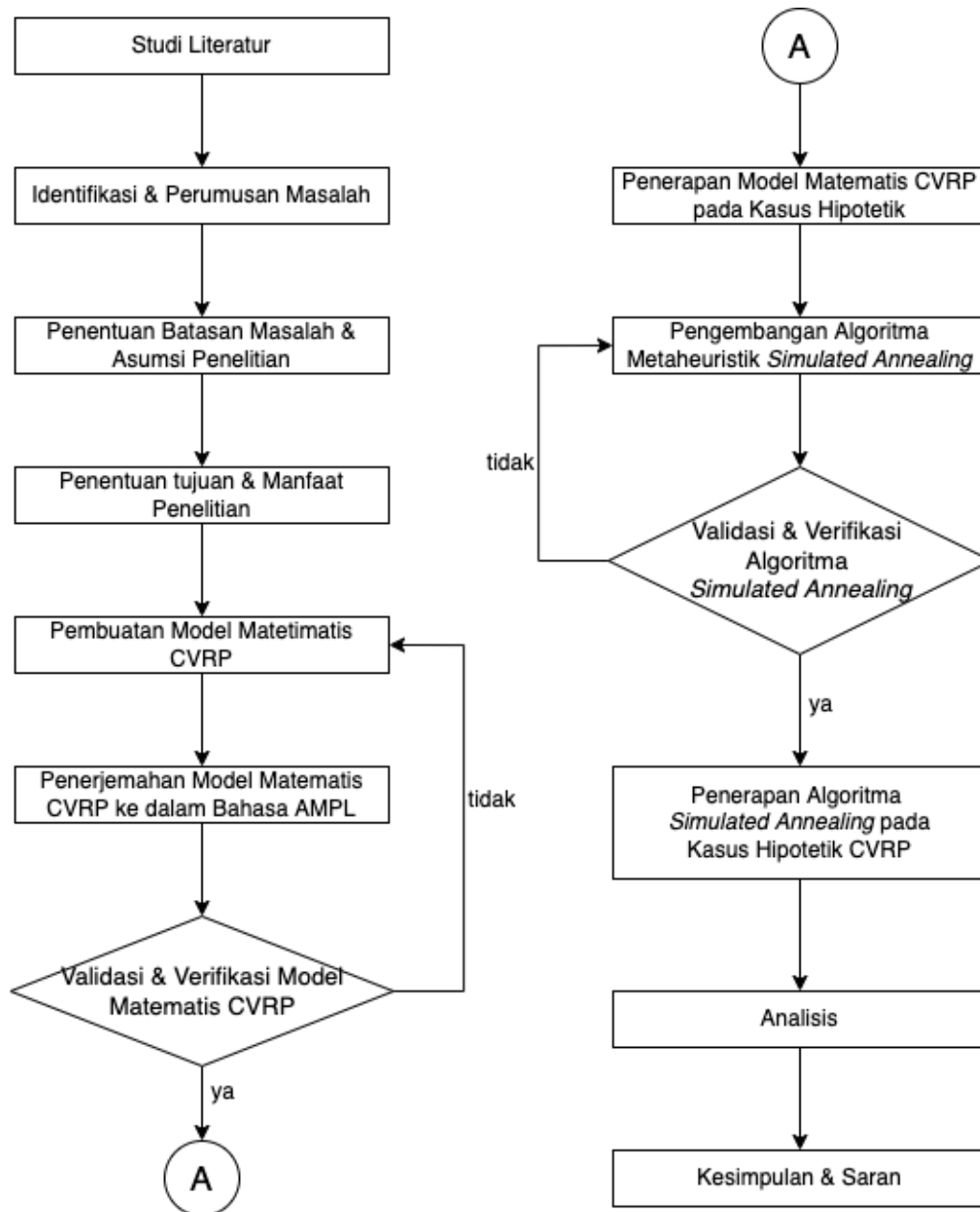
12. Analisis

Setelah penerapan formulasi CVRP dengan adanya prioritas pada algoritma metaheuristik, selanjutnya merupakan tahapan pembuatan analisis. Proses analisis dilakukan terhadap segala hal yang berkaitan dan telah dikerjakan pada penelitian, termasuk pengolahan data yang sebelumnya dilakukan. Hasil serta pengolahan data tersebut dianalisis sehingga didapatkan sebuah usulan dari permasalahan yang telah diidentifikasi sebelumnya.

13. Kesimpulan & Saran

Tahapan ini merupakan tahapan akhir pada penelitian. Kesimpulan akan dibuat untuk menjawab tujuan dari penelitian. Kemudian dibuat juga saran sebagai

masukannya agar penelitian selanjutnya dapat lebih baik dan menghasilkan hasil penelitian yang lebih baik lagi.



Gambar I.1 Flowchart Metodologi Penelitian