



TUGAS AKHIR - KS 184822

OPTIMASI DISTRIBUSI BAHAN BAKAR MINYAK KE SPBU MENGGUNAKAN OPTIMASI METAHEURISTIK

**ACHMAD WILDAN AL AZIZ
NRP 062114 4000 0082**

**Dosen Pembimbing
Dr.rer.pol. Dedy Dwi Prastyo, S.Si., M.Si.
Dr.rer.pol. Heri Kuswanto, S.Si., M.Si**

**PROGRAM STUDI SARJANA
DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA, KOMPUTASI, DAN SAINS DATA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2019**



TUGAS AKHIR - KS 184822

OPTIMASI DISTRIBUSI BAHAN BAKAR MINYAK KE SPBU MENGGUNAKAN OPTIMASI METAHEURISTIK

**ACHMAD WILDAN AL AZIZ
NRP 062114 4000 0082**

**Dosen Pembimbing
Dr.rer.pol. Dedy Dwi Prastyo, S.Si., M.Si.
Dr.rer.pol. Heri Kuswanto, S.Si., M.Si**

**PROGRAM STUDI SARJANA
DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA, KOMPUTASI, DAN SAINS DATA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2019**



FINAL PROJECT - KS 184822

OPTIMIZATION OF FUEL DISTRIBUTION TO GAS STATION USING METAHEURISTIC OPTIMIZATION

**ACHMAD WILDAN AL AZIZ
SN 062114 4000 0082**

Supervisor

Dr.rer.pol. Dedy Dwi Prastyo, S.Si., M.Si.

Dr.rer.pol. Heri Kuswanto, S.Si., M.Si

**UNDERGRADUATE PROGRAMME
DEPARTMENT OF STATISTICS
FACULTY OF MATHEMATICS, COMPUTING, AND DATA SCIENCE
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2019**

LEMBAR PENGESAHAN

OPTIMASI DISTRIBUSI BAHAN BAKAR MINYAK KE SPBU MENGGUNAKAN OPTIMASI METAHEURISTIK

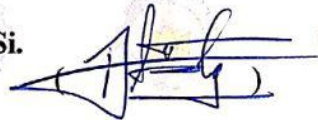
TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Statistika
pada
Program Studi Sarjana Departemen Statistika
Fakultas Matematika, Komputasi, dan Sains Data
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
Achmad Wildan Al Aziz
NRP. 06211440000082

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Dr.rer.pol. Dedy Dwi Prastyo, S.Si., M.Si.
NIP. 19831204 200812 1 002



Dr.rer.pol. Heri Kuswanto, S.Si., M.Si.
NIP. 19820326 200312 1 004



Mengetahui,
Kepala Departemen



Dr. Suhartono
NIPK 19710929 199512 1 001

SURABAYA, JANUARI 2019

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

OPTIMASI DISTRIBUSI BAHAN BAKAR MINYAK KE SPBU MENGGUNAKAN OPTIMASI METAHERUISTIK

Nama : Achmad Wildan Al Aziz
NRP : 062114 4000 0082
Departemen : Statistika FMKSD-ITS
Dosen Pembimbing : Dr.rer.pol. Dedy Dwi Prastyo, S.Si.,
M.Si.
Dr.rer.pol. Heri Kuswanto, S.Si., M.Si.

Abstrak

Penyaluran Bahan Bakar Minyak (BBM) harus efisien dan ekonomis baik dari segi waktu maupun biaya. Kendala yang biasa dihadapi dalam penyaluran bahan bakar dari tempat satu ke tempat lainnya yakni letak geografis yang cukup jauh. Biaya distribusi merupakan salah satu komponen dalam perumusan harga keekonomian yang ditetapkan oleh Badan Pengatur Hilir Minyak dan Gas Bumi. Permasalahan untuk mendapatkan rute distribusi BBM menjadi semakin rumit. Vehicle Routing Problem (VRP) dikembangkan untuk mempelajari bagaimana mendapatkan jalur distribusi BBM terpendek. Metode optimasi metaheuristik yang digunakan dalam penyelesaian VRP dan terbukti mampu menemukan solusi dengan baik dan cepat serta efisien dalam menyelesaikan masalah rute terpendek. Penelitian ini akan menyelesaikan VRP dengan metode optimasi metaheuristik Genetic Algorithm dan Simulated Annealing. Metode simulated annealing mendapatkan hasil rute terpendek dengan waktu tempuh 1019 menit, sedangkan metode genetic algorithm mendapatkan rute terpendek 1208 menit. Waktu pencarian rute yang dibutuhkan oleh metode simulated annealing sekitar 0,442 detik, sedangkan metode genetic algorithm selama 2,03 detik. Dengan demikian pada penelitiann ini metode simulated annealing lebih baik daripada genetic algorithm baik dari segi hasil optimasi rute terpendek dan waktu pencarian rute.

Kata Kunci : *Bahan Bakar Minyak, Genetic Algorithm, Metaheuristics, Simulated Annealing, Vehicle Routing Problem,*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

OPTIMIZATION OF FUEL DISTRIBUTION TO GAS STATION USING METAHEURISTIC OPTIMIZATION

Name : Achmad Wildan Al Aziz
Student Number : 062114 4000 0082
Department : Statistika FMKSD-ITS
Supervisor : Dr.rer.pol. Dedy Dwi Prastyo, S.Si.,
M.Si.
Dr.rer.pol. Heri Kuswanto, S.Si., M.Si.

Abstract

Distribution of fuel must be efficient and economical both in terms of time and cost. Constraints that are usually faced in the distribution of fuel from one place to another, which is quite a geographical location. Distribution costs are one component in the formulation of economic prices set by BPH-Migas. The problem of getting fuel distribution routes is becoming increasingly complex. Vehicle Routing Problem (VRP) was developed to learn how to get the shortest distribution path. Metaheuristic optimization method used in VRP completion and proven to be able to find a solution well and fast, and efficiently in solving the shortest route problem. This study will complete VRP with metaheuristic optimization method Genetic Algorithm and Simulated Annealing. The simulated annealing method gets the shortest route with a travel time of 1019 minutes, while the genetic algorithm method gets the shortest route 1208 minutes. The route search time needed by the simulated annealing method is around 0.442 seconds, while the genetic algorithm method is 2.03 seconds. Thus in this study the simulated annealing method is better than genetic algorithm both in terms of the optimization results of the shortest route and route search time.

Keywords: *Vehicle Routing Problem, Fuel, Genetic Algorithm, Simulated Annealing, Metaheuristics.*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, karunia dan pertolongan-Nya yang tak pernah berhenti diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan judul, **“Optimasi Distribusi Bahan Bakar Minyak ke SPBU Menggunakan Optimasi Metaheuristik”** dengan baik, lancar, dan tepat waktu.

Dalam menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini, penulis telah banyak menerima bantuan serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua beserta keluarga atas doa, dukungan, dan semangat yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini dengan lancar.
2. Bapak Dr.rer.pol. Dedy Dwi Prastyo, S.Si., M.Si. dan Bapak Dr.rer.pol. Heri Kuswanto, S.Si., M.Si. yang bersedia membimbing, memberikan waktu, serta arahan dan masukan dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir sehingga dapat mendidik penulis untuk senantiasa menjadi lebih baik.
3. Ibu Wibawati, S.Si., M.Si. dan Bapak Dr. Ir. Setiawan, M.S. selaku dosen penguji yang telah memberikan kritikan serta saran demi kesempurnaan Laporan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Suhartono selaku Kepala Departemen Statistika FMKSD ITS dan Bapak Dr. Sutikno selaku Ketua Program Studi Sarjana sekaligus dosen wali penulis selama menuntut ilmu di Departemen Statistika FMKSD ITS.
5. Seluruh dosen Statistika ITS yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan yang tak ternilai harganya, serta segenap karyawan Departemen Statistika ITS.
6. Seluruh teman-teman Statistika ITS, Respect, dan Garuda yang selalu memberikan dukungan kepada penulis.
7. Teman-teman Data Science Indonesia Regional Jawa Timur yang banyak memberikan kesempatan penulis untuk belajar dan berkembang.

8. Berbagai pihak yang tidak bisa penulis sebutkan namanya satu persatu yang telah membantu dalam penulisan laporan ini.

Penulis berharap Laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan sumbangan yang bermanfaat bagi masyarakat dan bagi ilmu pengetahuan. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan dan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan serta masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, saran dan kritik dari segala pihak yang bersifat membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan penulis selanjutnya.

Surabaya, Januari 2019

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
COVER PAGE	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 <i>Vehicle Routing Problem</i>	7
2.2 <i>Genetic Algorithm</i>	10
2.3 <i>Simulated Annealing</i>	12
2.4 Terminal Bahan Bakar Minyak	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1 Sumber Data	17
3.2 Variabel Penelitian	17
3.3 Struktur Data.....	20
3.4 Langkah Analisis	21
3.5 Diagram Alir Penelitian	22
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	25
4.1 Pemodelan <i>Vehicle Routing Problem</i>	25
4.2 Optimasi dengan <i>Simulated Annealing</i>	32
4.3 Optimasi dengan <i>Genetic Algorithm</i>	34
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	39
5.1 Kesimpulan	39

5.2 Saran	39
DAFTAR PUSTAKA	41
LAMPIRAN.....	47
BIODATA PENULIS.....	57

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Solusi <i>Vehicle Routing Problem</i>	7
Gambar 2.2 Prosedur Pendistribusian BBM dari TBBM ke SPBU.....	14
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	22
Gambar 3.2 Diagram Alir <i>Simulated Annealing</i>	23
Gambar 3.3 Diagram Alir <i>Genetic Algorithm</i>	24
Gambar 4.1 Ilusteasi VRP Pada Penguruman BBM	25
Gambar 4.2 Persebaran lokasi SPBU dan TBBM	29
Gambar 4.3 <i>Plot</i> Iterasi <i>Simulated Annealing</i>	32
Gambar 4.3 <i>Plot</i> Iterasi <i>Simulated Annealing</i> (lanjutan).....	33
Gambar 4.4 <i>Plot Genetic Algorithm</i>	35

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Representasi Istilah Genetika pada VRP.....	11
Tabel 3.1 Variabel Penelitian.....	17
Tabel 3.2 Parameter.....	17
Tabel 3.3 Strukur Data Waktu Perjalanan antar SPBU	20
Tabel 3.4 Strukur Data Permintaan BBM Setiap SPBU dan Setiap Jenis BBM.....	20
Tabel 3.5 Strukur Rute Truk- k Berjenis r Pada Perjalanan ke- o ($xkijro$)	21
Tabel 4.1 Waktu Tempuh Perjalanan Dari TBBM ke SPBU	26
Tabel 4.2 Matriks Waktu Tempuh (menit) Kelompok TBBM 1	27
Tabel 4.3 Matriks Waktu Tempuh (menit) Kelompok TBBM 2	28
Tabel 4.4 Matriks Waktu Tempuh (menit) Kelompok TBBM 3	28
Tabel 4.5 Jenis Truk Pengangkut BBM.....	30
Tabel 4.6 Permintaan BBM Kelompok TBBM 1.....	31
Tabel 4.7 Permintaan BBM Kelompok TBBM 2.....	31
Tabel 4.8 Permintaan BBM Kelompok TBBM 3.....	32
Tabel 4.9 Rute Optimal Dengan <i>Simulated Annealing</i>	33
Tabel 4.10 Rute Optimal Dengan <i>Genetic Algorithm</i>	36
Tabel 4.10 Rute Optimal Dengan <i>Genetic Algorithm</i> (lanjutan)	37

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Data Matriks Waktu Tempuh (menit) Perjalanan Antar TBBM dan SPBU.....	47
Lampiran 2 <i>Syntax</i> R untuk <i>Vehicle Routing Problem</i> Dengan <i>Simulated Annealing</i>	49
Lampiran 3 <i>Syntax</i> R untuk <i>Vehicle Routing Problem</i> Dengan <i>Genetic Algorithm</i>	52
Lampiran 4 <i>Syntax</i> R untuk plot <i>Multidimensional Scaling</i> ...	54
Lampiran 5 <i>Syntax</i> R untuk plot iterasi <i>Simulated Annealing</i>	55

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bahan Bakar Minyak (BBM) merupakan jenis bahan bakar yang saat ini telah menjadi kebutuhan pokok dalam kegiatan rumah tangga dan industri, terutama dalam kegiatan yang berhubungan dengan transportasi. Permasalahan umum terkait BBM di Indonesia yaitu konsumsi BBM yang sangat tinggi dan luasnya wilayah geografis Indonesia, sehingga diperlukan upaya untuk memenuhi kebutuhan BBM di Indonesia. Penyalur BBM tersebut haruslah efisien baik dari segi waktu maupun biaya.

Badan Pengatur Hilir Minyak dan Gas Bumi (BPH Migas) merilis cara menghitung harga keekonomian BBM yaitu, harga dasar, harga margin, dan pajak. Harga dasar dibentuk oleh beberapa komponen yakni, harga indeks pasar (HIP), biaya alpha yang terdiri dari biaya distribusi, biaya penyimpanan, dan biaya perolehan kilang dalam negeri atau impor. Perencanaan strategi distribusi BBM merupakan cara yang efektif untuk menghemat biaya keseluruhan, karena biaya distribusi tidak berhubungan dengan harga pasar minyak bumi dan bisa dikendalikan oleh perusahaan (Janakiraman, 2010). Bahkan biaya distribusi bisa mencapai 75% dari biaya logistik yang dikeluarkan oleh perusahaan (Bräysy & Gendreau, 2005), sehingga diperlukan upaya dalam efisiensi proses distribusi untuk menekan biaya keseluruhan.

Pendistribusi BBM merupakan permasalahan yang amat rumit. Dantzig & Ramser (1959) mengagas “*Truck Dispatching Problem*” yang bertujuan untuk mendapatkan rute terpendek dalam pengiriman bahan bakar minyak ke beberapa SPBU sebagai landasan dalam menentukan jalur distribusi optimal. Menurut Anam (2016) rute terbaik pada umumnya didasarkan pada jarak tempuh terpendek dari suatu titik ke titik yang lain. Namun kini permasalahan untuk mendapatkan rute distribusi BBM menjadi semakin kompleks. Banyak faktor yang harus dipertimbangkan

dalam perumusan strategi distribusi BBM seperti, jenis BBM yang kini lebih beragam, jenis kendaraan yang digunakan untuk mengangkut BBM, kapan BBM bisa dikirimkan dan lain sebagainya.

Pada bidang riset operasi dikembangkan keilmuan *Vehicle Routing Problem* (VRP) untuk mempelajari fenomena – fenomena tersebut. VRP mempelajari tentang bagaimana mendapatkan jalur distribusi terpendek dengan memperhatikan beberapa pertimbangan seperti jumlah permintaan dan jumlah armada pengangkut (Silverstrin & Ritt, 2014). VRP merupakan optimasi kombinatorial untuk menyelesaikan kasus transportasi dan distribusi. Untuk menyelesaikan VRP dikembangkan berbagai metode optimasi diantaranya metode eksak, heuristik, dan metaheuristik. Kompleksitas VRP mengakibatkan metode eksak hanya mampu digunakan untuk data kecil. Menurut Kumar & Panneerselvam (2012) metode eksak terbatas hanya untuk sekitar 50 hingga 100 data. Metode - metode heuristik dan metaheuristik lebih banyak dikembangkan karena lebih cepat dan hasilnya cukup baik (Vidal, 2013). Beberapa metode metaheuristik yang umum digunakan dalam berbagai kasus optimasi diantaranya adalah *Ant colony optimization*, *Particle swarm optimization*, *Genetic algorithm*, dan *Simulated annealing*.

Ant colony optimization (ACO) merupakan salah satu metode optimasi metaheuristik yang terbukti mampu menemukan solusi dengan baik dan cepat serta efisien dalam menyelesaikan masalah rute terpendek. ACO merupakan algoritma optimasi global yang diinspirasi oleh kemampuan koloni semut dalam mencari makanan. Dalam berbagai penelitian menunjukkan bahwa algoritma – algoritma Swarm Intelligence mampu menghasilkan solusi yang mendekati optimum global dalam waktu singkat, dengan hanya mengeksplorasi sebagian ruang pencarian yang ada (Yang, Cui, Xiao, Gandomi, & Karamanoglu, 2013).

Particle swarm optimization (PSO) tergolong belum lama diterapkan untuk menyelesaikan optimasi pencarian rute terpendek. Namun pengembangan dari metode PSO terbukti

mampu bersaing dengan metode optimasi metaheuristik lainnya (Siarry, 2016). Chen, Yang, dan Wu (2006) mengusulkan metode PSO untuk *Capacitated VRP*. Pengembangan dari metode PSO juga mampu menyelesaikan VRP dimana permintaan tidak pasti atau stokastik (Marinakis, Iordanidou, & Marinaki, 2013).

Genetic algorithm (GA) merupakan salah satu metode optimasi metaheuristik paling lama dan paling banyak digunakan, terutama dalam kaitannya dengan VRP. Awalnya GA kurang diminati karena membutuhkan waktu yang cukup lama untuk mendapatkan optimal global. Seiring perkembangannya, GA menjadi jauh lebih baik dan menjadi metode yang umum digunakan untuk optimasi metaheuristik, GA mampu menanggapi berbagai variasi dari VRP. Thangiah, Nygard, & Juell (1991) menggunakan GA untuk menyelesaikan VRP dengan variasi *Time Window*. GA juga dapat menyelesaikan variasi *multi-depot VRP* (Salhi, Thangiah, & Rahman, 1998), *backhauls VRP* (Potvin, Dube, & Robillard, 1996), dan penjadwalan rute bus sekolah (Thangiah & Nygard, 1992).

Simulated annealing (SA) sama seperti GA, merupakan metode optimasi metaheuristik yang paling tua untuk menyelesaikan VRP. Kini SA secara tunggal sudah jarang digunakan dalam penyelesaian mencari rute terpendek. SA banyak digabungkan dengan metode lain, seperti GA untuk mendapatkan hasil yang lebih baik. Keunggulan dari SA adalah implementasinya yang mudah dan fleksibel, selain itu SA memberikan hasil yang sangat baik terutama pada kasus yang cukup besar. Li, Golden, & Wasil (2005) menggunakan SA untuk menyelesaikan *Capacitated VRP*. Lin, Yu, & Lu (2011) melakukan penelitian VRP *with Time Window* dengan penyelesaian menggunakan SA.

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, penelitian ini akan menyelesaikan *Vehicle Routing Problem* dengan metode optimasi metaheuristik yaitu *Genetic Algorithm* dan *Simulated Annealing*. Selanjutnya akan dibandingkan hasil kinerja dari keempat metode optimasi metaheuristik tersebut. Diharapkan dengan adanya penelitian ini dapat memberikan

masukan bagi perusahaan dalam menentukan strategi untuk efisiensi rantai distribusi BBM.

1.2 Rumusan Masalah

Proses distribusi merupakan proses yang paling mahal biayanya pada rantai pasok logistik. Pada kasus penentuan harga keekonomian BBM juga mencakup biaya distribusi. Efisiensi biaya distribusi dapat menekan biaya keseluruhan BBM. Untuk menyelesaikan permasalahan tersebut, penelitian ini akan melakukan optimasi pendistribusian bahan bakar minyak ke SPBU menggunakan metode *Genetic Algorithm* dan *Simulated Annealing* untuk mendapatkan rute yang optimal.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang akan dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mendapatkan rute optimal pada pendistribusian bahan bakar minyak ke SPBU.
2. Membandingkan hasil kinerja metode optimasi *Genetic Algorithm* dan *Simulated Annealing*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memberikan masukan untuk perusahaan dalam pengambilan keputusan untuk menentukan rute optimal, sehingga dapat menekan biaya yang dibutuhkan dalam distribusi bahan bakar minyak.
2. Penelitian ini dapat memberikan wawasan dan pengetahuan mengenai bidang keilmuan Operation Research, khususnya Vehicle Routing Problem.

1.5 Batasan Masalah

Data yang digunakan pada penelitian ini terbatas hanya data simulasi yang telah diverifikasi. Asumsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Setiap permintaan SPBU dapat dipenuhi oleh TBBM.

2. Jumlah permintaan setiap SPBU tetap.
3. Setiap SPBU dan TBBM mempunyai waktu tempuh perjalanan yang simetris, artinya waktu tempuh untuk berangkat dan kembali sama.
4. Waktu tempuh perjalanan sudah termasuk waktu pelayanan di SPBU.
5. Waktu tempuh perjalanan sudah termasuk waktu kemacetan.
6. Waktu pengiriman dapat dilakukan kapan saja.
7. Tidak ada biaya lain pada pengiriman BBM ke SPBU.
8. Setiap rute haru berawal dan berakhir pada TBBM yang sama.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

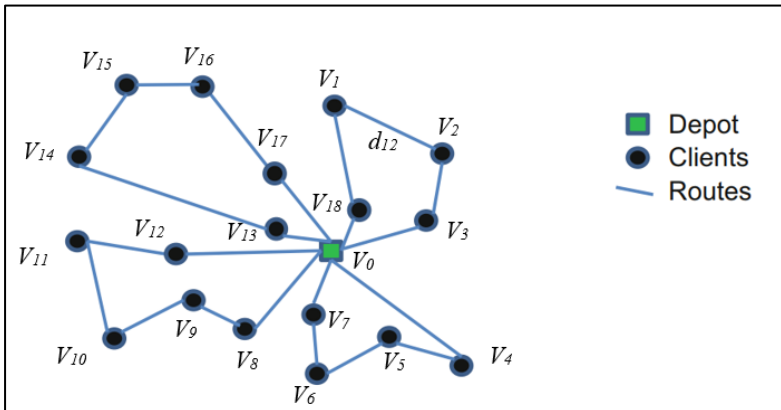
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Vehicle Routing Problem*

Vehicle Routing Problem (VRP) merupakan permasalahan untuk mendapatkan biaya minimum untuk melalui rute tertentu dari suatu sumber (*depot*) menuju ke beberapa simpul (*node*), hingga berakhir di sumber yang sama (Belfiore, Tsugunobu, & Yoshizaki, 2008). VRP awalnya dikembangkan oleh Dantzig & Ramser (1959) sebagai “*Truck Dispatching Problem*” yang bertujuan untuk mendapatkan rute terpendek dalam pengiriman bahan bakar minyak ke beberapa SPBU (Braekers, Ramaekers, & Nieuwenhuysse, 2016). Kini VRP telah berkembang luas dan banyak digunakan dalam bidang *supply chain management* untuk menentukan strategi efektif dan mengurangi biaya dalam rantai distribusi.

VRP dikategorikan sebagai masalah *NP-hard*, sehingga penyelesaian optimasi dengan metode eksak membutuhkan waktu yang lama dan sumber daya yang besar. Menurut Kumar & Panneerselvam (2012) metode eksak terbatas hanya mampu 50-100 data, karenanya kini penyelesaian VRP banyak menggunakan metode heuristik.



Gambar 2.1 Solusi *Vehicle Routing Problem*

Pada kondisi sebenarnya VRP memiliki banyak faktor yang berpengaruh pada bagaimana cara penyelesaiannya. Sehingga muncul berbagai variasi dari VRP, antara lain:

1. *Capacitated VRP (CVRP)*, dimana kendaraan yang digunakan memiliki kapasitas yang terbatas (Kumar & Panneerselvam, 2012).
2. *VRP with Time Windows (VRPTW)*, dimana pelayanan hanya dapat dilakukan pada interval waktu yang telah ditentukan (Garcia-Najera & Bullinaria, 2011).
3. *Split-Delivery VRP (SDVRP)*, dimana pelanggan dapat dikunjungi beberapa kali untuk memenuhi permintaannya, sehingga kendaraan yang digunakan bisa lebih sedikit (Belenguer, Benavent, Labadi, Prins, & Reghioui, 2010).
4. *Heterogeneous Fleet VRP (HFVRP)*, dimana terdapat beberapa tipe kendaraan yang digunakan. Tiap tipe kendaraan dapat memiliki kapasitas dan biaya yang berbeda (Brandão, 2011).
5. *Multicompartment VRP (MCVRP)*, dimana kendaraan yang digunakan memiliki beberapa kompartemen (El Fallahi, Prins, & Wolfler-Calvo, 2008).
6. *Multidepot VRP (MDVRP)*, dimana depot asal kendaraan lebih dari satu (Kuo & Wang, 2012).
7. *Open VRP (OVRP)*, dimana kendaraan tidak perlu kembali ke depot asalnya setelah menyelesaikan pekerjaannya (Li, Leung, & Tian, 2012).

Secara umum VRP dideskripsikan sebagai teori graf, dimana diberikan himpunan lokasi $V = \{V_0, V_1, \dots, V_n\}$, dimana V_0 adalah depot dan V_1, \dots, V_n adalah tujuan. Setiap pasangan lokasi $i, j \in V$ memiliki jarak perjalanan d_{ij} (Silverstrin & Ritt, 2014). Untuk meminimumkan total biaya perjalanan dari seluruh kendaraan, VRP secara umum dapat dimodelkan fungsi tujuan sebagai berikut,

$$\min \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{j \neq i, k=1}^K c_{ij} x_{ijk} \quad (2.1)$$

Dengan fungsi kendala sebagai berikut,

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^n x_{ijk} \leq K, \quad \forall i = 0 \quad (2.2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ijk} = 1, \quad \forall i = 0 \text{ and } k \in \{1, \dots, K\} \quad (2.3)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{jik} = 1, \quad \forall i = 0 \text{ and } k \in \{1, \dots, K\} \quad (2.4)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=0, j \neq 1}^n x_{ijk} = 1, \quad \forall i \in \{1, \dots, n\} \quad (2.5)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=0, i \neq 1}^n x_{ijk} = 1, \quad \forall j \in \{1, \dots, n\} \quad (2.6)$$

$$\sum_{i=1}^K m_i \sum_{j=0, j \neq 1}^n x_{ijk} \leq q_k, \quad \forall k \in \{1, \dots, K\} \quad (2.7)$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0, j \neq 1}^n x_{ijk} (t_{ij} + f_i + w_i) \leq r_k, \quad \forall k \in \{1, \dots, K\} \quad (2.8)$$

dimana,

$x_{ijk} \in \{0, 1\}$, 1 jika truk k dari i menuju ke j

$i \neq j$; $i, j \in \{0, 1, 2, \dots, n\}$

w_i = waktu tunggu pada depot i

K = jumlah kendaraan

n = jumlah pelanggan

c_{ij} = biaya yang dibutuhkan dari i ke j

- t_{ij} = waktu perjalanan yang dibutuhkan dari i ke j
 q_i = permintaan pada depot i
 g_k = kapasitas kendaraan k
 f_i = waktu pelayanan pada depot i
 r_k = rute waktu yang diperbolehkan untuk kendaraan k

Persamaan 2.2 merupakan fungsi kendala untuk memastikan bahwa jumlah perjalanan hanya sebanyak jumlah kendaraan K . Persamaan 2.3 adalah fungsi kendala yang memastikan bahwa untuk setiap kendaraan, ada tepat satu busur keluar dari depot. Demikian pula persamaan 2.4, fungsi kendala yang memastikan bahwa untuk setiap kendaraan, ada tepat satu busur yang masuk ke simpul sehubungan dengan depot ($i = 0$). Dua fungsi kendala tersebut secara bersama memastikan bahwa perjalanan lengkap untuk setiap kendaraan. Persamaan 2.5 merupakan fungsi kendala yang memastikan bahwa untuk setiap simpul i hanya satu busur untuk setiap kendaraan yang berasal dari simpul tersebut. Persamaan 2.6 adalah fungsi kendala yang menjamin bahwa untuk setiap simpul j , hanya satu busur untuk setiap kendaraan masuk ke simpul tersebut. Persamaan 2.5 dan 2.6 adalah fungsi kendala untuk memastikan bahwa setiap kendaraan mengunjungi setiap simpul hanya sekali. Persamaan 2.7 adalah fungsi kendala untuk memastikan bahwa muatan yang diangkut sesuai atau kurang dari kapasitas kendaraannya. Persamaan 2.8 merupakan fungsi kendala yang menjamin bahwa total waktu perjalanan untuk setiap kendaraan sesuai atau kurang dari waktu yang diberikan.

2.2 Genetic Algorithm

Genetic Algorithm (GA) adalah teknik optimasi yang mengadopsi proses evolusi dan perubahan struktur genetik pada makhluk hidup. Pada teori evolusi, hanya individu terbaik yang mampu bertahan hidup. Individu – individu tersebut telah mengalami penyesuaian tingkat genetik selama berulang kali untuk menyesuaikan dengan lingkungan hidupnya. Istilah – istilah yang

digunakan pada GA mengadopsi pada ilmu genetika yang ditunjukkan pada Tabel 2.1,

Tabel 2.1 Representasi Istilah Genetika pada VRP

Istilah Gentika	GA-VRP
<i>Population</i>	Kumpulan rute
<i>Fitness</i>	Waktu tempuh
<i>Chromosome</i>	Rute
<i>Gene</i>	Pengkodean permutasi
<i>Generation</i>	Iterasi

GA memiliki beberapa kelebihan, diantaranya GA mampu mengakomodasi berbagai jenis fungsi objektif dari berbagai kromosom. GA mampu menangani masalah optimasi yang kompleks dan paralel, seimbang atau tidak seimbang, linier atau tidak linier, berkesinambungan atau tak berkesinambungan, atau dengan *random noise* (Zhang, 2011).

Proses dalam menentukan rute terpendek dengan GA adalah sebagai berikut (Härdle, Prastyo, & Hafner, 2014)

a. Pengkodean (*Encoding*)

Proses pengkodean menghasilkan deretan nilai yang disebut kromosom. Kromosom merupakan sekumpulan bit atau gen. Teknik pengkodean yang dapat dilakukan diantaranya diantaranya pengkodean biner (*binary encoding*), pengkodean permutasi (*permutation encoding*), pengkodean nilai (*real-number encoding*), dan *general data structure encoding*.

b. Seleksi

Seleksi bertujuan untuk menentukan individu mana yang akan dipilih dan bagaimana keturunan dari individu – individu tersebut terbentuk. Langkah pertama pada proses seleksi adalah mendapatkan nilai *fitness*. *Fitness* merupakan ukuran performansi dari satu individu yang akan bertahan hidup, artinya individu yang memiliki nilai *fitness* tinggi akan berlanjut pada iterasi berikutnya. Ada beberapa macam proses seleksi, diantaranya,

- a. *Roulette Wheel Selection*, yaitu dengan memetakan individu – individu dalam suatu segmen garis secara berurutan hingga setiap segmen individu memiliki ukuran yang sama dengan ukuran *fitness*-nya.
 - b. *Rank-based Fitness*, yaitu mengurutkan populasi menurut nilai objektifnya.
 - c. *Stochastic Universal Sampling*, dengan memetakan individu – individu seperti pada *Roulette Wheel Selection*, lalu memberikan sejumlah *pointer* sebanyak individu yang ingin diseleksi pada garis tersebut.
 - d. *Local Selection*, seleksi yang dilakukan pada *constraint* tertentu.
 - e. *Truncation Selection*, untuk populasi yang sangat besar.
 - f. *Tournament Selection*, seleksi dengan cara menetapkan nilai turnamen untuk individu – individu yang dipilih secara acak dari suatu populasi.
- c. Pindah Silang (*Crossover*)
Pindah silang merupakan proses untuk membentuk kromosom baru yang harapannya lebih baik daripada induknya. Kromosom mengalami proses pindah silang berdasarkan *crossover probability*. Proses pindah silang akan membuat individu baru dengan cara mengkombinasikan beberapa bagian dari dua individu.
- d. Mutasi
Mutasi untuk mencegah algoritma terjebak pada solusi optimum lokal. Proses mutasi akan membuat individu baru dengan membuat perubahan pada sebuah kromosom terpilih.

2.3 *Simulated Annealing*

Simulated annealing (SA) merupakan metode optimasi metaheuristik yang menggunakan konsep pada proses fisika. Ketika suatu benda padat dipanaskan hingga mencair pada tingkat temperatur tertentu, atom – atom akan bergerak bebas dan apabila temperatur diturunkan, atom – atom tersebut akan mengatur dirinya sendiri untuk mendapatkan konfigurasi dengan tingkat energi yang lebih rendah (Rizal, 2007).

Pada penyelesaian VRP, semua kombinasi rute diibaratkan atom – atom yang bergerak bebas. Iterasi dalam proses pencarian rute terpendek dianalogikan dengan penurunan temperatur yang disebut *cooling schedule* pada proses *annealing*. Pada setiap iterasi dilakukan penukaran kombinasi rute yang merupakan calon solusi. Hasil dari penukaran rute disebut *neighbourhood*, yang dianalogikan sebagai nilai energi yang berbeda – beda (Wirdianto, Jonrinaldi, & Surya, 2007). Energi dapat dihitung dengan persamaan berikut (Manik, Zebua, & Simorangkir, 2011),

$$E = \sum_{i=1}^n t_i \quad (2.20)$$

dimana,

E : fungsi energi

t_i : waktu tempuh antar simpul(i) ke simpul($i-1$)

n : jumlah simpul.

Sedangkan *cooling schedule* dihitung dengan persamaan berikut (Manik, Zebua, & Simorangkir, 2011),

$$T_s = T_0 \left(\frac{T_N}{T_0} \right)^{\frac{s}{N}} \quad (2.21)$$

dimana,

T_s : temperatur *cooling schedule* ke- s

T_0 : temperature awal

T_N : temperatur *cooling schedule*

N : jumlah iterasi.

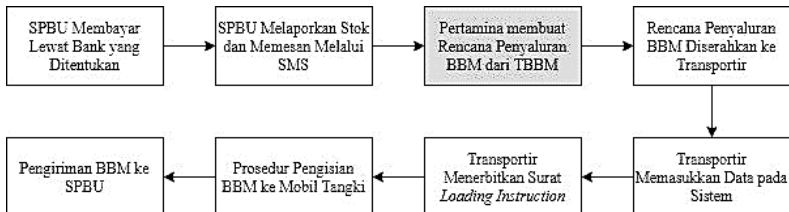
Proses untuk mendapatkan nilai optimal pada VRP dengan metode SA adalah sebagai berikut (Manik, Zebua, & Simorangkir, 2011).

1. Inisialisasi parameter kondisi (*state*) awal dan temperatur.
2. Hitung *initial energy* yang dihasilkan dari kondisi awal.
3. Perbarui *state* dan hitung kembali energi yang dihasilkan dari pembaruan.
4. Jika *state* baru lebih baik dari *state* saat ini maka akan menjadi solusi.

5. Jika *state* baru tidak lebih baik dari *state* saat ini maka bangkitkan bilangan acak berdistribusi Uniform (0,1), dinotasikan p .
6. Uji kriteria, jika $p < \exp\left(-\frac{\Delta E_s}{T_s}\right)$ maka pembaruan *state* diterima.
7. Turunkan *temperature* dengan fungsi *cooling schedule*.
8. Ulangi dari langkah 3 hingga kriteria terpenuhi.

2.4 Terminal Bahan Bakar Minyak

Terminal Bahan Bakar Minyak (TBBM) melakukan aktifitas penerimaan, penimbunan, dan penyaluran BBM. Pendistribusian BBM ke konsumen, khususnya SPBU, melalui prosedur yang panjang. Prosedur umum pendistribusian BBM melalui TBBM yang pertama, pihak SPBU melakukan pembayaran terlebih dahulu melalui bank yang telah ditentukan oleh Pertamina, lalu melakukan pelaporan stok BBM dan melakukan pemesanan melalui SMS. Pertamina membuat rencana penyaluran BBM setiap harinya dan diserahkan kepada pihak perusahaan pengangkutan BBM. Perusahaan pengangkutan BBM akan memasukan data penyaluran BBM kedalam sistem dan menerbitkan surat *Loading Instrucion* (LI) untuk armada mobil tangki yang ditentukan. Mobil tangki tersebut melalui serangkaian prosedur pengisian BBM dan mengantarkannya ke pihak SPBU pemesan (Arsas, 2016).



Gambar 2.2 Prosedur Pendistribusian BBM dari TBBM ke SPBU

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimasi tahapan ketiga pada prosedur pengiriman BBM dari TBBM seperti pada gambar 2.2. Berdasarkan hasil optimasi akan diperoleh pengaturan

kendaraan pengangkut BBM untuk pengiriman sesuai jenis dan jumlah BBM yang dipesan setiap SPBU, serta perencanaan rute pengiriman BBM ke SPBU dari TBBM yang efisien.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Sumber Data

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder. Data didapatkan dari riset tentang Sistem Manajemen Stok SPBU Pertamina yang dikerjakan oleh sebuah perusahaan konsultan yang berbasis di Jakarta.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini merupakan variabel – variabel yang digunakan untuk kasus *Vehicle Routing Problem*. Tabel 3.1 adalah variabel yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 3.1 Variabel Penelitian

Variabel	Definisi
t_{ij}	Waktu perjalanan yang dibutuhkan dari i ke j
q_{pi}	Permintaan BBM tipe p di i

Pada penelitian ini *Vehicle Routing Problem* yang akan diselesaikan memenuhi beberapa variasi VRP, yaitu *Capacitated VRP* (CVRP), *Heterogeneous Fleet VRP* (HFVRP), *Multicompartment VRP* (MCVRP). Parameter yang dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Parameter

Parameter	Definisi
i	Simpul ; $i \in \{0,1,2, \dots, I\}$, 0 adalah TBBM
k	Truk ; $k \in \{1, 2, 3, \dots, 15\}$
p	Jenis BBM ; $p \in \{1, 2, 3\}$
r	Jenis truk ; $r \in \{1, 2, 3\}$
m	Kompartemen ke- ; $m \in \{1, 2, 3, 4\}$
o	Perjalanan ; $o \in \{1,2, \dots, O\}$

Tabel 3.2 Parameter (Lanjutan)

Parameter	Definisi
c	Biaya tetap per satuan waktu
g_k	Jumlah kompartemen k

Sehingga fungsi objektif yang akan diselesaikan adalah sebagai berikut,

$$\min \sum_{k=1}^K \sum_{o=1}^O \sum_{i=0}^I \sum_{j=0}^J \sum_{r=1}^R c t_{ij} x_{kijro} \quad (3.1)$$

dimana,

$$x_{kijro} = \begin{cases} 1; & \text{jika truk } k \text{ pergi dari } i \text{ ke } j \text{ pada perjalanan ke-}o \\ 0; & \text{lainnya.} \end{cases}$$

Fungsi objektif pada persamaan (3.1) untuk meminumkan biaya dan waktu tempuh perjalanan. Biaya yang digunakan merupakan konstanta yang nilainya tetap. Sebuah rute perjalanan dianggap layak jika memenuhi seluruh fungsi kendala kendala sebagai berikut.

1. Permintaan SPBU harus terpenuhi.

$$\sum_k \sum_m \sum_o y_{kmio} \geq \sum_k \sum_j \sum_o q_{pi}, \forall p, \forall i \quad (3.2)$$

$$y_{kmio} = \begin{cases} 1, & \text{jika kompartemen } m \text{ dari truk } k \text{ dibongkar di } i \text{ pada} \\ & \text{perjalanan ke-}o \\ 0, & \text{lainnya} \end{cases}$$

Seluruh perjalanan truk harus memenuhi permintaan BBM untuk semua SPBU. Sehingga total BBM yang dibawa oleh semua truk setidaknya sama dengan total kebutuhan BBM untuk semua SPBU.

2. Untuk satu kali perjalanan truk k hanya bisa mengunjungi SPBU j satu kali.

$$\sum_i x_{kijo} \leq 1, \forall k, \forall j, \forall o \quad (3.3)$$

Pada setiap perjalanan, sebuah truk tidak boleh mengunjungi SPBU yang sama lebih dari sekali. Truk tersebut harus melanjutkan perjalanan ke SPBU lain yang belum pernah dikunjungi atau kembali ke TBBM.

3. Tidak ada truk yang menginap di SPBU i .

$$\sum_j x_{kijo} = \sum_j x_{kjio}, \forall k, \forall i, \forall o \quad (3.4)$$

Pada setiap perjalanan, sebuah truk harus menyelesaikan perjalanan berangkat dari TBBM menuju SPBU dan akan kembali ke TBBM. Truk tidak boleh mengakhiri perjalanan pada SPBU.

4. Maksimum kunjungan truk k disetiap perjalanan o..

$$\sum_i \sum_j x_{kijo} \leq g_k + 1, \forall k, \forall o \quad (3.5)$$

Pada setiap perjalanan, sebuah truk hanya boleh mengunjungi SPBU sebanyak jumlah kompartemennya ditambah satu. Misalkan sebuah truk memiliki 4 kompartemen, maka truk tersebut hanya boleh mengunjungi maksimum 5 SPBU.

5. Setiap kompartemen diisi oleh satu jenis BBM untuk setiap perjalanan.

$$\sum_p y_{kmpio} \leq 1, \forall k, \forall m, \forall i, \forall o \quad (3.6)$$

Setiap truk memiliki beberapa kompartemen untuk mengangkut BBM. Setiap kompartemen pada truk tersebut hanya bisa diisi oleh satu jenis BBM atau tidak boleh dicampur antar jenis BBM pada sebuah kompartemen yang sama.

6. Truk mulai dan pulang ke TBBM.

$$\sum_j (x_{k0j0} + x_{kj0o}) = 2, \forall k, \forall o \quad (3.7)$$

Setiap truk harus berangkat dari TBBM menuju sebuah SPBU untuk mengirimkan BBM. Setelah perjalanan diselesaikan, truk harus kembali ke TBBM yang sama dengan TBBM keberangkatan.

3.3 Struktur Data

Diberikan matriks waktu tempuh perjalanan dari TBBM ke SPBU dan waktu tempuh perjalanan antar SPBU. Struktur data untuk waktu perjalanan antar SPBU ditunjukkan pada Tabel 3.3 sebagai berikut.

Tabel 3.3 Struktur Data Waktu Perjalanan antar SPBU

Simpul	TBBM	SPBU 1	SPBU 2	...	SPBU 15
TBBM	0	$t_{0,1}$	$t_{0,2}$...	$t_{0,i}$
SPBU 1	$t_{1,0}$	0	$t_{1,2}$...	$t_{1,i}$
SPBU 2	$t_{2,0}$	$t_{2,1}$	0		$t_{2,i}$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\ddots	...
SPBU 15	$t_{i,0}$	$t_{i,1}$	$t_{i,2}$...	0

Struktur data untuk jumlah permintaan setiap SPBU dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Struktur Data Permintaan BBM Setiap SPBU dan Setiap Jenis BBM

SPBU	Jenis BBM		
	Pertalite	Pertamax	Solar
SPBU 1	$q_{1,1}$	$q_{1,2}$	$q_{1,i}$
SPBU 2	$q_{2,1}$	$q_{2,3}$	$q_{2,i}$
...
SPBU 15	$q_{3,1}$	$q_{3,2}$	$q_{3,i}$

Struktur data untuk rute perjalanan truk k pada perjalanan ke- o dapat dilihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Struktur Rute Truk- k Berjenis r Pada Perjalanan ke- o (x_{kijro})

Simpul	TBBM	SPBU 1	SPBU 2	...	SPBU 15
TBBM	0	1	1	...	1
SPBU 1	1	0	1	...	1
SPBU 2	1	1	0		1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	...
SPBU 15	1	1	1	...	0

3.4 Langkah Analisis

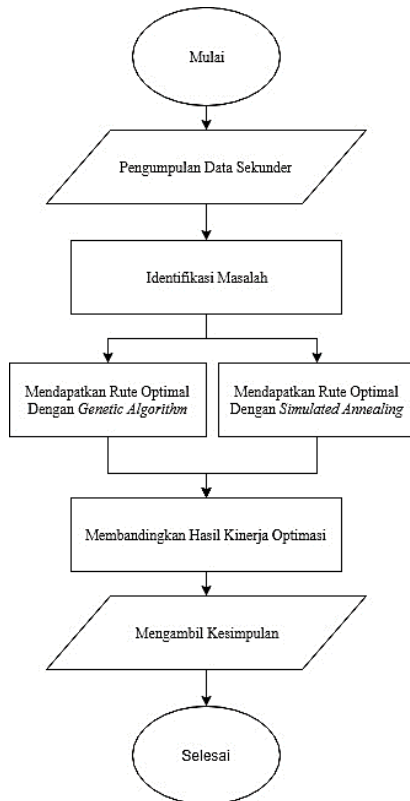
Langkah-langkah analisis dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Melakukan pengumpulan data sekunder.
2. Mengidentifikasi masalah terkait Distribusi Bahan Bakar Minyak ke SPBU.
3. Menerapkan metode *Simulated Annealing* untuk mendapatkan rute optimal dalam pendistribusian BBM ke SPBU.
 - a. Menentukan *state* awal dan parameter temperatur awal.
 - b. Menghitung energi dari rute awal.
 - c. Memperbarui *state* dan menghitung energi *state* baru.
 - d. Menurunkan temperatur dengan *cooling schedule*.
 - e. Jika kriteria belum terpenuhi diulangi dari langkah c.
4. Mengulangi langkah 3 dengan menerapkan metode *Genetic Algorithm*.
 - a. Menentukan jumlah kromosom dan inialisasi populasi.
 - b. Menentukan *fitness*, jumlah generasi, peluang mutasi, dan peluang pindah silang.
 - c. Menghitung *fitness*.
 - d. Melakukan seleksi kromosom.
 - e. Melakukan pindah silang.
 - f. Melakukan mutasi.
 - g. Melakukan *elitilism*.
 - h. Mengganti populasi lama dengan generasi baru berdasarkan *fitness*.

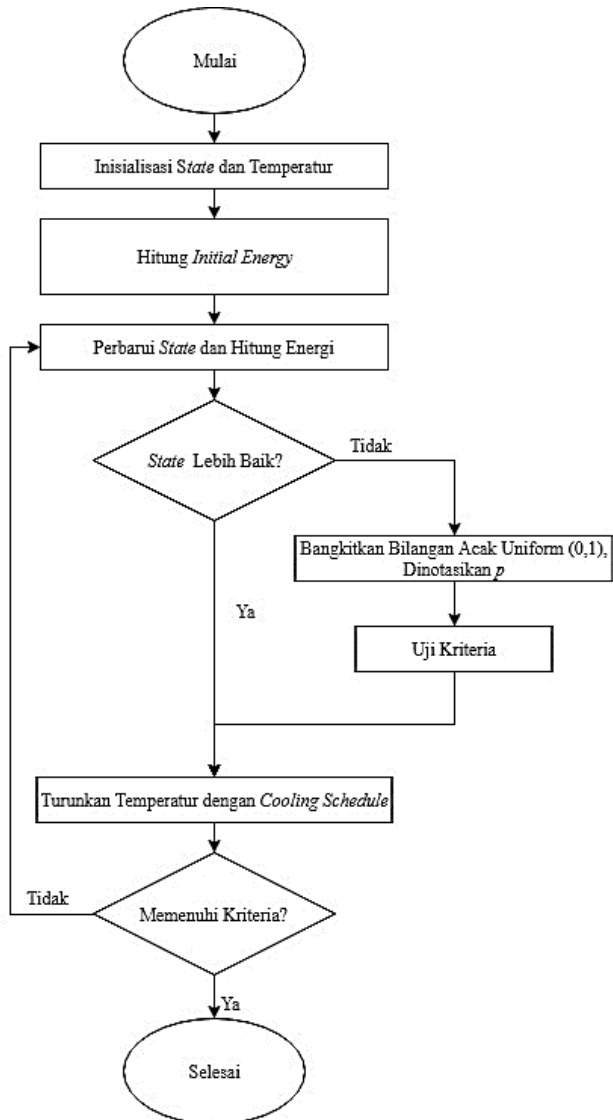
- i. Jika kriteria belum terpenuhi diulangi dari langkah c.
5. Membandingkan hasil kinerja metode *Genetic Algorithm* dan *Simulated Annealing*.
6. Membuat kesimpulan dan saran hasil penelitian.

3.5 Diagram Alir Penelitian

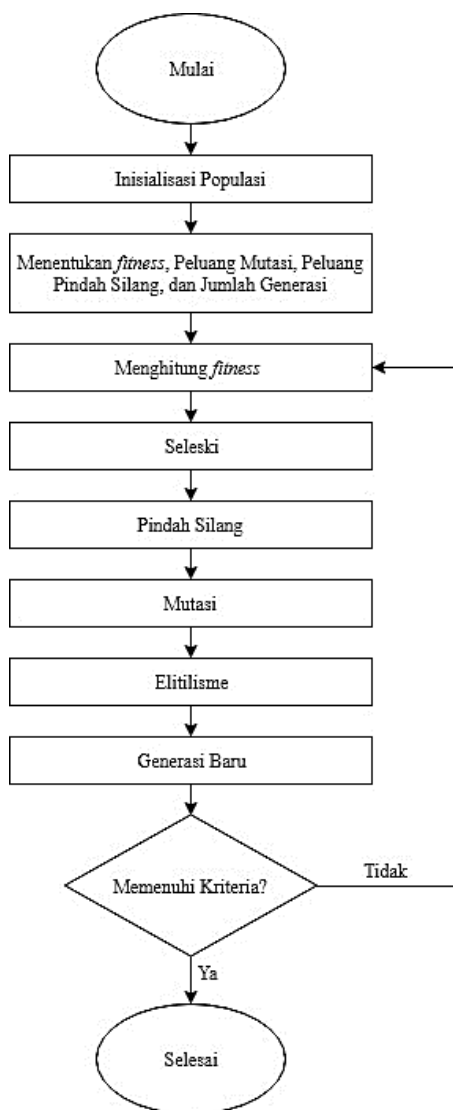
Berikut adalah diagram alir penelitian dalam menentukan rute optimal untuk distribusi bahan bakar minyak ke SPBU.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2 Diagram Alir *Simulated Annealing*



Gambar 3.3 Diagram Alir *Genetic Algorithm*

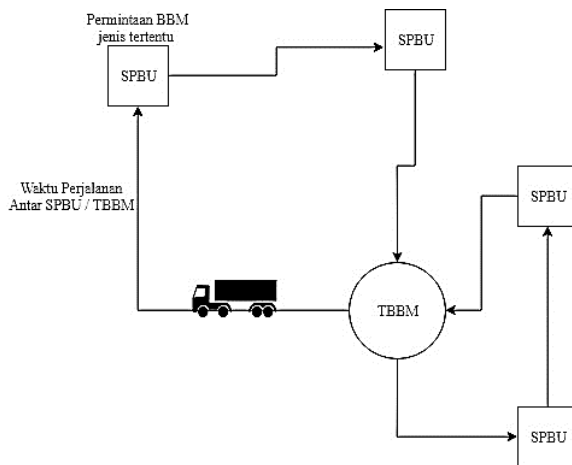
BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini akan dibahas tentang penyelesaian untuk mendapatkan rute optimal untuk distribusi BBM dari TBBM ke SPBU. Pada penelitian ini, optimasi yang dilakukan adalah mendapatkan rute dengan waktu tempuh minimum sebagai biaya transportasi untuk distribusi BBM dari TBBM ke SPBU. Optimasi dilakukan dengan metode *Simulated Annealing* dan *Genetic Algorithm*. Sebelum melakukan optimasi rute distribusi BBM, dilakukan identifikasi terhadap permasalahan *vehicle routing problem* untuk menangani jenis permasalahan VRP yang ada. Sehingga seluruh fungsi kendala dapat dipenuhi.

4.1 Pemodelan *Vehicle Routing Problem*

Model VRP merupakan model transportasi yang dimulai dari suatu pusat distribusi sampai kepada konsumen dan kembali lagi ke sentra distribusi semula. Ilustrasi permasalahan VRP pada pengiriman BBM seperti pada Gambar 4.1. Truk pengangkut akan mengirim permintaan BBM dari TBBM ke semua SPBU dan dihitung waktu perjalanannya.



Gambar 4.1 Ilustestasi VRP Pada Penguruman BBM

Terdapat 15 SPBU yang akan dilayani oleh 3 TBBM berbeda. Kelima belas SPBU tersebut dikelompokkan menjadi 3 kelompok penyaluran BBM. Pengelompokan SPBU berdasarkan kedekatan SPBU dengan setiap TBBM yang dihitung dengan waktu tempuh perjalanan. Sehingga didapatkan kelompok SPBU dengan TBBM terdekatnya yang ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Waktu Tempuh Perjalanan Dari TBBM ke SPBU

t_{ij}	TBBM 1	TBBM 2	TBBM 3	Kelompok
SPBU 1	60	45	45	2
SPBU 2	40	45	45	1
SPBU 3	10	50	34	1
SPBU 4	20	35	33	1
SPBU 5	40	20	45	2
SPBU 6	30	50	67	1
SPBU 7	60	45	78	2
SPBU 8	40	40	889	2
SPBU 9	90	45	8	3
SPBU 10	30	60	7	3
SPBU 11	10	90	60	1
SPBU 12	150	65	56	3
SPBU 13	20	40	45	1
SPBU 14	45	66	12	3
SPBU 15	23	67	23	1

Terdapat 7 SPBU yang akan dilayani oleh TBBM 1, dengan rarta-rata waktu tempuh dari TBBM 21,86 menit. Kelompok TBBM 2 dan TBBM 3 masing-masing melayani 4 SPBU dengan rata-rata waktu tempuh dari TBBM 37,5 menit dan 20,75 menit. Setelah mendapatkan kelompok SPBU dan TBBM pada Tabel 4.1, matriks waktu tempuh perjalanan dari dan ke SPBU juga ke TBBM dibagi berdasarkan kelompok TBBM sesuai pada Tabel 4.1. Matriks waktu tempuh untuk kelompok TBBM 1 ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Matriks Waktu Tempuh (menit) Kelompok TBBM 1

Simpul	TBBM 1	SPBU 2	SPBU 3	SPBU 4	SPBU 6	SPBU 11	SPBU 13	SPBU 15
TBBM 1	0	40	10	20	30	10	20	23
SPBU 2	40	0	56	34	56	15	23	23
SPBU 3	10	56	0	30	11	66	43	23
SPBU 4	20	34	30	0	44	99	45	45
SPBU 6	30	56	11	44	0	12	38	89
SPBU 11	10	15	66	99	12	0	12	77
SPBU 13	20	23	43	45	38	12	0	22
SPBU 15	23	23	23	45	89	77	22	0

Perjalanan dari TBBM ke SPBU terlama adalah SPBU 1 dengan waktu tempuh selama 40 menit. SPBU lainnya dapat ditempuh kurang dari 30 menit dari TBBM. Rata-rata waktu tempuh perjalanan pada kelompok TBBM 1 adalah 36,29 menit. Matriks waktu tempuh perjalanan untuk kelompok TBBM 2 ditunjukkan pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Matriks Waktu Tempuh (menit) Kelompok TBBM 2

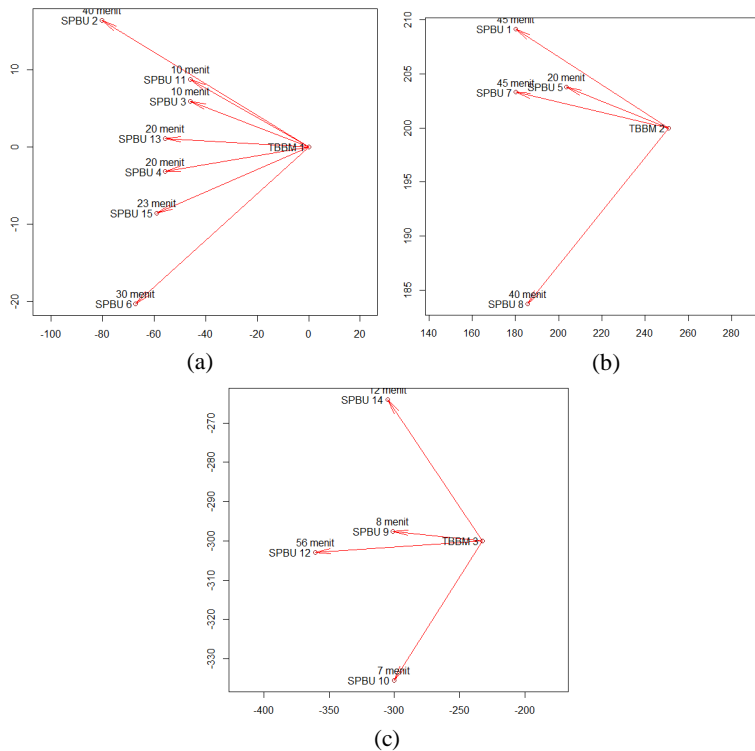
Simpul	TBBM 2	SPBU 1	SPBU 5	SPBU 7	SPBU 8
TBBM 2	0	45	20	45	40
SPBU 1	45	0	56	23	45
SPBU 5	20	56	0	43	34
SPBU 7	45	23	43	0	30
SPBU 8	40	45	34	30	0

SPBU dengan waktu perjalanan paling lama dari TBBM 2 adalah SPBU 7 dan 1, masing – masing membutuhkan 45 menit perjalanan. Rata-rata waktu tempuhnya adalah 38,1 menit. Matriks waktu tempuh perjalanan untuk kelompok TBBM 3 ditunjukkan pada Tabel 4.4

Tabel 4.4 Matriks Waktu Tempuh (menit) Kelompok TBBM 3

Simpul	TBBM 3	SPBU 9	SPBU 10	SPBU 12	SPBU 14
TBBM 3	0	8	7	56	12
SPBU 9	8	0	30	33	65
SPBU 10	7	30	0	12	90
SPBU 12	56	33	12	0	77
SPBU 14	12	65	90	77	0

Waktu perjalanan menuju SPBU 9, 10, dan 14 dari TBBM 3 kurang dari 15 menit. Berbeda dengan SPBU 12 yang membutuhkan waktu hampir 1 jam perjalanan dari TBBM 3. Berdasarkan matriks waktu tempuh perjalanan dari TBBM dan antar SPBU diberikan ilustrasi persebaran lokasi SPBU dan TBBM pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Persebaran lokasi SPBU dan TBBM (a) Kelompok TBBM 1 (b) Kelompok TBBM 2, dan (c) Kelompok TBBM 3

Berdasarkan Gambar 4.2 SPBU pada TBBM 1 dan TBBM 2 memiliki waktu tempuh dari TBBM ke SPBU yang tidak jauh berbeda. Pada TBBM 3, tampak SPBU 12 cukup jauh dari TBBM dibandingkan dengan SPBU lainnya pada kelompok tersebut.

Fungsi kendala lainnya pada penyelesaian optimasi rute distribusi BBM adalah kapasitas kendaraan pengangkut yang terbatas, sehingga permintaan BBM untuk semua SPBU tidak bisa dilayani dengan sekali perjalanan truk dari TBBM ke SPBU. Pendekatan yang dilakukan untuk menyelesaikan fungsi kendala tersebut adalah dengan mendapatkan rute optimal terlebih dahulu, tanpa memperhatikan kendala kapasitas truk. Selanjutnya rute

terpendek yang dihasilkan dari metode optimasi *simulated annealing* dan *genetic algorithm* disesuaikan dengan kapasitas kendaraan. Permintaan BBM dijumlahkan sesuai dengan urutan rute distribusi BBM optimal. Jika permintaan BBM sudah melebihi kapasitas trik, maka truk tersebut akan kembali pulang ke TBBM dan permintaan BBM untuk rute SPBU berikutnya akan dilayani oleh truk selanjutnya. Terdapat 3 jenis truk pengangkut yang dimiliki oleh setiap TBBM untuk mengirim BBM kepada SPBU, ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Jenis Truk Pengangkut BBM

Truk	Jenis	Kapasitas (Kompartemen)
1	1	4
2	1	4
3	1	4
4	2	2
5	2	2
6	2	2
7	2	2
8	2	2
9	2	2
10	3	3
11	3	3
12	3	3
13	3	3
14	3	3
15	3	3

Jenis truk dibedakan berdasarkan jumlah kompartemennya. Setiap kompartemen memiliki kapasitas sebesar 8000 liter BBM. Pengiriman BBM didahulukan menggunakan truk yang kapasitasnya lebih besar. Data permintaan BBM setiap SPBU juga dibagi berdasarkan kelompok TBBM. Permintaan untuk kelompok TBBM 1 ditunjukkan pada Tabel 4.6

Tabel 4.6 Permintaan BBM Kelompok TBBM 1

SPBU	Jenis BBM			Total (kompartemen)
	Pertalite	Pertamax	Solar	
SPBU 2	0	1	1	2
SPBU 3	1	0	0	1
SPBU 4	1	1	1	3
SPBU 6	2	0	0	2
SPBU 11	0	2	1	3
SPBU 13	2	1	1	4
SPBU 15	2	0	0	2

Total permintaan BBM pada kelompok TBBM 1 sebanyak 17 kompartemen truk. Setiap truk diperbolehkan membawa lebih dari satu jenis BBM pada kompartemen yang berbeda. Maka permintaan BBM setiap SPBU dapat dihitung total dari seluruh permintaan jenis BBM. Permintaan BBM untuk kelompok TBBM 2 ditunjukkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Permintaan BBM Kelompok TBBM 2

SPBU	Jenis BBM			Total (kompartemen)
	Pertalite	Pertamax	Solar	
SPBU 1	2	1	0	3
SPBU 5	3	3	2	8
SPBU 7	1	2	0	3
SPBU 8	1	1	1	3

Total permintaan BBM pada kelompok TBBM 2 sebanyak 12 kompartemen. Permintaan BBM jenis pertalite dan pertamax masing – masing sebanyak 5 kompartemen. Permintaan BBM jenis solar hanya dilakukan oleh SPBU 5 dan SPBU 8. Permintaan terbanyak dilakukan oleh SPBU 5. Selanjutnya permintaan BBM untuk kelompok TBBM 3 ditunjukkan pada Tabel 4.8.

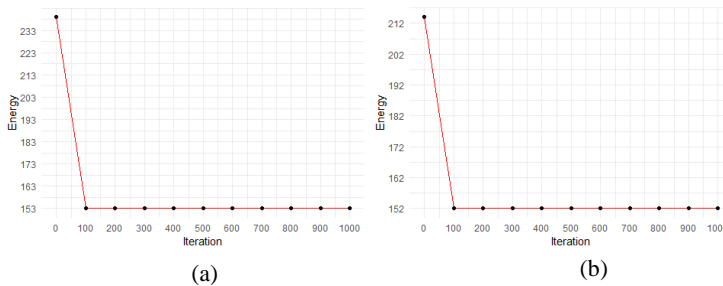
Tabel 4.8 Permintaan BBM Kelompok TBBM 3

SPBU	Jenis BBM			Total (kompartemen)
	Pertalite	Pertamax	Solar	
SPBU 9	2	0	0	2
SPBU 10	3	1	0	4
SPBU 12	2	2	0	4
SPBU 14	3	3	3	9

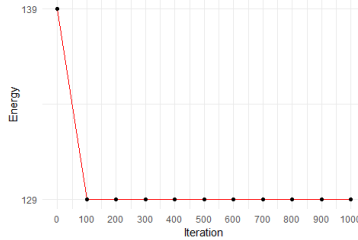
Total permintaan BBM pada kelompok TBBM 3 sebanyak 19 kompartemen. Meskipun SPBU yang dilayani oleh TBBM 3 hanya sedikit, permintaan pada kelompok TBBM 3 adalah yang paling tinggi diantara TBBM lainnya. Permintaan BBM untuk SPBU 14 paling banyak di kelompok TBBM 3, bahkan juga permintaan tertinggi untuk seluruh kelompok TBBM.

4.2 Optimasi dengan *Simulated Annealing*

Penyelesaian VRP dengan *simulated annealing* menghasilkan rute distribusi BBM optimal untuk setiap kelompok TBBM. Banyaknya iterasi yang ditentukan untuk menapatkan rute distribusi optimal adalah 1000 iterasi. Parameter temperatur awal untuk *cooling schedule* pada penelitian ini ditetapkan sebesar 10. Nilai energi dihitung sesuai fungsi objektif pada Persamaan (3.1). Proses iterasi untuk mendapatkan rute dengan waktu tempuh minimum ditunjukkan pada Gambar 4.3



Gambar 4.3 Plot Iterasi *Simulated Annealing* (a) Kelompok TBBM 1 (b) Kelompok TBBM 2, dan (c) Kelompok TBBM 3



(c)

Gambar 4.4 Plot Iterasi *Simulated Annealing* (a) Kelompok TBBM 1 (b) Kelompok TBBM 2, dan (c) Kelompok TBBM 3 (lanjutan)

Pada kelompok TBBM 1, TBBM 2 dan TBBM 3, rute optimal sudah didapatkan pada iterasi ke-100. Kriteria berhentinya iterasi pada metode *simulated annealing* hanya berdasarkan jumlah iterasi maksimum. Maka dari itu meskipun sudah konvergen sejak iterasi ke-100, proses iterasi untuk mendapatkan rute optimal tetap dilanjutkan sampai iterasi ke-1000.

Rincian rute distribusi BBM optimal ditunjukkan pada Tabel 4.9. Total waktu tempuh yang diperlukan untuk memenuhi semua permintaan BBM adalah 1019 menit atau 16,98 jam. Metode *simulated annealing* membutuhkan waktu selama 0,442 detik untuk mendapatkan rute distribusi BBM optimal.

Tabel 4.9 Rute Optimal Dengan *Simulated Annealing*

Kelompok	Truk	Rute	Waktu Tempuh (menit)
TBBM 1	1	TBBM 1-SPBU 3-SPBU 6-SPBU11-TBBM 1	43
	2	TBBM 1-SPBU 11-SPBU 13-TBBM 1	42
	3	TBBM 1-SPBU 13-SPBU 15-TBBM 1	65
	4	TBBM 1-SPBU 2-SPBU 4-TBBM 1	94
	5	TBBM 1-SPBU 4-TBBM 1	40
TBBM 2	1	TBBM 2-SPBU 5-TBBM 2	40
	2	TBBM 2-SPBU 5-TBBM 2	40

Tabel 4.9 Rute Optimal Dengan *Simulated Annealing* (lanjutan)

Kelompok	Truk	Rute	Waktu Tempuh (menit)
	3	TBBM 2-SPBU 8-SPBU 7-TBBM 2	115
	4	TBBM 2-SPBU 7-SPBU 1-TBBM 2	113
	5	TBBM 2-SPBU 1-TBBM 2	90
TBBM 3	1	TBBM 3-SPBU 9-SPBU 10-TBBM 3	45
	2	TBBM 3-SPBU 10-SPBU 12-TBBM 3	75
	3	TBBM 3-SPBU 12-SPBU 14-TBBM 3	145
	4	TBBM 3-SPBU 14-TBBM 3	24
	5	TBBM 3-SPBU 14-TBBM 3	24
	6	TBBM 3-SPBU 14-TBBM 3	24
Total Waktu Tempuh			1019

Pada kelompok TBBM 1 waktu tempuh yang diperlukan untuk menyelesaikan pengiriman BBM ke seluruh SPBU adalah 284 menit atau 4,73 jam. Rute dengan waktu tempuh terlama dilayani oleh truk 4 bekapasitas 3 kompartemen, dengan waktu tempuh 94 menit atau 1,57 jam. Pelayanan TBBM 2 membutuhkan waktu tempuh selama 398 menit atau 6,63 jam untuk memenuhi semua permintaan BBM. TBBM 3 menyelesaikan semua pengiriman BBM dalam 337 menit atau 5,62 jam. Tidak semua armada truk yang tersedia di setiap TBBM dibutuhkan untuk mengirim BBM ke SPBU.

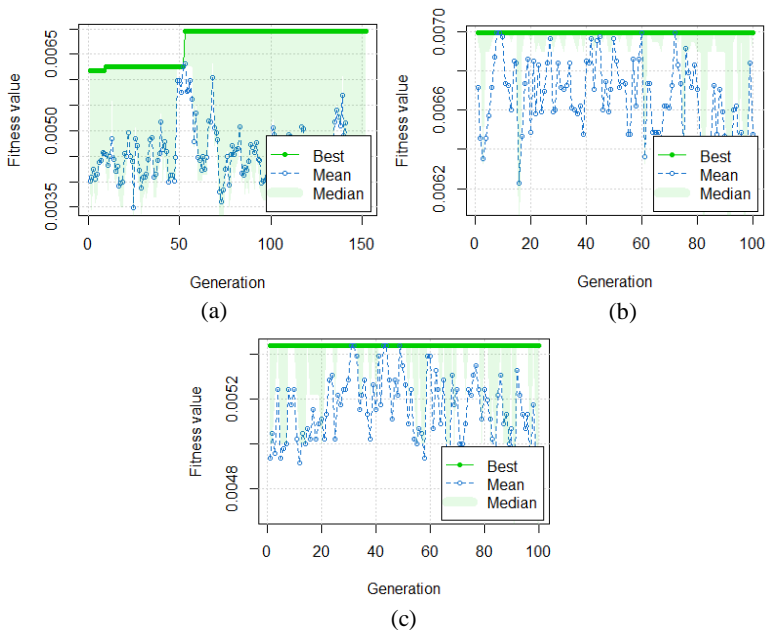
4.3 Optimasi dengan *Genetic Algorithm*

Genetic algorithm dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan optimasi kombinatorial VRP. Pada penelitian ini jumlah populasi yang diterapkan pada GA adalah sebanyak 10 kromosom. Probabilitas mutasi (p_m) dan probabilitas pindah silang (P_c) bernilai antara 0 dan 1. Dilakukan beberapa skenario p_c dan p_m berbeda untuk mendapatkan hasil terbaik. Hasil optimasi terbaik

dengan solusi lebih stabil didapat dengan p_c dan p_m masing-masing bernilai 0,2 dan 0,8. Jumlah generasi dibatasi sebanyak 1000 kali dan syarat konvergensi adalah 100 generasi apabila tidak ada peningkatan nilai *fitness*. *Elitism* dilakukan untuk menjaga kromosom terbaik pada setiap generasi tidak tersisihkan, dengan mengambil 5% individu terbaik pada setiap generasi. Nilai *fitness* dihitung berdasarkan Persamaan (3.1). Karena optimasi GA akan mencari nilai *fitness* maksimum, sedangkan fungsi objektif yang dicari adalah nilai minum. Maka nilai *fitness* menjadi sebagai berikut.

$$fitness = \frac{1}{f_{objektif}}$$

$$fitness = \frac{1}{\sum_{k=1}^K \sum_{o=1}^O \sum_{i=0}^I \sum_{j=0}^J \sum_{r=1}^R c t_{ij} x_{kijro}}$$



Gambar 4.5 Plot Genetic Algorithm (a) Kelompok TBBM 1 (b) Kelompok TBBM 2, dan (c) Kelompok TBBM 3

Gambar 4.4 menunjukkan proses optimasi GA untuk mendapatkan rute dengan waktu tempuh terpendek. Nilai mean dan median merupakan rata-rata dan median solusi rute yang dihasilkan dari populasi sebanyak 20 kromosom pada setiap generasi. Sedangkan nilai *best* merupakan solusi rute terbaik yang didapat berdasarkan nilai *fitness*. Pada kelompok TBBM 1 proses generasi sudah konvergen pada generasi ke-152, artinya sudah tidak ada peningkatan nilai *fitness* atau rute terpendek didapatkan setelah generasi ke-52. Pada kelompok TBBM 2 dan TBBM 3, generasi sudah konvergen pada generasi ke-100.

Rute terpendek pada kedua kelompok tersebut sudah bisa didapatkan pada generasi pertama. Rute distribusi BBM optimal yang dihasilkan dari optimasi GA tidak tunggal dan tidak stabil. Optimasi GA bisa menghasilkan lebih dari satu solusi dengan nilai *fitness* yang sama. Solusi terbaik untuk menyelesaikan seluruh permintaan BBM ditempuh dalam 1128 menit atau 18.8 jam, rinciannya ditampilkan pada Tabel 4.10. Rute distribusi BBM optimal diperoleh dalam waktu 2,03 detik dengan metode GA.

Tabel 4.10 Rute Optimal Dengan *Genetic Algorithm*

Kelompok	Truk	Rute	Waktu Tempuh (menit)
TBBM 1	1	TBBM 1-SPBU 11-SPBU 6-TBBM 1	52
	2	TBBM 1-SPBU 6-SPBU 3-SPBU 4-TBBM 1	91
	3	TBBM 1-SPBU 4-SPBU 2-SPBU 15-TBBM 1	100
	4	TBBM 1-SPBU 15-SPBU 13-TBBM 1	65
	5	TBBM 1-SPBU 13-TBBM 1	40
TBBM 2 (Solusi 1)	1	TBBM 2-SPBU 1-SPBU 5-TBBM 2	100
	2	TBBM 2-SPBU 5-TBBM 2	40
	3	TBBM 2-SPBU 5-SPBU 8-TBBM 2	80

Tabel 4.11 Rute Optimal Dengan *Genetic Algorithm* (lanjutan)

Kelompok	Truk	Rute	Waktu Tempuh (menit)
	4	TBBM 2-SPBU 8-SPBU 7-TBBM 2	100
	5	TBBM 2-SPBU 7-TBBM 2	60
TBBM 2 (Solusi 2)	1	TBBM 2-SPBU 7-SPBU 8-TBBM 2	100
	2	TBBM 2-SPBU 8-SPBU 5-TBBM 2	80
	3	TBBM 2-SPBU 5-TBBM 2	40
	4	TBBM 2-SPBU 5-SPBU 1-TBBM 2	100
	5	TBBM 2-SPBU 1-TBBM 2	60
TBBM 3	1	TBBM 3-SPBU 14-TBBM 3	24
	2	TBBM 3-SPBU 14-TBBM 3	24
	3	TBBM 3-SPBU 14-SPBU 9-SPBU 10-TBBM 3	114
	4	TBBM 3-SPBU 10-TBBM 3	14
	5	TBBM 3-SPBU 12-TBBM 3	112
	6	TBBM 3-SPBU 12-TBBM 3	112
Total Waktu Tempuh			1128

Jumlah rute perjalanan dan truk yang digunakan dari hasil optimasi GA masih sama dengan hasil optimasi SA. 5 truk pengangkut digunakan pada TBBM 1 dan TBBM 2. Sedangkan TBBM 3 membutuhkan 6 truk. TBBM 1 menyelesaikan semua pengiriman dalam waktu 348 menit atau 5,8 jam. TBBM 2 dan TBBM 3 masing masing memenuhi semua permintaan BBM dalam waktu 380 menit dan 400 menit.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, maka beberapa kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut.

1. Kelima belas SPBU dikelompokkan berdasarkan TBBM terdekatnya. Dari ketiga kelompok TBBM masing-masing dicari rute terpendek dengan metode *genetic algorithm* dan *simulated annealing*. Dengan kedua metode tersebut rute perjalanan dan kendaraan yang dibutuhkan untuk memenuhi semua permintaan BBM adalah sama. Masing-masing untuk setiap TBBM ada 5 truk atau perjalanan pada TBBM 1, 5 truk atau perjalanan pada TBBM 2, dan 6 truk atau perjalanan pada TBBM 3.
2. Optimasi yang dilakukan dengan metode *simulated annealing* mendapatkan hasil rute terpendek dengan waktu tempuh 1019 menit, sedangkan metode *genetic algorithm* mendapatkan rute terpendek dengan waktu tempuh 1128 menit. Waktu pencarian rute yang dibutuhkan oleh metode *simulated annealing* sekitar 0,442 detik, sedangkan metode *genetic algorithm* membutuhkan waktu selama 2,03 detik untuk mendapatkan rute terpendek. Selain itu metode *genetic algorithm* tidak bisa memberikan hasil solusi yang stabil dan solusi tunggal. Hasil solusi pada GA bisa berubah-ubah dan menghasilkan lebih dari satu solusi terbaik dengan nilai fitness yang sama. Dengan demikian pada penelitian ini metode *simulated annealing* lebih baik daripada *genetic algorithm* baik dari segi hasil optimasi rute terpendek dan waktu pencarian rute.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, VRP dengan metode optimasi metaheuristik dapat digunakan bagi perusahaan

terkait maupun perusahaan lain untuk menekan biaya distribusi BBM yang dikeluarkan. Pada penelitian selanjutnya faktor kendala lain perlu dipertimbangkan, seperti batasan jam operasional, waktu bongkar muat, biaya operasional truk. Metode optimasi *particle swarm optimization* dan *ant colony optimization* dapat dipertimbangkan untuk mendapatkan rute distribusi BBM optimal yang lebih baik dan cepat.

DAFTAR PUSTAKA

- Arsas, B. H. (2016). *Prosedur Pendistribusian BBM KE SPBU Pada PT. PERTAMINA (PERSERO) Terminal BBM Teluk Kabung*. Padang: Politeknik Negeri Padang.
- Belenguer, J., Benavent, E., Labadi, N., Prins, C., & Reghioui, M. (2010). Lower and Upper Bounds for the Split Delivery Capacitated Arc Routing Problem. *Transportation Science*, 44(2), 206-220.
- Belfiore, P., Tsugunobu, H., & Yoshizaki, Y. (2008). *Scatter Search for Vehicle Routing Problem with Time Windows and Split Deliveries*. Croatia: IntechOpen.
- Benantar, A., & Ouafi, R. (2012). Optimization of Vehicle Routes: An Application to Logistic and Transport of the Fuel Distribution. *International Conference of Modeling, Optimization and Simulation*. 9. Bordeaux: 9th International Conference on Modeling, Optimization & Simulation.
- Braekers, K., Ramaekers, K., & Nieuwenhuysse, I. V. (2016). The Vehicle Routing Problem: State of the Art Classification and Review. *Computers & Industrial Engineering*, 99, 300-313.
- Brandão, J. (2011). A Tabu Search Algorithm for the Heterogeneous Fixed Fleet Vehicle Routing Problem. *Computers & Operations Research*, 38, 140-151.
- Bräysy, O., & Gendreau, M. (2005). Vehicle Routing Problem with Time Windows, Part I: Route Construction and Local Search Algorithms. *Transportation Science*, 39, 104-118.

- Chen, A. L., Yang, G. K., & Wu, Z. M. (2006). Hybrid Discrete Particle Swarm Optimization Algorithm for Capacitated Vehicle Routing Problem. *Journal of Zhejiang University Science*, 7(4), 607-614.
- Dantzig, G., & Ramser, J. (1959). The Truck Dispatching Problem. *Management Science*, 6(1), 80-91.
- El Fallahi, A., Prins, C., & Wolfler-Calvo, R. (2008). A Memetic Algorithm and a Tabu Search for the Multi-compartment Vehicle Routing Problem. *Computers & Operations Research*, 35(5), 1725-1741.
- Fallo, D. Y. (2015). *Perbandingan Algoritma Ant Colony dan Algoritma Genetika untuk Pencarian Jarak Terpendek dalam Pengangkutan Hasil Tambang*. DI Yogyakarta: Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Garcia-Najera, A., & Bullinaria, J. A. (2011). An Improved Multi-objective Evolutionary Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Time Windows. *Computers & Operations Research*, 38(1), 287-300.
- Härdle, W. K., Prastyo, D. D., & Hafner, C. M. (2014). Support Vector Machines With Evolutionary Model Selection for Default Prediction. In J. S. Racine, L. Su, & A. Ullah, *The Oxford Handbook of Applied Nonparametric and Semiparametric Econometrics and Statistics* (pp. 346-373). New York: Oxford University Press.
- Janakiraman, S. (2010). *Truck Routing Problem in Distribution of Gasoline to Gas Station*. Pennsylvania : The Pennsylvania State University.
- Johnson, R. A., & Wichern, D. W. (2008). *Applied Multivariate Statistical Analysis*. New Jersey: Pearson Prentice Hall.

- Kumar, S. N., & Panneerselvam, R. (2012). A Survey on the Vehicle Routing Problem and Its Variants. *Intelligent Information Management*, 4(3), 66-74.
- Kuo, Y., & Wang, C. C. (2012). A Variable Neighborhood Search for the Multi-depot Vehicle Routing Problem with Loading Cost. *Expert Systems with Applications*, 39(8), 6949-6954.
- Li, F., Golden, B., & Wasil, E. (2005). Very Large Scale Vehicle Routing: New Problems, Algorithms, and Results. *Computers & Operations Research*, 32(5), 1165-1179.
- Li, X., Leung, S. C., & Tian, P. (2012). A Multistart Adaptive Memory-based Tabu Search Algorithm for the Heterogeneous Fixed Fleet Open Vehicle Routing Problem. *Expert Systems with Applications*, 39(1), 365-374.
- Lin, S. W., Yu, V. F., & Lu, C. C. (2011). A Simulated Annealing Heuristic for the Truck and Trailer Routing Problem with Time Windows. *Expert Systems with Applications*, 38(12), 15244-15252.
- Manik, N. I., Zebua, K. A., & Simorangkir, H. (2011). *Perancangan Program Aplikasi Optimalisasi Rute Pendistribusian Paket Pos Pada Kantor Mpc Yogyakarta dengan Metode Simulated Annealing*. Jakarta: Universitas Bina Nusantara.
- Marinakis, Y., Iordanidou, G. R., & Marinaki, M. (2013). Particle Swarm Optimization for the Vehicle Routing Problem with Stochastic Demands. *Applied Soft Computing*, 13(4), 1693-1704.

- Potvin, J. Y., Dube, D., & Robillard, C. (1996). A Hybrid Approach to Vehicle Routing Using Neural Networks and Genetic Algorithms. *Applied Intelligence*, 6(3), 241.
- Rizal, J. (2007). Optimasi Pada Traveling Salesman Problem (TSP) dengan Pendekatan Simulasi Annealing. *Jurnal Gradien*, 3(2), 286-290.
- Salhi, S., Thangiah, S. R., & Rahman, F. A. (1998). A Genetic Clustering Method for the Multi-depot Vehicle Routing Problem. In *Artificial Neural Nets and Genetic Algorithms* (pp. 234-237). New York: Springer.
- Siarry, P. (2016). *Metaheuristics* (1 ed.). Springer International Publishing.
- Silverstrin, P. V., & Ritt, M. (2014). A Tabu Search for Multi-compartment Vehicle Routing Problem. *Anais do XLVI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, 3221–3299.
- Thangiah, S. R., & Nygard, P. L. (1992). School Bus Routing Using Genetic Algorithms. *Proceedings of the SPIE Conference on* (p. 387). Orlando: Applications of Artificial Intelligence X: Knowledge-Based Systems.
- Thangiah, S. R., Nygard, P. L., & Juell, P. L. (1991). A Genetic Algorithm System for Vehicle Routing with Time Windows. *Proceedings of the Seventh IEEE Conference on Artificial Intelligence Applications* (pp. 322-330). Miami: The Seventh IEEE Conference on Artificial Intelligence Application.
- Vidal, T. (2013). Heuristics for Multi-attribute Vehicle Routing Problem: A Survey and Synthesis. *European Journal of Operational Research*, 231(1), 1-21.

- Wirdianto, E., Jonrinaldi, & Surya, B. (2007). Penerapan Algoritma Simulated Annealing Pada Penjadwalan Distribusi Produk. *Optimasi Sistem Industri*, 7(1), 7-20.
- Yang, X. S., Cui, Z., Xiao, R., Gandomi, A. H., & Karamanoglu, M. (2013). *Swarm Intelligence and Bio-inspired Computation Theory and Application*. Elsevier.
- Yudhana, A. (2005). *Analisis Perbandingan Algoritma Semut dan Algoritma Genetik dalam Optimasi Routing Jaringan Telekomunikasi*. DI Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Zhang, D. L. (2011). Parameter Optimization for Support Vector Regression Based on Genetic Algorithm with Simplex Crossover Operator. *Journal of Information & Computational Science*, 8(6), 911-920.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Matriks Waktu Tempuh (menit) Perjalanan Antar TBBM dan SPBU

t_{ij}	TBBM			SPBU							
	1	2	3	1	2	3	4	5	6	7	
TBBM	1	0	0	0	60	40	10	20	40	30	60
	2	0	0	0	45	45	50	35	20	50	45
	3	0	0	0	45	45	34	33	45	67	78
SPBU	1	60	45	45	0	45	45	5	56	43	23
	2	40	45	45	45	0	56	34	44	56	78
	3	10	50	34	45	56	0	30	12	11	16
	4	20	35	33	5	34	30	0	45	44	55
	5	40	20	45	56	44	12	45	0	45	43
	6	30	50	67	43	56	11	44	45	0	30
	7	60	45	78	23	78	16	55	43	30	0
	8	40	40	889	45	67	76	66	34	34	30
	9	90	45	8	66	23	34	77	56	34	77
	10	30	60	7	77	12	23	88	65	32	88
	11	10	90	60	88	15	66	99	45	12	99
	12	150	65	56	99	56	77	100	55	16	45
	13	20	40	45	12	23	43	45	67	38	54
	14	45	66	12	34	23	45	45	76	79	67
	15	23	67	23	32	23	23	45	77	89	77

Lampiran 1 Data Matriks Waktu Tempuh Perjalanan (menit) Antar TBBM dan SPBU (lanjutan)

t_{ij}		SPBU							
		8	9	10	11	12	13	14	15
TBBM	1	40	90	30	10	150	20	45	23
	2	40	45	60	90	65	40	66	67
	3	889	8	7	60	56	45	12	23
SPBU	1	45	66	77	88	99	12	34	23
	2	67	23	12	15	56	23	23	23
	3	76	34	23	66	77	43	45	23
	4	66	77	88	99	100	45	45	45
	5	34	56	65	45	55	67	76	77
	6	34	34	32	12	16	38	79	89
	7	30	77	88	99	45	54	67	77
	8	0	45	23	23	45	43	23	13
	9	45	0	30	12	33	45	65	67
	10	23	30	0	45	12	80	90	12
	11	23	12	45	0	30	12	55	77
	12	45	33	12	30	0	45	77	77
	13	43	45	80	12	45	0	40	22
	14	23	65	90	55	77	40	0	30
	15	13	67	12	77	77	22	30	0

Lampiran 2 *Syntax R untuk Vehicle Routing Problem Dengan Simulated Annealing*

```

dat=as.matrix(read.csv("waktu tempuh.csv",row.names = "Tij"))
d1=c(1,5,6,7,9,14,16,18)
d2=c(2,4,8,10,11)
d3=c(3,12,13,15,17)
depot1=dat[d1,d1]; write.csv(depot1, "depot1.csv")
depot2=dat[d2,d2]; write.csv(depot2, "depot2.csv")
depot3=dat[d3,d3]; write.csv(depot3, "depot3.csv")

demand=read.csv("demand.csv", row.names = "SPBU.Demand")[,4]
truck=sort(c(rep(2,6),rep(3,6),rep(4,3)),decreasing = T)

sq1 <- c(as.numeric(row.names(depot1)), 1)
sq2 <- c(as.numeric(row.names(depot2)), 2)
sq3 <- c(as.numeric(row.names(depot3)), 3)

optimal=function(sq){
  distance <- function(sq) { # Target function
    sq2 <- embed(sq, 2)[,2:1]
    sum(dat[sq2])
  }

  genseq <- function(sq) { # Generate new candidate sequence
    idx <- seq(length(sq)-2)+1
    changepoints <- sample(idx, size = 2, replace = FALSE)
    tmp <- sq[changepoints[1]]
    sq[changepoints[1]] <- sq[changepoints[2]]
    sq[changepoints[2]] <- tmp
    sq
  }

  start=Sys.time()
  res <- optim(par=sq, fn=distance, gr=genseq, method = "SANN",
             control = list(maxit = 1000, trace = TRUE,
                           REPORT = 100))
  end=Sys.time()
  tour=res$par[-1]
  tour=tour[-length(tour)]
  waktu=end-start
  output=list("waktu"=waktu, "rute"=tour)
  return(output)
}

```

Lampiran 2 *Syntax R untuk Vehicle Routing Problem Dengan Simulated Annealing (lanjutan)*

```

rute1=optimal(sq1)
rute2=optimal(sq2)
rute3=optimal(sq3)

rute=rute1$rute
rute=rute2$rute
rute=rute3$rute

a=NA; i=1;k=1; s=0

while(i < length(rute)){
  while(k <= length(truck)){
    c=0
    s=sum(s+demand[rute[i]])
    a=append(a,rute[i], length(a))
    c=truck[k]-demand[rute[i]]
    if(c<0){
      a=append(a,1, length(a))
      s=s+c ;s
      demand[rute[i]]=abs(c)
      k=k+1
      i=i-1
    }
    else if(c==0){
      a=append(a,1, length(a))
      s=s+c ;s
      demand[rute[i]]=c
      k=k+1
    }
    else {
      truck[k]=c
      k=k
    }
    i=i+1
  }
}
subtour1=c(1,na.omit(a),1)
subtour2=c(2,na.omit(a),2)
subtour3=c(3,na.omit(a),3)

```


Lampiran 2 *Syntax R untuk Vehicle Routing Problem Dengan Simulated Annealing (lanjutan)*

```
subtour1=c(1,na.omit(a),1)
subtour2=c(2,na.omit(a),2)
subtour3=c(3,na.omit(a),3)
subtour1; subtour2; subtour3
```

Lampiran 3 *Syntax R untuk Vehicle Routing Problem Dengan Genetic Algorithm*

```

library(GA)

GAoptim=function(depot,sq){
  tourLength <- function(tour, distMatrix) {
    tour <- c(tour, tour[1])
    route <- embed(tour, 2)[, 2:1]
    sum(distMatrix[route])
  }
  # inverse of the total distance is the fitness
  tpsFitness <- function(tour, ...) 1/tourLength(tour, ...)

  start=Sys.time()
  # run a GA algorithm
  GA.fit <- ga(type = "permutation", fitness = tpsFitness, distMatrix = depot,
lower = 2,
      upper = dim(depot)[1], popSize = 10, maxiter = 1000, run = 100,
pmutation = 0.2)
  end=Sys.time()
  rute=GA.fit@solution[1,]
  waktu=end-start
  tour=sq[rute]
  output=list("waktu"=waktu, "rute"=tour)
  return(output)
}

rute1=GAoptim(depot1,d1)
rute2=GAoptim(depot2,d2)
rute3=GAoptim(depot3,d3)

rute=rute1$rute
rute=rute2$rute
rute=rute3$rute

a=NA
i=1
k=1
s=0

```

Lampiran 3 *Syntax R untuk Vehicle Routing Problem Dengan Genetic Algorithm (lanjutan)*

```

while(i < length(rute)){
  while(k <= length(truck)){
    c=0
    s=sum(s+demand[rute[i]])
    a=append(a,rute[i], length(a))
    c=truck[k]-demand[rute[i]]
    if(c<0){
      a=append(a,1, length(a))
      s=s+c ;s
      demand[rute[i]]=abs(c)
      k=k+1
      i=i-1
    }
    else if(c==0){
      a=append(a,1, length(a))
      s=s+c ;s
      demand[rute[i]]=c
      k=k+1
    }
    else {
      truck[k]=c
      k=k
    }
    i=i+1
  }
}

subtour1=c(1,na.omit(a),1)
subtour2=c(2,na.omit(a),2)
subtour3=c(3,na.omit(a),3)
subtour1; subtour2; subtour3

```

Lampiran 4 *Syntax R untuk plot *Multidimensional Scaling**

```

map=function(depot){
  dd=dat[depot,depot]
  dd[-1,-1]=0
  loc <- cmdscale(dd, add = TRUE)$points
  loc[,1]=loc[,1]-loc[1,1]; loc[,2]=loc[,2]-loc[1,2]
  x <- loc[,1]; y <- loc[,2]

  win.graph(); plot(x, y, type = "p", asp = 3, xlab = "", ylab = "", col="dark
red", axes = T)

  x0=rep(0, length(x)-1); y0=rep(0, length(y)-1)
  x1=x[-1]; y1=y[-1]
  arrows(x0=x0, y0=y0, x1=x1, y1=y1, angle = 10, col = "red")

  label=(depot[-1]-3)
  label=append(label,paste("TBBM", depot[1]), 0)
  label[-1]=paste("SPBU",label[-1])
  waktu=paste(dat[depot[-1],depot[1]], "menit")
  text(x, y, label, cex = 1, adj = 1.1)
  text(x[-1], y[-1], waktu, pos=3, cex = 1, adj = 1.1)
}

map(d1)

```

Lampiran 5 *Syntax R untuk plot iterasi Simulated Annealing*

```
library(ggplot2)

ggplot(data=daa, aes(x=Iter1, y=Value1)) + geom_line(color="red") +
geom_point() +
  theme_minimal() + labs(x="Iteration", y="Energy") +
scale_x_continuous(breaks=seq(0,1000, 100)) +
  scale_y_continuous(breaks=seq(min(daa$Value1),max(daa$Value1),10))

ggplot(data=daa, aes(x=Iter2, y=Value2)) + geom_line(color="red") +
geom_point() +
  theme_minimal() + labs(x="Iteration", y="Energy") +
scale_x_continuous(breaks=seq(0,1000, 100)) +
  scale_y_continuous(breaks=seq(min(daa$Value2),max(daa$Value2),10))

ggplot(data=daa, aes(x=Iter3, y=Value3)) + geom_line(color="red") +
geom_point() +
  theme_minimal() + labs(x="Iteration", y="Energy") +
scale_x_continuous(breaks=seq(0,1000, 100)) +
  scale_y_continuous(breaks=seq(min(daa$Value3),max(daa$Value3),10))
```

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Achmad Wildan Al Aziz atau biasa dipanggil Wildan dilahirkan di Probolinggo pada tanggal 14 Desember 1994, merupakan anak pertama dari 3 bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN Sumberkedawung 3 Leces (2001-2007), SMPN 1 Leces (2007-2010), dan SMAN 1 Probolinggo (2010-2013). Kemudian melanjutkan pendidikan di Departemen Statistika Fakultas Matematika, Komputasi, dan Sains Data (FMKSD) ITS pada tahun 2014 melalui jalur SBMPTN. Penulis menempuh pendidikan S1 selama 4,5 tahun. Selama masa perkuliahan, penulis aktif di beberapa organisasi intra kampus yaitu Himpunan Mahasiswa Statistika (HIMASTA-ITS) selama 2 periode sebagai staf dan Ketua Biro Departemen Dalam Negeri dan Forum Studi Islam Statistika (FORSIS-ITS) yang merupakan Lembaga Dakwah Jurusan sebagai staf kaderisasi. Di bidang akademik penulis pernah mencapai babak *grand final* pada ajang GEMASTIK 11 yang diselenggarakan oleh ITS dan KEMENRISTEKDIKTI. Penulis juga pernah diberikan kesempatan menjadi asisten dosen untuk mata kuliah Pengantar Ilmu Komputer, Teknik Simulasi, dan Analisis Data. Penulis juga pernah ikut serta dalam sebuah *project* di PDAM Surya Sembada Surabaya untuk menganalisis pendeteksian kecurangan meteran air. Kini penulis aktif menjadi pengurus pada Data Science Indonesia (DSI) regional Jawa Timur sebagai *Leader of Education*. Apabila pembaca ingin memberi kritik dan saran serta diskusi lebih lanjut mengenai Tugas Akhir ini, dapat menghubungi penulis melalui email wildanalaziz82@gmail.com