

**PENGEMBANGAN MODEL *HETEROGENEOUS*
VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH VEHICLE
*DEPENDENT TRAVEL TIME***

SKRIPSI

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

Disusun oleh:

Nama : Kevin Harvest Novialdo

NPM : 2017610115



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK INDUSTRI
PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
2021**

**PENGEMBANGAN MODEL *HETEROGENEOUS*
VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH VEHICLE
*DEPENDENT TRAVEL TIME***

SKRIPSI

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

Disusun oleh:

Nama : Kevin Harvest Novialdo

NPM : 2017610115



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
2021**

**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG**



Nama : Kevin Harvest Novialdo
NPM : 2017610115
Jurusan : Teknik Industri
Judul Skripsi : *PENGEMBANGAN MODEL HETEROGENEOUS VEHICLE
ROUTING PROBLEM WITH VEHICLE DEPENDENT TRAVEL
TIME*

TANDA PERSETUJUAN SKRIPSI

Bandung, Maret 2021

Ketua Program Studi Sarjana Teknik Industri

Dr. Cecilia Tesavrita, S.T. M.T.

Pembimbing Tunggal

Fran Setiawan, S.T., M.Sc.



Program Studi Sarjana Teknik Industri
Jurusan Teknik Industri
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Katolik Parahyangan

Pernyataan Tidak Mencontek atau Melakukan Tindakan Plagiat

Saya, yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Kevin Harvest Novialdo

NPM : 2017610115

dengan ini menyatakan bahwa skripsi dengan judul :

“PENGEMBANGAN MODEL HETEROGENEOUS VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH VEHICLE DEPENDENT TRAVEL TIME”

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, 22 Februari 2021

Kevin Harvest Novialdo
2017610115

ABSTRAK

Pada jaman modern ini, persaingan antar perusahaan semakin ketat. Hal tersebut mendorong perusahaan untuk mengurangi biaya-biaya yang perlu dikeluarkan, seperti biaya transportasi. Salah satu faktor yang mempengaruhi besar biaya transportasi adalah waktu tempuh. Untuk mengurangi biaya transportasi yang harus dikeluarkan, maka perlu dilakukan pemilihan rute dengan tepat agar waktu tempuh yang dibutuhkan menjadi minimum. *Heterogeneous Vehicle Routing Problem* (HVRP) merupakan salah satu masalah optimasi kombinatorial yang berkaitan dengan menentukan desain rute yang optimal untuk digunakan oleh kendaraan-kendaraan yang berbeda jenis dalam melayani pelanggan-pelanggan.

HVRP berkonsentrasi pada batasan kapasitas kendaraan yang berbeda-beda. Waktu tempuh yang diperlukan kendaraan pada HVRP sama untuk semua jenis kendaraan. Padahal, di lingkungan perkotaan, kendaraan dengan kapasitas berbeda bisa memiliki waktu tempuh yang berbeda juga. Sampai saat ini, sudah ada banyak varian HVRP yang sudah diteliti. Akan tetapi, dari semua varian HVRP tersebut, belum ada varian HVRP yang mempertimbangkan waktu tempuh kendaraan di perkotaan berdasarkan jenis kendaraan yang digunakan.

Pada penelitian ini, dilakukan pengembangan model *Heterogeneous Vehicle Routing Problem with Vehicle Dependent Travel Time* (HVRPVDTT) untuk meminimasi waktu tempuh yang dibutuhkan. Model HVRPVDTT dapat memperhatikan adanya beda waktu tempuh yang dibutuhkan untuk setiap jenis kendaraan. Jika dibandingkan dengan HVRP, hasil dari HVRPVDTT dapat menghasilkan waktu tempuh lebih kecil, kesesuaian atau keakuratan waktu tempuh terhadap jenis kendaraan yang digunakan lebih baik, keputusan banyak kendaraan yang digunakan berbeda, serta rute perjalanan dari setiap kendaraan berbeda.

Kata kunci: Transportasi, *Heterogeneous Vehicle Routing Problem* (HVRP), Waktu Tempuh, *Heterogeneous Vehicle Routing Problem with Vehicle Dependent Travel Time* (HVRPVDTT).

ABSTRACT

In this modern era, competition between companies is getting tougher. This encourages companies to reduce costs, such as transportation costs. One of the factors that have big impact to the cost of transportation is the travel time. To reduce the transportation costs that must be incurred, it is necessary to select the route correctly so that the required travel time become minimum. Heterogeneous Vehicle Routing Problem (HVRP) is one of the combinatorial optimization problems to determining the optimal route design for use by vehicles of different types in serving customers.

HVRP concentrates on the limitations of different vehicle capacities. The travel time required by vehicles on HVRP is the same for all types of vehicles. In fact, in an urban environment, vehicles with different capacities may also have different travel times. Until now, many variants of HVRP have been studied. However, of all the HVRP variants, there is no HVRP variant that considers the travel time of vehicles in cities based on the type of vehicle used.

In this study, the Heterogeneous Vehicle Routing Problem with Vehicle Dependent Travel Time (HVRPVDTT) model was developed to minimize the required travel time. The HVRPVDTT model can pay attention to the difference in travel time required for each type of vehicle. When compared with HVRP, the results from HVRPVDTT can produce less travel time, better suitability or accuracy of travel time for the type of vehicle used, the decision on the number of vehicles used, and the route of each vehicle.

Keywords: *Transportation, Heterogeneous Vehicle Routing Problem (HVRP), Travel Time, Heterogeneous Vehicle Routing Problem with Vehicle Dependent Travel Time (HVRPVDTT).*

KATA PENGANTAR

Pertama-tama, penulis ingin mengucapkan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi dengan judul “Pengembangan Model *Heterogeneous Vehicle Routing Problem with Vehicle Dependent Travel Time*”. Dalam pengerjaan laporan skripsi ini, tidak sedikit hambatan yang dialami penulis. Akan tetapi, dengan adanya dukungan dan bantuan dari berbagai pihak, penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi ini dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Fran Setiawan, S.T., M.Sc., selaku dosen pembimbing tunggal, yang telah memberikan waktu, bimbingan, motivasi, dan masukan dalam menyusun laporan skripsi ini.
2. Bapak Dedy Suryadi, S.T., M.S., Ph.D., dan Bapak Dr. Sugih Sudharma Tjandra, S.T., M.Si., selaku dosen penguji proposal yang telah memberikan masukan dan saran dalam menyusun laporan skripsi ini.
3. Orang tua penulis yang selalu memberikan semangat, nasihat, dan doa kepada penulis dalam menyusun laporan skripsi ini.
4. Teman-teman penulis yang memberikan semangat dan dukungan dalam menyusun laporan skripsi ini: Bonifasius, Raveena, Thomas, Wirelex, Willy, Hadrian, Regina, Kevin S., Rony, Rigen, serta teman-teman penulis lainnya yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Akhir kata, penulis berharap laporan skripsi ini dapat berguna bagi pembaca. Penulis menyadari bahwa laporan skripsi ini jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis berharap adanya kritik dan saran yang membangun. Penulis juga meminta maaf jika ada salah kata serta kekurangan pada penyusunan laporan ini.

Bandung, 22 Februari 2021

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	I-1
I.1 Latar Belakang.....	I-1
I.2 Identifikasi dan Perumusan Masalah.....	I-2
I.3 Batasan Masalah	I-6
I.4 Tujuan Penelitian	I-7
I.5 Manfaat Penelitian	I-7
I.6 Metodologi Penelitian.....	I-7
I.7 Sistematika Penulisan.....	I-10
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	II-1
II.1 Transportasi dalam <i>Supply Chain</i>	II-1
II.2 <i>Vehicle Routing Problem</i> (VRP)	II-2
II.3 <i>Heterogeneous Vehicles Routing Problem</i> (HVRP).....	II-2
II.4 <i>A Mathematical Programming Language</i> (AMPL)	II-4
II.5 <i>Network-Enabled Optimization System Server</i> (NEOS Server) ..	II-5
BAB III PERANCANGAN DAN PENERAPAN MODEL	III-1
III.1 Penerjemahan Model HVRP ke AMPL.....	III-1
III.2 Verifikasi dan Validasi Program HVRP	III-4
III.3 Pengembangan Model HVRPVDTT	III-10
III.4 Verifikasi dan Validasi Model Pengembangan HVRPVDTT	III-13
III.5 Penerapan Model.....	III-21
III.5.1 Skenario 1	III-25
III.5.2 Skenario 2	III-33
III.5.3 Skenario 3.....	III-37

III.5.4	Skenario 4	III-42
III.5.5	Skenario 5	III-44
III.5.6	Skenario 6	III-49
III.5.7	Skenario 7	III-52
III.5.8	Skenario 8	III-56
III.5.9	Skenario 9	III-60
III.5.10	Skenario 10	III-64
III.5.11	Skenario 11-20	III-68
III.5.12	Skenario 21-30	III-71
III.5.13	Skenario 31-40	III-74
III.5.14	Skenario 41-44	III-77
III.5.15	Skenario 45-48	III-79
III.5.16	Skenario 49-52	III-81
III.5.17	Skenario 53-56	III-82
III.5.18	Rekapitulasi Keseluruhan	III-84
BAB IV	ANALISIS	IV-1
IV.1	Verifikasi dan Validasi	IV-1
IV.2	Data Hipotetik Untuk Skenario	IV-2
IV.3	Hasil Skenario	IV-3
IV.3.1	Waktu Tempuh	IV-3
IV.3.2	Jumlah Kendaraan yang Digunakan	IV-8
IV.3.3	Jenis Kendaraan yang Digunakan	IV-12
IV.3.4	Rute Perjalanan	IV-15
IV.4	Performansi AMPL dan NEOS Server	IV-16
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	V-1
V.1	Kesimpulan	V-1
V.2	Saran	V-1
DAFTAR PUSTAKA		

DAFTAR TABEL

Tabel I.1	Jurnal dengan Hasil Tinjauan.....	I-5
Tabel III.1	Data yang Digunakan Pada Penelitian Utama (2017)	III-4
Tabel III.2	Parameter yang Digunakan Pada Penelitian Utama (2017)	III-5
Tabel III.3	Parameter yang Digunakan Pada Kasus Hipotetik.....	III-13
Tabel III.4	Nilai t Kasus Hipotetik Kendaraan 1 dan Kendaraan 2	III-14
Tabel III.5	Nilai t Kasus Hipotetik Kendaraan 3	III-14
Tabel III.6	Alternatif Kemungkinan Kasus Hipotetik Pengembangan HVRPVDTT	III-19
Tabel III.7	Data <i>Demand</i> Setiap <i>Node</i>	III-21
Tabel III.8	Titik yang Digunakan Pada Google Maps	III-22
Tabel III.9	Data Waktu yang Dibutuhkan Mobil Untuk Skenario	III-23
Tabel III.10	Data Waktu yang Dibutuhkan Motor Untuk Skenario	III-24
Tabel III.11	Rekapitulasi Hasil Skenario 1.....	III-33
Tabel III.12	Rekapitulasi Hasil Skenario 2.....	III-37
Tabel III.13	Rekapitulasi Hasil Skenario 3.....	III-42
Tabel III.14	Rekapitulasi Hasil Skenario 4.....	III-44
Tabel III.15	Rekapitulasi Hasil Skenario 5.....	III-49
Tabel III.16	Rekapitulasi Hasil Skenario 6.....	III-52
Tabel III.17	Rekapitulasi Hasil Skenario 7.....	III-56
Tabel III.18	Rekapitulasi Hasil Skenario 8.....	III-60
Tabel III.19	Rekapitulasi Hasil Skenario 9.....	III-64
Tabel III.20	Rekapitulasi Hasil Skenario 10.....	III-68
Tabel III.21	Data Waktu yang Dibutuhkan Mobil Skenario 11-20	III-68
Tabel III.22	Rekapitulasi Hasil Skenario 11-20.....	III-69
Tabel III.23	Data Waktu yang Dibutuhkan Mobil Skenario 21-30	III-71
Tabel III.24	Rekapitulasi Hasil Skenario 21-30.....	III-72
Tabel III.25	Data Waktu yang Dibutuhkan Mobil Skenario 31-40	III-75
Tabel III.26	Rekapitulasi Hasil Skenario 31-40.....	III-76
Tabel III.27	<i>Demand</i> Berskala Besar Untuk Skenario 41-42, 45-46, 49-50, dan 53-54.....	III-78

Tabel III.28	<i>Demand</i> Berskala Kecil Untuk Skenario 43-44, 47-48, 51-52, dan 55-56.....	III-78
Tabel III.29	Rekapitulasi Hasil Skenario 41-44.....	III-79
Tabel III.30	Rekapitulasi Hasil Skenario 45-48.....	III-80
Tabel III.31	Rekapitulasi Hasil Skenario 49-52.....	III-81
Tabel III.32	Rekapitulasi Hasil Skenario 53-56.....	III-83
Tabel III.33	Rekapitulasi Keseluruhan Skenario.....	III-84

DAFTAR GAMBAR

Gambar I.1	Flowchart Metodologi Penelitian	I-8
Gambar III.1	Program HVRP pada AMPL	III-2
Gambar III.2	File Data untuk Kasus Penelitian Utama.....	III-6
Gambar III.3	File Run untuk Kasus Penelitian Utama.....	III-6
Gambar III.4	Pengetikan Pada Console Model HVRP	III-7
Gambar III.5	Hasil Variabel x Kasus Penelitian Utama.....	III-8
Gambar III.6	Hasil Variabel y Untuk Kasus Penelitian Utama.....	III-9
Gambar III.7	Hasil Variabel <i>Traveltime</i> Untuk Kasus Penelitian Utama	III-9
Gambar III.8	Hasil yang Didapatkan pada Penelitian Utama	III-10
Gambar III.9	Program Pengembangan HVRPVDTT Pada AMPL.....	III-12
Gambar III.10	File Data Untuk Kasus Hipotetik	III-15
Gambar III.11	File Run Untuk Kasus Hipotetik	III-16
Gambar III.12	Pengetikan Pada Console Model pengembangan HVRPVDTT	III-16
Gambar III.13	Hasil Variabel x Kasus Hipotetik Pengembangan HVRPVDTT	III-17
Gambar III.14	Hasil Variabel y Kasus Hipotetik Pengembangan HVRPVDTT	III-18
Gambar III.15	Hasil Variabel <i>Traveltime</i> Kasus Hipotetik Pengembangan HVRPVDTT	III-18
Gambar III.16	File Data Skenario 1 HVRP (waktu mobil)	III-25
Gambar III.17	File Run Skenario HVRP Dasar.....	III-26
Gambar III.18	Submission Form NEOS Server	III-26
Gambar III.19	Hasil Skenario 1 HVRP (waktu mobil)	III-27
Gambar III.20	File Data Skenario 1 HVRP (waktu motor).....	III-28
Gambar III.21	Hasil Skenario 1 HVRP (waktu motor).....	III-29
Gambar III.22	File Data Skenario 1 Pengembangan HVRPVDTT	III-30
Gambar III.23	File Run Skenario Pengembangan HVRPVDTT	III-31
Gambar III.24	Hasil Skenario 1 Pengembangan HVRP.....	III-32
Gambar III.25	Hasil Skenario 2 HVRP (waktu mobil)	III-34

Gambar III.26	Hasil Skenario 2 HVRP (waktu motor)	III-35
Gambar III.27	Hasil Skenario 2 Pengembangan HVRP	III-36
Gambar III.28	Hasil Skenario 3 HVRP (waktu mobil).....	III-38
Gambar III.29	Hasil Skenario 3 HVRP (waktu motor)	III-39
Gambar III.30	Hasil Skenario 3 Pengembangan HVRP	III-40
Gambar III.31	Hasil Skenario 4 HVRP (waktu mobil).....	III-41
Gambar III.32	Hasil Skenario 4 HVRP (waktu motor)	III-42
Gambar III.33	Hasil Skenario 4 Pengembangan HVRP	III-43
Gambar III.34	Hasil Skenario 5 HVRP (waktu mobil).....	III-45
Gambar III.35	Hasil Skenario 5 HVRP (waktu motor)	III-46
Gambar III.36	Hasil Skenario 5 Pengembangan HVRP	III-47
Gambar III.37	Hasil Skenario 6 HVRP (waktu mobil).....	III-48
Gambar III.38	Hasil Skenario 6 HVRP (waktu motor)	III-50
Gambar III.39	Hasil Skenario 6 Pengembangan HVRP	III-51
Gambar III.40	Hasil Skenario 7 HVRP (Waktu Mobil).....	III-53
Gambar III.41	Hasil Skenario 7 HVRP (Waktu Motor)	III-54
Gambar III.42	Hasil Skenario 7 HVRPVDTT	III-55
Gambar III.43	Hasil Skenario 8 HVRP (Waktu Mobil).....	III-57
Gambar III.44	Hasil Skenario 8 HVRP (Waktu Motor)	III-58
Gambar III.45	Hasil Skenario 8 HVRPVDTT	III-59
Gambar III.46	Hasil Skenario 9 HVRP (Waktu Mobil).....	III-61
Gambar III.47	Hasil Skenario 9 HVRP (Waktu Motor)	III-62
Gambar III.48	Hasil Skenario 9 HVRPVDTT	III-63
Gambar III.49	Hasil Skenario 10 HVRP (Waktu Mobil).....	III-65
Gambar III.50	Hasil Skenario 10 HVRP (Waktu Motor)	III-66
Gambar III.51	Hasil Skenario 10 HVRPVDTT	III-67
Gambar IV.1	Grafik Nilai <i>Traveltime</i> Skenario 1-10	IV-3
Gambar IV.2	Grafik Nilai <i>Traveltime</i> Skenario 11-20	IV-4
Gambar IV.3	Grafik Nilai <i>Traveltime</i> Skenario 21-30	IV-4
Gambar IV.4	Grafik Nilai <i>Traveltime</i> Skenario 31-40	IV-5
Gambar IV.5	Grafik Nilai <i>Traveltime</i> Skenario 41-48	IV-5
Gambar IV.6	Grafik Nilai <i>Traveltime</i> Skenario 49-56	IV-6
Gambar IV.7	Kesesuaian <i>Traveltime</i> Pada HVRP (Waktu Mobil)	IV-6
Gambar IV.8	Kesesuaian <i>Traveltime</i> Pada HVRP (Waktu Motor).....	IV-7

Gambar IV.9	Kesesuaian <i>Traveltime</i> Pada HVRPVDTT	IV-8
Gambar IV.10	Jumlah Kendaraan yang Digunakan Skenario 1-10	IV-9
Gambar IV.11	Jumlah Kendaraan yang Digunakan Skenario 11-20	IV-9
Gambar IV.12	Jumlah Kendaraan yang Digunakan Skenario 21-30	IV-10
Gambar IV.13	Jumlah Kendaraan yang Digunakan Skenario 31-40	IV-10
Gambar IV.14	Jumlah Kendaraan yang Digunakan Skenario 41-48	IV-11
Gambar IV.15	Jumlah Kendaraan yang Digunakan Skenario 49-56	IV-11
Gambar IV.16	Jumlah Mobil dan Motor yang Digunakan Skenario 1-10....	IV-12
Gambar IV.17	Jumlah Mobil dan Motor yang Digunakan Skenario 11-20..	IV-12
Gambar IV.18	Jumlah Mobil dan Motor yang Digunakan Skenario 21-30..	IV-13
Gambar IV.19	Jumlah Mobil dan Motor yang Digunakan Skenario 31-40..	IV-13
Gambar IV.20	Jumlah Mobil dan Motor yang Digunakan Skenario 41-48..	IV-14
Gambar IV.21	Jumlah Mobil dan Motor yang Digunakan Skenario 49-56..	IV-14
Gambar IV.22	Rute Kendaraan HVRPVDTT dengan HVRP (Mobil)	IV-15
Gambar IV.23	Rute Kendaraan HVRPVDTT dengan HVRP (Motor)	IV-16
Gambar IV.24	Batasan AMPL	IV-16
Gambar IV.25	Batasan NEOS <i>Server</i>	IV-17

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A DATA SKENARIO.....	A-1
-------------------------------	-----

BAB I

PENDAHULUAN

Pada bab ini dibahas mengenai pendahuluan dari penelitian pengembangan model *Heterogeneous Vehicle Routing Problem with Vehicle Dependent Travel Time*. Hal yang dibahas adalah latar belakang, identifikasi dan perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

I.1 Latar Belakang

Pada jaman modern ini, persaingan antar perusahaan semakin ketat. Perusahaan saling bersaing melalui barang dan jasa yang mereka tawarkan. Konsumen menginginkan harga barang atau jasa yang murah dengan kualitas yang baik. Hal tersebut membuat perusahaan perlu memperhatikan berbagai hal yang dapat mengurangi biaya yang harus dikeluarkan, seperti biaya transportasi.

Biaya transportasi merupakan biaya yang perusahaan harus keluarkan untuk menunjang transportasi. Salah satu bentuk transportasi yang dilakukan adalah melakukan proses pengiriman barang dari perusahaan ke konsumen. Besar biaya transportasi bergantung pada beberapa faktor. Contoh 2 faktornya adalah jarak tempuh dan waktu tempuh. Semakin jauh jarak tempuh yang harus dilalui, maka semakin besar biaya transportasi yang harus dikeluarkan. Semakin besar waktu tempuh yang dibutuhkan, maka semakin besar biaya transportasi yang harus dikeluarkan. Untuk mengurangi biaya transportasi yang harus dikeluarkan, maka perlu dilakukan pemilihan rute dengan tepat agar jarak yang harus ditempuh atau waktu tempuh yang dibutuhkan menjadi minimum. Salah satu permasalahan pemilihan rute yang paling optimal inilah yang disebut *Vehicle Routing Problem* (VRP).

Menurut Liong, Wan, dan Omar (2008), *Vehicle Routing Problem* adalah masalah dalam menemukan rute pengiriman atau pengumpulan yang optimal dari satu atau beberapa depot ke sejumlah kota atau pelanggan, sambil memenuhi beberapa kendala. VRP pertama kali diperkenalkan oleh Dantzig dan Ramser (1959). Mereka melakukan penelitian terhadap *Truck Dispatching Problem* yang

dianggap sebagai generalisasi dari *Traveling-Salesman Problem*. VRP bertujuan untuk meminimasi biaya transportasi dengan menentukan rute perjalanan atau jumlah kendaraan atau jumlah konsumen yang dituju. Berawal dari penelitian Dantzig dan Ramser tersebut, menurut Liong et al. (2008) sudah terdapat banyak penelitian yang dituliskan dari beberapa varian VRP yang ada, seperti *Vehicle Routing Problem with Time Windows* (VRPTW), *Vehicle Routing Problem with Pick-Up and Delivery* (VRPPD), dan *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP).

Dalam permasalahan VRP masih memerlukan beberapa batasan untuk dapat menjadi lebih menyerupai dengan keadaan sebenarnya. Salah satu permasalahan yang diberikan batasan adalah memberikan batasan pada kapasitas kendaraan yang berbeda-beda dengan biaya yang berbeda. Permasalahan tersebut dikenal dengan nama *Mixed Fleet Vehicle Routing Problem* (MFVRP) atau *Heterogeneous Vehicle Routing Problem* (HVRP).

HVRP berkonsentrasi pada batasan kapasitas kendaraan yang berbeda-beda. Waktu tempuh yang diperlukan kendaraan pada HVRP hanya diperhitungkan dari jarak yang perlu ditempuh kendaraan. Dengan kata lain, waktu tempuh sama untuk semua jenis kendaraan. Padahal, pada keadaan sebenarnya, terutama di lingkungan perkotaan, kendaraan dengan kapasitas berbeda bisa memiliki waktu tempuh yang berbeda juga. Oleh karena itu, penelitian ini ingin mengembangkan HVRP yang memperhatikan adanya perbedaan kapasitas dan waktu tempuh dari tiap jenis kendaraan.

I.2 Identifikasi dan Perumusan Masalah

Menurut Baldacci, Battara, dan Vigo (2007), VRP merupakan salah satu masalah optimasi kombinatorial yang paling banyak dipelajari dan berkaitan dengan desain rute yang optimal yang akan digunakan oleh kendaraan untuk melayani pelanggan-pelanggan. Sejak pertama kali dikenalkan oleh Dantzig dan Ramser pada tahun 1959, sudah ada banyak varian penelitian dari VRP, seperti *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) dan *Vehicle Routing Problem with Time Window* (VRPTW). CVRP merupakan permasalahan dimana kendaraan yang tersedia memiliki jenis yang sama atau dengan kata lain adalah homogen. CVRP hanya mempertimbangkan kapasitas dari kendaraan dimana kapasitas tersebut sama untuk setiap kendaraan. VRPTW merupakan permasalahan dimana

pelanggan hanya dapat dilayani pada jam-jam tertentu saja. CVRP dan VRPTW menggunakan satu jenis kendaraan. Padahal, pada keadaan sebenarnya, perusahaan bisa menggunakan beberapa jenis kendaraan yang berbeda kapasitasnya. Oleh karena itu, muncullah varian penelitian dari VRP lainnya, yaitu *Heterogeneous Vehicle Routing Problem* (HVRP). HVRP merupakan VRP dengan tambahan batasan dimana kapasitas kendaraan menjadi berbeda-beda. Hal ini seperti mengembangkan dari CVRP, dimana pada awalnya kapasitas kendaraan sama, menjadi kapasitas berbeda-beda untuk tiap jenis kendaraan.

Permasalahan VRP dapat dicontohkan pada kasus perusahaan jasa pengiriman barang atau ekspedisi di Indonesia. Perusahaan jasa pengiriman barang merupakan perusahaan yang menawarkan jasa pengiriman barang ke tempat tujuan dengan menggunakan kendaraan. Perusahaan pengiriman barang memiliki gudang tempat penyimpanan barang pada masing-masing daerah yang tersebar di Indonesia. Dari gudang tempat penyimpanan barang yang ada di masing-masing daerah tersebut nantinya barang yang sudah dikumpulkan akan dikirimkan ke tempat-tempat tujuan. Jika dihubungkan dengan VRP, maka gudang tempat penyimpanan dapat dianalogikan menjadi depot dan tempat-tempat tujuan dapat dianalogikan menjadi titik tujuan atau *node*. Setiap *node* harus dilayani satu kali oleh satu kendaraan. Setiap kendaraan yang sudah melayani satu *node* maka akan kembali ke depot. Setiap kendaraan yang melayani suatu *node* akan menimbulkan biaya transportasi. VRP akan mencari rute kendaraan yang dapat meminimasi biaya transportasi.

Penerapan kasus perusahaan jasa pengiriman barang atau ekspedisi di Indonesia dapat lebih diterapkan pada permasalahan CVRP dibandingkan pada permasalahan VRP. Perusahaan jasa pengiriman barang memiliki gudang tempat penyimpanan barang, terdapat tempat-tempat tujuan barang, dan akan mengirimkan barang dari gudang tempat penyimpanan barang ke tempat-tempat tujuan. Namun, terdapat perbedaan pada bagaimana barang dikirim dari gudang penyimpanan barang ke tempat-tempat tujuan. Pada VRP, kendaraan memiliki kapasitas yang tidak terbatas, sedangkan pada CVRP terdapat batasan dimana kendaraan memiliki batasan kapasitas. Adanya batasan kapasitas kendaraan ini lebih menggambarkan keadaan sebenarnya dimana kendaraan pasti memiliki batas kapasitas.

Varian VRP lainnya yang dapat menerapkan kasus perusahaan jasa pengiriman barang atau ekspedisi di Indonesia adalah permasalahan HVRP. Perusahaan jasa pengiriman barang memiliki gudang tempat penyimpanan barang, terdapat tempat-tempat tujuan barang, dan akan mengirimkan barang dari gudang tempat penyimpanan barang ke tempat-tempat tujuan. HVRP memiliki kesamaan pada CVRP dimana terdapat batasan kapasitas pada kendaraan yang digunakan untuk mengirimkan barang dari gudang penyimpanan barang ke tempat-tempat tujuan. Akan tetapi, batasan kapasitas ini tidak sama untuk setiap kendaraan. HVRP memperhatikan jenis kendaraan yang digunakan sehingga setiap jenis kendaraan memiliki masing-masing kapasitas tersendiri. Pada keadaan sebenarnya, pada kasus CVRP berarti kendaraan yang digunakan akan selalu sama, misalnya mobil; sedangkan pada kasus HVRP berarti kendaraan yang digunakan akan berbeda-beda, misalnya motor, mobil, dan truk.

Berdasarkan uraian kasus yang sudah dilakukan, dapat dilihat bahwa permasalahan VRP dapat menggambarkan kasus pengiriman barang atau ekspedisi pada perusahaan di Indonesia. Permasalahan CVRP, dan HVRP dapat memberikan pemodelan yang lebih mendekati keadaan sebenarnya. Akan tetapi, HVRP belum dapat mendekati keadaan sebenarnya terutama pada perkotaan. Pada model HVRP dasar, waktu tempuh untuk setiap jenis kendaraan sama. Padahal, pada keadaan sebenarnya, sangat dimungkinkan waktu tempuh berbeda untuk tiap jenis kendaraan di lingkungan perkotaan. Pada perkotaan, perbedaan jenis kendaraan yang digunakan akan memiliki kecepatan berkendara yang berbeda. Menurut Walton dan Buchanan (2012), motor memiliki rata-rata kecepatan berkendara yang lebih cepat 10% daripada kendaraan lainnya (termasuk mobil). Motor memiliki rata-rata kecepatan berkendara lebih besar 3,3 Km/h daripada mobil. Pada CVRP sudah mempertimbangkan kapasitas dari kendaraan dan pada HVRP sudah mempertimbangkan terdapat perbedaan kapasitas dari kendaraan. Namun, kedua varian VRP tersebut belum mempertimbangkan perbedaan dari rata-rata kecepatan kendaraannya. Perbedaan rata-rata kecepatan kendaraan ini akan berpengaruh pada waktu tempuh yang diperlukan kendaraan. Pada CVRP dan HVRP, waktu tempuh yang diperlukan hanya dipertimbangkan pada jarak yang harus ditempuh kendaraan. Padahal, pada keadaan sebenarnya, waktu tempuh dipengaruhi oleh jarak tempuh dan rata-rata kecepatan kendaraan.

Sampai saat ini, sudah ada banyak varian HVRP yang sudah diteliti. Menurut Koc, Bektas, Jabali, dan Laporte (2016), varian HVRP yang sudah ada antara lain *time windows, multiple depots, stochastic demand, pickups and deliveries, multi-trips, the use of external carriers, backhauls, open routes, overloads, site-dependencies, multi-vehicle task assignment, green routing, single and double container loads, two-dimensional loading, multi-compartments, multiple stacks*, dan *collection depot*. Akan tetapi, dari semua varian HVRP tersebut, belum ada varian HVRP yang mempertimbangkan waktu tempuh kendaraan di perkotaan berdasarkan jenis kendaraan yang digunakan. Untuk mengetahui lebih lanjut mengenai varian HVRP, kemudian dilakukan pencarian referensi jurnal HVRP pada tahun 2017-2020. Peneliti menemukan 11 jurnal beserta hasil tinjauannya pada Tabel I.1.

Tabel I.1 Jurnal dengan Hasil Tinjauan

No.	Penelitian	Hasil Tinjauan
1	Panggabean, E. M., Mawengkang, H., Azis, Z., dan Sari, R. F. (2017)	Tidak mempertimbangkan perbedaan kecepatan / waktu / <i>cost</i>
2	Masmoudi, M. A., dan Cheikhrouhou, N. (2018)	Tidak mempertimbangkan perbedaan kecepatan / waktu / <i>cost</i>
3	Theeb, N. A., Araidah, O. A., dan Aljarrah, M. H. (2019)	Terdapat perbedaan kecepatan pada <i>inbound</i> dan <i>outbound</i> kendaraan
4	Wang, B., Qian, Q., Tan, Z. Zhang, P., Wu, A., dan Zhou, Y. (2020)	Terdapat koefisien <i>transportation cost</i> yang sama untuk setiap jenis kendaraan
5	Nepomuceno, N., Saboia, R. B., dan Pinheiro, P. R. (2019)	Tidak mempertimbangkan perbedaan kecepatan / waktu / <i>cost</i>
6	Azis, Z., dan Mawengkang, H. (2017)	Tidak mempertimbangkan perbedaan kecepatan / waktu / <i>cost</i>
7	Lubis, A., dan Mawengkang, H. (2020)	Tidak mempertimbangkan perbedaan kecepatan / waktu / <i>cost</i>
8	Hatami, S., Eskandarpour, M., Chica, M., Juan, A. A., dan Ouelhadjm, D. (2020)	Tidak mempertimbangkan perbedaan kecepatan / waktu / <i>cost</i>
9	Subramanyam, A., Repoussis, P. P., dan Gounaris, C. E. (2018)	Tidak mempertimbangkan perbedaan kecepatan / waktu / <i>cost</i>
10	Amer, H. H., Faraouk, H. A., dan Kilany, K. S. E-. (2020)	Mencari kecepatan yang optimum untuk emisi minimum
11	Hanum, F., Hartono, A. P., dan Bahktiar, T. (2018)	Terdapat perbedaan kecepatan berdasarkan <i>road segment</i>

Dari jurnal yang ditinjau tersebut, belum ada jurnal yang mempertimbangkan waktu tempuh kendaraan di perkotaan berdasarkan jenis kendaraan yang digunakan. Menurut Caric, Galic, Fosin, Gold, dan Reinholz (2008), permasalahan penentuan rute perjalanan memiliki tujuan untuk mencari minimal kendaraan yang digunakan, minimal *travel time* atau waktu tempuh yang

dibutuhkan, atau minimal biaya transportasi. Transportasi darat di lingkungan perkotaan identik dengan kemacetan. Berdasarkan Putra (2017), ada seorang teknisi bernama Kusnadi yang terjebak di kemacetan rata-rata 5 km per jam di Jalan Tol Lingkar Dalam. Berdasarkan Hanifan (2017), jika dirata-ratakan dari seluruh pergerakan kendaraan di Jakarta, setiap rute membutuhkan ekstra sebanyak 48 menit per hari. Berdasarkan Hanifan (2017) juga, ia mencoba bereksperimen untuk mengetahui seberapa lama melewati jalur Mampang, dan didapatkan hasil pada pagi hari dengan motor membutuhkan 32 menit, sedangkan dengan mobil membutuhkan 1 jam 23 menit. Hal tersebut mengindikasikan bahwa dalam menentukan rute perjalanan di lingkungan perkotaan akan lebih baik jika meminimasi waktu tempuh yang dibutuhkan. Dengan meminimasi waktu tempuh yang dibutuhkan, maka secara tidak langsung juga akan mengurangi biaya transportasi. Selain itu, perusahaan yang perlu mengantarkan barang *perishable* atau barang yang tidak tahan lama (seperti makanan, buah, daging, sayur-sayuran, dan sebagainya) ke *retailer* atau ke konsumen secara cepat. Hal tersebut membuat perusahaan perlu meminimasi waktu tempuh kendaraan yang digunakan untuk mengantarkan barangnya tersebut. Oleh karena itu, pada penelitian ini mengembangkan model HVRP dengan waktu tempuh kendaraan yang berbeda-beda untuk meminimasi waktu tempuh yang dibutuhkan agar dapat lebih sesuai dengan lingkungan perkotaan dan akan melihat pengaruhnya dengan HVRP dasar.

Berdasarkan identifikasi masalah yang sudah dibuat, maka dapat dirumuskan beberapa poin rumusan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana model *Heterogeneous Vehicle Routing Problem with Vehicle Dependent Travel Time* untuk meminimasi waktu tempuh yang dibutuhkan?
2. Bagaimana performansi *Heterogeneous Vehicle Routing Problem with Vehicle Dependent Travel Time* untuk meminimasi waktu tempuh yang dibutuhkan pada beberapa kasus hipotetik?

I.3 Batasan Masalah

Pada bagian ini akan dibahas mengenai batasan masalah yang akan digunakan pada penelitian pengembangan model *Heterogeneous Vehicle Routing*

Problem with Vehicle Dependent Travel Time. Batasan masalah bertujuan untuk membatasi ruang lingkup masalah. Batasan masalah untuk penelitian ini adalah

1. Menggunakan kasus hipotetik berskala kecil
2. Untuk data waktu mobil dengan menggunakan Google Maps mobil tidak menggunakan jalan tol.

I.4 Tujuan Penelitian

Pada bagian ini akan dibahas tujuan penelitian dari pengembangan model *Heterogeneous Vehicle Routing Problem with Vehicle Dependent Travel Time*. Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengembangkan model *Heterogeneous Vehicle Routing Problem with Vehicle Dependent Travel Time* untuk meminimasi waktu tempuh yang dibutuhkan.
2. Mengukur performansi dari model *Heterogeneous Vehicle Routing Problem with Vehicle Dependent Travel Time* yang dapat meminimasi waktu tempuh yang dibutuhkan.

I.5 Manfaat Penelitian

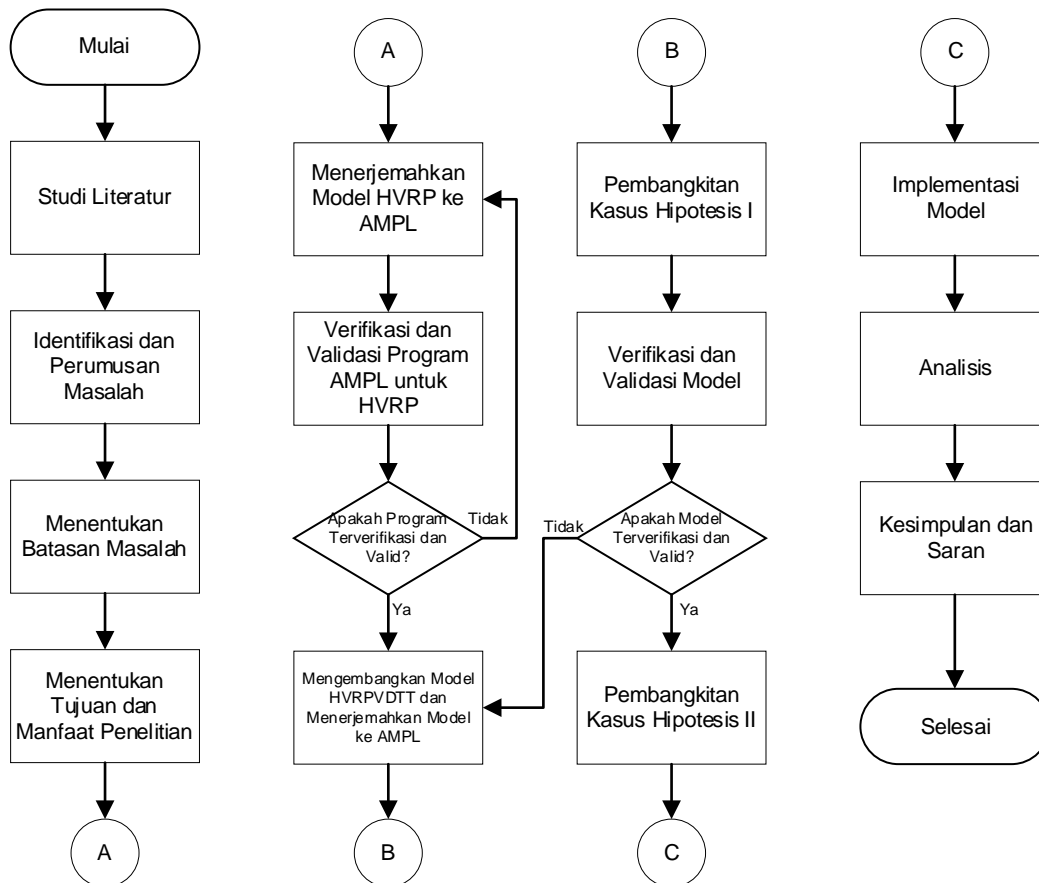
Pada bagian ini akan dibahas mengenai manfaat penelitian dari *Heterogeneous Vehicle Routing Problem with Vehicle Dependent Travel Time*. Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menambah referensi metode yang dapat digunakan untuk menyelesaikan *Heterogeneous Vehicle Routing Problem* dengan memperhatikan *vehicle dependent travel time*.
2. Memberikan wawasan dan informasi baru bagi pembaca dalam menyelesaikan *Heterogeneous Vehicle Routing Problem* dengan memperhatikan *vehicle dependent travel time*.

I.6 Metodologi Penelitian

Pada bagian ini akan dibahas mengenai metodologi penelitian yang dipakai dalam penelitian pengembangan model *Heterogeneous Vehicle Routing Problem with Vehicle Dependent Travel Time* (HVRPVDTT). Metodologi penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran bagaimana penelitian ini akan

dilaksanakan. *Flowchart* metodologi penelitian yang akan digunakan dapat dilihat pada Gambar I.1.



Gambar I.1 *Flowchart* Metodologi Penelitian

Berikut merupakan penjelasan mengenai metodologi penelitian yang akan dilakukan.

1. Studi Literatur

Tahap pertama yang dilakukan adalah melakukan studi literatur. Pada tahap ini dilakukan pengumpulan informasi yang dapat berguna pada penelitian ini. Studi literatur didapatkan dari sumber informasi yang jelas dan terpercaya, seperti jurnal, karya ilmiah, buku, dan sebagainya. Informasi yang dibutuhkan adalah mengenai transportasi dalam *supply chain*, *Vehicle Routing Problem*, *Heterogeneous Vehicle Routing Problem*, AMPL, dan NEOS Server.

2. Identifikasi dan Perumusan Masalah
Tahap kedua adalah melakukan identifikasi dan perumusan masalah. Masalah yang diangkat pada penelitian ini adalah *Heterogeneous Vehicle Routing Problem with Vehicle Dependent Travel Time*. Setelah melakukan identifikasi masalah, kemudian dilakukan perumusan masalah yang dibuat ke dalam beberapa poin perumusan masalah.
3. Menentukan Batasan Masalah
Setelah melakukan identifikasi dan perumusan masalah, tahapan selanjutnya adalah menentukan batasan masalah. Pada tahap ini batasan masalah ditentukan agar membatasi ruang lingkup masalah.
4. Menentukan Tujuan dan Manfaat Penelitian
Tahap keempat adalah menentukan tujuan dan manfaat penelitian. Penentuan tujuan penelitian bertujuan agar penelitian dapat dilakukan secara terarah. Penentuan manfaat penelitian bertujuan agar hasil penelitian dapat bermanfaat untuk peneliti maupun pembaca.
5. Menerjemahkan Model HVRP ke AMPL
Tahap kelima adalah menerjemahkan model HVRP dasar. Model HVRP dasar akan menggunakan model dari penelitian Suthikarnnarunai (2008). Model HVRP dasar tersebut akan diterjemahkan ke dalam bahasa pemrograman AMPL.
6. Verifikasi dan Validasi Program AMPL untuk HVRP
Tahap keenam adalah verifikasi dan validasi program AMPL untuk model HVRP dasar. Verifikasi dan validasi model bertujuan agar memastikan bahwa program HVRP dasar yang diterjemahkan sudah sesuai dengan yang diinginkan dalam penelitian ini.
7. Mengembangkan Model HVRPVDTT dan Menerjemahkan Model ke AMPL
Tahap ketujuh adalah mengembangkan model *Heterogeneous Vehicle Routing Problem with Vehicle Dependent Travel Time* dan menerjemahkannya ke dalam AMPL. Pada tahap ini akan dilakukan pemodelan HVRP dengan memperhatikan waktu tempuh kendaraan yang berbeda-beda atau HVRPVDTT. Setelah itu, model akan diterjemahkan ke dalam AMPL.
8. Pembangkitan Kasus Hipotetik I

Tahap kedelapan adalah pembangkitan kasus hipotetik berskala kecil. Pada tahap ini akan dibuat data berskala kecil untuk parameter yang dibutuhkan dalam menjalankan program HVRPVDTT. Kasus hipotetik ini akan digunakan untuk tahap verifikasi dan validasi model HVRPVDTT.

9. Verifikasi dan Validasi Model

Tahap kesembilan adalah verifikasi dan validasi model HVRPVDTT. Verifikasi dan validasi model bertujuan agar memastikan bahwa model pengembangan HVRPVDTT yang dibuat sudah sesuai dengan yang diinginkan dalam penelitian ini.

10. Pembangkitan Kasus Hipotetik II

Tahap ke-10 adalah membangkitkan kasus hipotetik untuk diimplementasikan pada skenario. Kasus hipotetik dibuat untuk menggambarkan kasus menyerupai keadaan sebenarnya.

11. Implementasi Model

Tahap ke-11 adalah melakukan implementasi model. Pada tahap ini model yang telah dibangun akan digunakan untuk diterapkan pada kasus hipotetik yang sudah dibuat.

12. Analisis

Tahap ke-12 adalah melakukan analisis hasil. Setelah dilakukan implementasi model, maka kemudian akan dilakukan analisis dari hasil implementasi tersebut. Analisis yang dilakukan berkaitan dengan hasil tersebut apakah sesuai dengan yang diharapkan atau tidak.

13. Kesimpulan dan Saran

Tahap ke-13 adalah kesimpulan dan saran. Kesimpulan dibuat untuk memberikan jawaban dari tujuan penelitian yang sudah dibuat. Saran dibuat sebagai bahan pertimbangan bagi penelitian selanjutnya.

I.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan penelitian pengembangan model *Heterogeneous Vehicle Routing Problem with Vehicle Dependent Travel Time* (HVRPVDTT) terdiri dari 5 bagian. Berikut merupakan 5 tahapan dari penulisan penelitian ini.

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini dibahas mengenai latar belakang, identifikasi dan perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan penelitian ini.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini dibahas mengenai tinjauan pustaka yang berkaitan dengan HVRPVDTT. Pada bab ini terdiri dari 5 bagian, yaitu transportasi dalam *supply chain*, VRP, HVRP, AMPL, dan NEOS *Server*.

BAB III PERANCANGAN DAN PENERAPAN MODEL

Pada bab ini dibahas mengenai perancangan dan penerapan model yang dilakukan pada penelitian ini. Pada bab ini terbagi menjadi 5 bagian, yaitu penerjemahan model HVRP ke AMPL, verifikasi dan validasi program HVRP, pengembangan model HVRPVDTT, verifikasi dan validasi model pengembangan HVRPVDTT, dan penerapan model.

BAB IV ANALISIS

Pada bab ini dibahas mengenai analisis dari perancangan dan penerapan model yang dilakukan pada Bab III. Pada bab ini terbagi menjadi 4 bagian, yaitu verifikasi dan validasi, data hipotetik untuk skenario, hasil skenario, dan performansi AMPL dan NEOS *Server*.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini dibahas mengenai kesimpulan yang dapat menjawab rumusan masalah dan tujuan penelitian. Pada bab ini juga akan dibahas mengenai saran untuk penelitian selanjutnya.

