

**PENERAPAN ALGORITMA *MULTI-VERSE*
OPTIMIZER PADA PENYELESAIAN *CAPACITATED*
VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH TIME
*WINDOWS***

SKRIPSI

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

Disusun oleh:

Nama : Kevin Djoeneady Poetera
NPM : 2014610024



**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG
2018**

**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG**



Nama : Kevin Djoennady Poetera
NPM : 2014610024
Program Studi : Teknik Industri
Judul Skripsi : *PENERAPAN ALGORITMA MULTI-VERSE
OPTIMIZER PADA PENYELESAIAN CAPACITATED
VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH TIME
WINDOWS*

TANDA PERSETUJUAN SKRIPSI

Bandung, Juli 2018

Ketua Program Studi Teknik Industri

(Dr. Carles Sitompul, S.T., M.T., M.I.M.)

Dosen Pembimbing

(Alfian, S.T., M.T.)



Program Studi Teknik Industri
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Katolik Parahyangan



Pernyataan Tidak Mencontek atau Melakukan Tindakan Plagiat

Saya, yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Kevin Djoerneady Poetera

NPM : 2014610024

dengan ini menyatakan bahwa Skripsi dengan judul :

"Penerapan Algoritma Multi-Verse Optimizer Pada Penyelesaian Capacitated Vehicle Routing Problem With Time Windows"

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,

Kevin Djoerneady Poetera

NPM: 2014610024

ABSTRAK

Salah satu permasalahan yang sering terjadi dalam dunia perindustrian adalah permasalahan yang terkait dengan distribusi. Distribusi akan berdampak pada biaya yang harus dikeluarkan. Biaya distribusi meliputi biaya jarak tempuh kendaraan dan jumlah kendaraan yang digunakan yang harus diminimasi. *Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows* (CVRPTW) merupakan suatu permasalahan yang terkait dengan pencarian rute terpendek yang dapat ditempuh oleh sejumlah kendaraan dalam melayani pelanggan dalam ruang waktu tertentu. CVRPTW merupakan permasalahan bersifat *non-deterministic polynomial-time hard* (NP-Hard). Hal ini dikarenakan semakin banyak jumlah pelanggan yang dilayani, maka waktu yang dibutuhkan semakin lama, sehingga metode eksak tidak cukup efisien dalam segi waktu komputasi untuk menyelesaikan permasalahan ini. Oleh karena itu, perlunya metode lain untuk dapat menyelesaikan permasalahan CVRPTW. Salah satu metode yang dapat menyelesaikan permasalahan dengan *np-hard* adalah dengan menggunakan metode metaheuristik.

Pada penelitian ini, permasalahan CVRPTW akan diselesaikan dengan algoritma *Multi-Verse Optimizer* (MVO). MVO merupakan algoritma metaheuristik yang terinspirasi dari hipotesis *multiverse* dimana terdapat beberapa alam semesta (*universe*) yang memiliki beberapa objek di dalamnya dan dapat saling berinteraksi. Dalam pencarian *universe* terbaik, ada dua jenis perpindahan objek yang dilakukan, yaitu perpindahan dengan melewati *Black/White Hole* (eksplorasi) dan perpindahan dengan melewati *Wormhole* (eksploitasi).

Pada penelitian ini, MVO diimplementasikan pada enam *benchmark problems* CVRPTW. Hasil implementasi yang dilakukan akan dibandingkan dengan dua algoritma pembandingan, yaitu *Grey Wolf Optimizer* (GWO) dan *Bat Algorithm* (BAT). Secara keseluruhan, dapat dikatakan bahwa MVO memiliki performansi yang lebih baik dari GWO. Algoritma MVO juga dapat mendapatkan hasil yang lebih dengan BAT pada tiga kasus *benchmark* dan memberikan hasil yang serupa pada tiga kasus yang lain. Algoritma MVO mempunyai tiga parameter yang diuji pengaruhnya terhadap performansi yang dihasilkan, yaitu variabel *max*, *min* dan *p*. Hasil pengujian menunjukkan adanya pengaruh parameter *max* dan *p* terhadap nilai fungsi objektif yang dihasilkan MVO untuk satu kasus *benchmark*.

ABSTRACT

One of the most frequent problems that occurs in the industrial world is distribution. It has a considerable impact on the cost incurred. The cost includes the cost of vehicle mileage and the cost of number of vehicles used which must be minimized. Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows (CVRPTW) is a problem related to finding the shortest route that can be taken by a fleet of vehicles in serving customers in specific time windows. CVRPTW is a non-deterministic polynomial-time hard (NP-Hard) problem. The cause of this is that the more customers served, the longer time for computing the solution, thus exact method is not efficient enough in terms of computing time for solving this problem. Therefore, other method is needed to solve CVRPTW problems. One method that can be used to solve np-hard problems is metaheuristic method.

In this research, CVRPTW problem will be solved using Multi-Verse Optimizer (MVO) algorithm. MVO is a metaheuristic algorithm inspired by multiverse hypothesis which several universes consisting multiple objects coexist and can interact with each other. To search the best universe, there are two types of objects movement. The first movement is through the Black/White Hole (exploration) and the second one is through the Wormhole (exploitation).

In this research, MVO is implemented in six CVRPTW benchmark problems. The result from MVO will be compared with two different algorithm, Grey Wolf Optimizer (GWO) and Bat Algorithm (BAT). Overall, it can be said that MVO has better performance than GWO. MVO algorithm is also able to perform better than BAT on 3 benchmark problems and yield similar results on the other 3 problems. MVO algorithm has three parameters that are tested for finding the main effect on MVO performance: variable max, min and p. The test shows that the main effect of max and p parameters on MVO's performance is present in one benchmark problem.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat yang diberikan kepada penulis dalam menyelesaikan penelitian dan juga tugas akhir laporan skripsi dengan judul Penerapan Algoritma *Multi-Verse Optimizer* Pada Penyelesaian *Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows*. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada keluarga penulis yang selalu memberikan dukungan moral dan motivasi dalam menyelesaikan laporan skripsi ini. Dalam proses pengerjaan dan penyelesaian laporan skripsi ini, penulis juga banyak mendapat dukungan dan bantuan baik secara langsung maupun tidak langsung dari banyak pihak. Oleh karena itu, tidak lupa penulis juga mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Alfian, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing skripsi yang selalu memberikan dukungan dan motivasi dengan penuh kesabaran dalam proses pengerjaan laporan skripsi ini.
2. Ibu Cynthia Prithadevi Juwono, Ir., M.S. selaku dosen penguji proposal skripsi dan dosen penguji sidang skripsi yang telah memberikan masukan dan perbaikan terhadap skripsi ini.
3. Bapak Hanky Fransiscus, S.T., M.T., selaku dosen penguji proposal skripsi dan dosen penguji sidang skripsi yang telah memberikan masukan dan perbaikan terhadap skripsi ini.
4. Wimara Hardani, Hendy Lucano, Hendra Berlian, Steffi Andriane, Dio Satria, Sheryl Magdalena Susilo, Wiryadhitana, dan Reinaldo Arditjondro selaku teman baik penulis yang telah memberikan dukungan dan motivasi selama pengerjaan skripsi.
5. Hardian, Ivan, Raggi, William, Andrew dan Julian selaku sesama penulis laporan skripsi algoritma yang telah memberikan masukan dan motivasi selama pembuatan skripsi.
6. Ko Deva dan Ko Adrianus yang telah memberikan masukan dalam laporan pembuatan skripsi ini.
7. Teman-teman kelas B angkatan 2014 yang telah memberikan berbagai pengalaman dan cerita dari awal menjalani studi hingga akhir masa studi.

8. Teman-teman Teknik Industri angkatan 2014.
9. Pihak-pihak lainnya yang telah membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca agar untuk ke depannya laporan yang dibuat penulis dapat menjadi lebih baik lagi.

Bandung, 2018

Kevin Djoeneady Poetera

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB I PENDAHULUAN	I-1
I.1 Latar Belakang Masalah.....	I-1
I.2 Identifikasi dan Rumusan Masalah.....	I-2
I.3 Batasan Masalah dan Asumsi	I-5
I.4 Tujuan Penelitian	I-6
I.5 Manfaat Penelitian	I-6
I.6 Metodologi Penelitian.....	I-6
I.7 Sistematika Penulisan	I-10
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	II-1
II.1 <i>Vehicle Routing Problem</i>	II-1
II.2 <i>Vehicle Routing Problem with Time Windows</i>	II-2
II.3 <i>Multi-Verse Optimizer</i>	II-4
II.4 <i>Encoding</i>	II-9
II.5 Representasi Solusi SR-2	II-9
II.6 Desain Eksperimen	II-10
BAB III PERANCANGAN ALGORITMA	III-1
III.1 Bentuk Kode Solusi.....	III-1
III.2 Penerapan <i>Multi-Verse Optimizer</i> untuk Permasalahan <i>Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows</i>	III-6
III.2.1 Notasi Algoritma.....	III-6

III.2.2	Algoritma Utama <i>Multi-Verse Optimizer</i>	III-11
III.2.3	Algoritma Penentuan <i>Boundary</i> (Algoritma A)	III-15
III.2.4	Algoritma Pembuatan Matriks Universe Awal (Algoritma B).....	III-17
III.2.5	Algoritma Perhitungan Nilai Fitness dan Penentuan Best Universe (Algoritma C).....	III-19
III.2.6	Algoritma Sorting dan Normalisasi Fitness Universe (Algoritma D).....	III-22
III.2.7	Algoritma Pembuatan Solusi Baru (Algoritma E)	III-27
III.2.8	Algoritma Pembuatan Rute (Algoritma F).....	III-32
III.2.9	Algoritma Pelanggan Dalam Radius (Algoritma F.1)	III-40
III.2.10	Algoritma Pelanggan Terhambat Constraints (Algoritma F.2)	III-50
III.2.11	Algoritma Pelanggan Luar Radius (Algoritma F.3)	III-59
III.3	Verifikasi dan Validasi Algoritma	III-65

BAB IV IMPLEMENTASI ALGORITMAIV-1

IV.1	Verifikasi dan Validasi Program.....	IV-1
IV.2	Penentuan Parameter <i>Multi-Verse Optimizer</i>	IV-5
IV.3	Implementasi MVO pada <i>Benchmark Problems</i>	IV-7
IV.3.1	Implementasi MVO pada Kasus 1	IV-8
IV.3.2	Implementasi MVO pada Kasus 2	IV-9
IV.3.3	Implementasi MVO pada Kasus 3	IV-11
IV.3.4	Implementasi MVO pada Kasus 4	IV-12
IV.3.5	Implementasi MVO pada Kasus 5	IV-14
IV.3.6	Implementasi MVO pada Kasus 6	IV-15
IV.4	Pengujian Parameter <i>Multi-Verse Optimizer</i>	IV-17
IV.4.1	Pengujian Parameter MVO pada Kasus 1	IV-18
IV.4.2	Pengujian Parameter MVO pada Kasus 2	IV-19
IV.4.3	Pengujian Parameter MVO pada Kasus 6	IV-19
IV.4.4	Rekapitulasi Hasil Pengujian Parameter	IV-20
IV.5	Pengaruh Level Parameter.....	IV-21
IV.6	Perbandingan Algoritma MVO dengan Algoritma Pembanding..	IV-21

BAB V ANALISIS	V-1
V.1 Analisis <i>Encoding</i> dan <i>Decoding</i>	V-1
V.2 Analisis Perpindahan Posisi Objek	V-3
V.3 Analisis Pengaruh Parameter MVO	V-5
V.4 Analisis Performansi Algoritma MVO	V-6
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	VI-1
VI.1 Kesimpulan	VI-1
VI.2 Saran	VI-2

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

DAFTAR TABEL

Tabel II.1	Persamaan Perhitungan <i>Mean Square</i> dan F_0 Dua Faktor	II-12
Tabel III.1	Data Pelanggan Kasus Sederhana	III-3
Tabel III.2	Jarak Antara Pelanggan dengan Reference Points Kendaraan.	III-3
Tabel III.3	Rute Awal yang Dihasilkan.....	III-4
Tabel III.4	Hasil Pembentukan Rute Kendaraan	III-5
Tabel III.5	Hasil Perhitungan Total Jarak Tempuh Keseluruhan.....	III-5
Tabel III.6	Data Pelanggan Kasus Sederhana	III-66
Tabel III.7	<i>Boundary</i> Setiap Dimensi.....	III-71
Tabel III.8	Matriks Nilai Objek Setiap <i>Universe</i>	III-72
Tabel III.9	<i>Reference Points</i> untuk Kendaraan di <i>Universe</i> 1	III-73
Tabel III.10	Prioritas Pelanggan dalam <i>Radius</i>	III-75
Tabel III.11	Prioritas Pelanggan dalam <i>Radius</i> Setelah Diurutkan	III-76
Tabel III.12	Rute Sementara untuk Pelanggan dalam <i>Radius</i>	III-77
Tabel III.13	Rute Sementara untuk Pelanggan dalam <i>Radius</i> Setelah Pemindahan.....	III-80
Tabel III.14	Rute Akhir untuk Setiap Kendaraan	III-83
Tabel III.15	Rute Kendaraan, Nilai <i>Fitness Universe</i> dan <i>Universe</i> Terbaik.....	III-86
Tabel III.16	Nilai Objek Setiap <i>Universe</i> Setelah Eksplorasi dan Eksplorasi.....	III-90
Tabel III.17	<i>Reference Points</i> untuk Kendaraan di <i>Universe</i> 1 Iterasi 2	III-91
Tabel III.18	Prioritas Pelanggan dalam <i>Radius</i> pada Iterasi 2.....	III-91
Tabel III.19	Rute Sementara untuk Pelanggan dalam <i>Radius</i> pada Iterasi 2.....	III-92
Tabel III.20	Rute Sementara untuk Pelanggan dalam <i>Radius</i> Setelah Pemindahan pada Iterasi 2	III-92
Tabel III.21	Rute Akhir untuk Setiap Kendaraan pada Iterasi 2.....	III-92
Tabel III.22	Rute Sementara untuk Pelanggan dalam <i>Radius</i> pada Iterasi 2.....	III-93

Tabel III.23	Nilai Objek Setiap Universe Setelah Eksplorasi dan Eksplorasi pada Iterasi 2	III-94
Tabel IV.1	Data Pelanggan Kasus Sederhana Validasi Program	IV-3
Tabel IV.2	Kombinasi Parameter yang Digunakan	IV-7
Tabel IV.3	Rekapitulasi Hasil Implementasi Kasus 1	IV-8
Tabel IV.4	Rekapitulasi Hasil Implementasi Kasus 2.....	IV-10
Tabel IV.5	Rekapitulasi Hasil Implementasi Kasus 3.....	IV-12
Tabel IV.6	Rekapitulasi Hasil Implementasi Kasus 4.....	IV-13
Tabel IV.7	Rekapitulasi Hasil Implementasi Kasus 5.....	IV-15
Tabel IV.8	Rekapitulasi Hasil Implementasi Kasus 6.....	IV-16
Tabel IV.9	Rekapitulasi Hasil Uji ANOVA untuk Kasus 1, Kasus 2, dan Kasus 6.....	IV-20
Tabel IV.10	Rekapitulasi Perbandingan Solusi Terbaik	IV-22
Tabel V.1	Perbedaan Solusi MVO dengan Algoritma Perbandingan dan <i>Best Known Solution</i>	V-6

DAFTAR GAMBAR

Gambar I.1	Metodologi Penelitian.....	I-8
Gambar II.1	Ilustrasi VRP	II-1
Gambar II.2	<i>White Hole, Black Hole, dan Wormhole</i>	II-5
Gambar III.1	Contoh Objek yang Dihasilkan	III-2
Gambar III.2	Algoritma Utama <i>Multi-Verse Optimizer</i>	III-11
Gambar III.3	Algoritma Penentuan <i>Boundary</i>	III-15
Gambar III.4	Algoritma Pembuatan Matriks Universe Awal.....	III-18
Gambar III.5	Algoritma Perhitungan Nilai <i>Fitness</i> dan Penentuan <i>Best Universe</i>	III-19
Gambar III.6	Algoritma <i>Sorting</i> dan Normalisasi <i>Fitness Universe</i>	III-23
Gambar III.7	Algoritma Pembuatan Solusi Baru.....	III-27
Gambar III.8	Algoritma Pembuatan Rute	III-33
Gambar III.9	Algoritma Pelanggan Dalam <i>Radius</i>	III-41
Gambar III.10	Algoritma Pelanggan Terhambat <i>Constraints</i>	III-50
Gambar III.11	Algoritma Pelanggan Luar <i>Radius</i>	III-59
Gambar IV.1	Contoh Program Pembuatan Matriks Awal <i>Universe</i>	IV-1
Gambar IV.2	Contoh Peringatan saat Terdapat Ketentuan Terlanggar	IV-3
Gambar IV.3	Nilai <i>Input</i> Kasus Sederhana.....	IV-4
Gambar IV.4	Hasil Program untuk Kasus Sederhana	IV-5
Gambar IV.5	Scatter Plot Kasus 1	IV-8
Gambar IV.6	Scatter Plot Kasus 2	IV-9
Gambar IV.7	Scatter Plot Kasus 3	IV-11
Gambar IV.8	Scatter Plot Kasus 4	IV-12
Gambar IV.9	Scatter Plot Kasus 5	IV-14
Gambar IV.10	Scatter Plot Kasus 6.....	IV-16
Gambar IV.11	Hasil Uji ANOVA Kasus 1	IV-19
Gambar IV.12	Hasil Uji ANOVA Kasus 2	IV-19
Gambar IV.13	Hasil Uji ANOVA Kasus 6	IV-20
Gambar IV.14	<i>Main Effect Plot</i> Kasus 1	IV-21
Gambar V.1	Perbandingan Nilai TDR	V-5

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A Data Pelanggan Setiap Kasus.....	A-1
LAMPIRAN B Hasil Implementasi <i>Benchmark Problems</i>	B-1

BAB I

PENDAHULUAN

Pada bab ini berisi mengenai dasar dari penelitian yang meliputi latar belakang permasalahan, identifikasi dan perumusan masalah, batasan dan asumsi masalah, manfaat penelitian, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

I.1 Latar Belakang Masalah

Dewasa ini, perkembangan dalam bidang perindustrian semakin cepat, terutama dalam bidang pengiriman barang. Perkembangan dalam bidang industri ini dapat disebabkan karena tingkat konsumsi yang semakin lama semakin meningkat. Keadaan tersebut memicu perusahaan untuk mengembangkan sistem pengiriman yang digunakan supaya barang yang diproduksi menjadi tepat waktu sampai ke tangan konsumen sehingga kebutuhan dari konsumen menjadi terpenuhi.

Koordinasi dalam pengiriman barang yang melibatkan berbagai banyak pihak perlu dilakukan supaya barang tersebut dapat dikirim dengan tepat waktu. Terdapat beberapa faktor yang dipertimbangkan dalam proses pengiriman barang, salah satunya adalah biaya transportasi. Biaya tersebut perlu dibuat seefisien mungkin sehingga dapat meminimasi biaya yang dihasilkan namun tetap dapat memenuhi kebutuhan dari konsumen. Biaya transportasi tidak lepas dari penentuan rute yang tepat yang akan mempengaruhi jarak tempuh kendaraan. Dengan rute yang tepat, maka efisiensi dari proses pengiriman barang dapat dimaksimalkan. Salah satu hal yang dapat dilakukan adalah pemilihan rute optimal untuk kendaraan yang digunakan dalam proses pengiriman barang.

Permasalahan penentuan rute optimal dapat dimodelkan secara matematis dan dikenal dengan istilah *Vehicle Routing Problem* (VRP). Menurut Belfiore, Tsugunobu, dan Yoshizaki (2008), *Vehicle Routing Problem* merupakan permasalahan yang bertujuan untuk menemukan kombinasi rute dengan biaya minimal dengan awal dan akhir rute berada di sebuah *depot* supaya *demand*

yang dibutuhkan untuk setiap konsumen dapat terpenuhi. Salah satu variasi dari VRP

yaitu *Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows* (CVRPTW) dimana terdapat batasan berupa kapasitas yang dapat dibawa oleh setiap kendaraan dan setiap pengiriman harus dilakukan dalam rentang batas waktu tertentu (*time windows*) untuk setiap konsumen (Toth dan Vigo, 2002).

CVRPTW merupakan generalisasi yang penting dari VRP dan juga merupakan permasalahan manajemen distribusi dasar yang bisa memodelkan masalah dunia nyata yang meliputi penentuan rute dengan biaya minimal, yang diawali dan diakhiri di sebuah *depot*, dengan armada kendaraan yang melayani pelanggan dengan *demand* yang telah diketahui (El-Sherbeny, 2010).

Menurut Solomon dan Desrosiers (1988), CVRPTW tergolong sebagai *NP-hard problem* karena permasalahan tersebut merupakan pengembangan dari VRP (Belfiore et al., 2008). *NP-hard problems* atau *non-deterministic polynomial-time hard problems* adalah permasalahan optimasi yang membutuhkan *exponential time* untuk diselesaikan secara optimal (Talbi, 2009). Dengan kata lain, semakin besar skala permasalahan, maka waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan masalah tersebut akan semakin lama. Hal ini menyebabkan berkembangnya berbagai metode untuk menyelesaikan masalah dengan lebih baik dari segi fungsi tujuan dan waktu komputasi.

I.2 Identifikasi dan Perumusan Masalah

Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows merupakan modifikasi dari permasalahan CVRP dimana pelayanan untuk setiap pelanggan harus dimulai dalam kurun waktu tertentu dan kendaraan harus berada di tempat pelanggan saat pelayanan (Toth et al., 2002). Tujuan dari permasalahan CVRPTW adalah meminimasi jarak yang dibutuhkan (*travelling cost*) dan jumlah kendaraan yang digunakan tanpa melanggar batasan waktu pengantaran yang ada untuk setiap pelanggan dan kapasitas yang dimiliki (Sousa, Biswas, Brito, dan Silveira, 2011).

Salah satu contoh permasalahan CVRPTW muncul pada industri katering, dimana terdapat permasalahan pengiriman makanan untuk sejumlah pelanggan. Dalam industri katering, pihak perusahaan harus mengirimkan makanan setiap hari kepada berbagai pelanggan sesuai dengan waktu makan

yang sudah ditentukan. Jika makanan ditujukan untuk makan siang maka proses pengiriman tidak boleh melewati batas waktu makan siang yang sudah ditentukan oleh pelanggan, begitu juga untuk waktu makan lainnya.

Seperti yang telah disebutkan pada subbab sebelumnya, permasalahan CVRPTW merupakan permasalahan *NP-hard* yang membutuhkan waktu yang lama untuk proses komputasi solusi. Salah satu metode untuk mendapatkan solusi adalah metode eksak seperti *Lagrange relaxation-based methods*, *Column generation*, dan *Dynamic programming*. Untuk permasalahan CVRPTW sendiri, penggunaan metode eksak sering memberikan performansi yang sangat buruk, dimana membutuhkan waktu yang lama untuk mendapatkan solusi yang cukup layak, pun solusi optimal untuk kasus yang cukup kecil (El-Sherbeny, 2010). Hal ini menyebabkan, perlu digunakan metode lain untuk menyelesaikan permasalahan tersebut.

Salah satu metode yang dapat menyelesaikan permasalahan *NP-hard* adalah metode metaheuristik (Talbi 2009). Metode metaheuristik dapat memberikan solusi yang “baik” (belum tentu optimal) dalam kurun waktu yang lebih singkat. Berdasarkan studi literatur, beberapa metode metaheuristik yang telah digunakan untuk menyelesaikan masalah CVRPTW adalah algoritma *Improved Artificial Bee Colony (Improved ABC)* (Yao, Yan, Zhang, dan Yang, 2017), dan *A Hybrid Search Method* (Oliveira dan Vasconcelos, 2010).

Berdasarkan penelitian oleh B. Yao, et al. (2017), didapatkan bahwa penelitian tersebut melakukan modifikasi pada algoritma *Artificial Bee Colony (ABC)* meminjam *crossover operation* dari *genetic algorithm*, dan *scanning strategy* dalam upaya untuk meningkatkan performansi dari algoritma *Artificial Bee Colony* standar sehingga didapat hasil yang lebih baik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa modifikasi tersebut meningkatkan performansi dari algoritma ABC namun *crossover operation* yang digabungkan ke dalam algoritma dapat menambah waktu komputasi, dan modifikasi ini belum dapat digunakan dalam contoh kasus yang lebih besar. Algoritma metaheuristik lain yang telah digunakan untuk menyelesaikan masalah CVRPTW adalah *Hybird Search Method* oleh Humberto et al. (2010). Penelitian ini dilakukan dengan menggabungkan *Hybrid Search* dengan *Simulated Annealing*, *random start*, dan *Hill Climbing*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rute yang dihasilkan lebih sedikit daripada kasus *benchmark* yang digunakan, namun performansi dari

metode ini masih dapat dikembangkan melalui analisis statistik dibandingkan dengan cara *trial-and-error*. Hal ini membuktikan bahwa masih perlu penelitian lebih lanjut mengenai permasalahan CVRPTW dalam penggunaan metode metaheuristik supaya didapat hasil yang lebih baik.

Berdasarkan penelitian Soetono pada tahun 2016, permasalahan CVRPTW pernah diselesaikan dengan algoritma dengan jenis *population-based algorithm* yaitu *Grey Wolf Optimizer* dimana didapatkan hasil yang lebih unggul daripada algoritma *Viral Systems*. Sebuah metode metaheuristik yang baru dikembangkan oleh S. Mirjalili, S. M. Mirjalili, dan A. Hatamlou (2015) bernama *Multi-Verse Optimizer* (MVO). Metode metaheuristik ini merupakan algoritma jenis *population-based algorithm* dan terinspirasi dari hipotesis *multiverse* yang mengatakan bahwa terdapat alam semesta (*universe*) lain selain alam semesta yang ada dan setiap alam semesta yang ada dapat berinteraksi satu dengan yang lain.

Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Mirjalili S., et al. (2015), dilakukan pengujian dan perbandingan menggunakan *benchmark function* untuk melihat performansi dari algoritma MVO. Selain itu dilakukan juga pengujian pada beberapa permasalahan teknik dengan *constraint* yang berbeda-beda yang telah diujikan pada beberapa algoritma yang lain. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapatkan bahwa algoritma MVO dapat memberikan hasil yang kompetitif atau bahkan lebih baik dibandingkan dengan algoritma lain seperti *Grey Wolf Optimizer*. Oleh sebab itu, metode MVO ini akan dicoba untuk diterapkan di permasalahan CVRPTW ini untuk mengetahui performansi yang dihasilkan algoritma MVO dalam menghasilkan solusi untuk CVRPTW.

Performansi dari algoritma MVO ini sangat mungkin dipengaruhi oleh nilai parameter yang digunakan. Performansi dari algoritma MVO ini berupa calon solusi yang dihasilkan untuk permasalahan CVRPTW. Perbedaan pada nilai parameter diduga dapat menentukan bagaimana kualitas calon solusi yang dihasilkan dari algoritma MVO. Sebagai contoh, semakin besar nilai *minimum probability* yang digunakan untuk perhitungan konstanta WEP, maka semakin besar kemungkinan terjadinya eksploitasi yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas solusi yang ada. Oleh sebab itu, perlu diketahui juga bagaimana nilai parameter mempengaruhi hasil dari penyelesaian masalah. Untuk melihat unggul tidaknya performansi dari algoritma MVO yang akan diteliti, dalam penelitian ini

akan dilakukan perbandingan performansi algoritma MVO dengan algoritma lain yang pernah diterapkan untuk menyelesaikan permasalahan ini. Pada penelitian ini, performansi algoritma *Multi-Verse Optimizer* akan dibandingkan dengan algoritma *Grey Wolf Optimizer* (Soetono, 2016). Penelitian (Soetono, 2016) menunjukkan bahwa algoritma *Grey Wolf Optimizer* memberikan hasil yang lebih baik dari algoritma *Viral Systems* sebanyak 4 dari 6 kasus CVRPTW yang dibandingkan. Performansi algoritma *Multi-Verse Optimizer* ini juga akan dibandingkan dengan *Bat Algorithm* (Halim, 2014). Penelitian ini menunjukkan *Bat Algorithm* memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan algoritma *Viral Systems*.

Berdasarkan uraian yang telah disampaikan, permasalahan dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut.

1. Bagaimana penerapan algoritma *Multi-Verse Optimizer* untuk minimasi biaya dalam menyelesaikan permasalahan *Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows*?
2. Bagaimana pengaruh parameter yang digunakan dalam algoritma *Multi-Verse Optimizer* terhadap hasil yang didapat dalam menyelesaikan permasalahan *Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows*?
3. Bagaimana perbandingan performansi algoritma *Multi-Verse Optimizer* dengan algoritma *Grey Wolf Optimizer* (Soetono, 2016) dan *Bat Algorithm* (Halim, 2014) dalam menyelesaikan permasalahan *Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows*?

I.3 Batasan Masalah

Pembatasan masalah dan asumsi penelitian digunakan dengan tujuan untuk mempermudah dan memfokuskan penelitian yang dilakukan. Batasan masalah yang digunakan adalah penerapan kasus CVRPTW menggunakan data hipotetik dan disesuaikan dengan kasus yang digunakan untuk *benchmark*.

I.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan identifikasi dan perumusan masalah yang telah dijelaskan sebelumnya, maka tujuan dari penelitian adalah sebagai berikut.

1. Menerapkan algoritma *Multi-Verse Optimizer* untuk minimasi biaya dalam menyelesaikan permasalahan *Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows*.
2. Mengetahui ada tidaknya pengaruh parameter yang digunakan dalam algoritma *Multi-Verse Optimizer* terhadap hasil yang didapat dalam menyelesaikan permasalahan *Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows*.
3. Membandingkan hasil performasi algoritma *Multi-Verse Optimizer* (Soetono, 2016) dengan algoritma *Grey Wolf Optimizer* (Halim, 2014) dalam menyelesaikan permasalahan *Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows*.

I.5 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian yang ingin dicapai, manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menerapkan algoritma *Multi-Verse Optimizer* menyelesaikan permasalahan *Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows*.
2. Menambah penggunaan algoritma *Multi-Verse Optimizer* dalam penelitian dengan metode metaheuristik.
3. Permasalahan *Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows* dapat diselesaikan dengan lebih cepat dan sederhana.
4. Menambah referensi untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan algoritma *Multi-Verse Optimizer* dan permasalahan *Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows*.

I.6 Metodologi Penelitian

Dalam suatu penelitian terdapat metodologi penelitian yang digunakan. Gambar I.2 merupakan bagan dari tahapan metodologi yang digunakan dalam penelitian ini. Metodologi penelitian dapat diuraikan sebagai berikut.

1. Studi Literatur

Tahapan ini berisi pengumpulan dan pemahaman literatur-literatur yang berhubungan dengan topik pada penelitian, yaitu mengenai permasalahan

Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows (CVRPTW) dan mengenai algoritma *Multi-Verse Optimizer*.

2. Identifikasi dan Perumusan Masalah

Tahapan ini berisi proses menemukan gambaran permasalahan yang muncul dan akan diselesaikan dalam penelitian ini. Selanjutnya, akan dirumuskan masalah-masalah yang akan menjadi bahasan dalam penelitian ini yang didasari oleh temuan gambaran permasalahan yang telah dilakukan sebelumnya.

3. Pembatasan Masalah dan Asumsi

Tahapan ini berisi mengenai pembatasan-pembatasan masalah dan asumsi-asumsi yang digunakan dalam penelitian. Pembatasan masalah bertujuan supaya ruang lingkup penelitian tidak terlalu luas. Penentuan asumsi memiliki tujuan untuk menyederhanakan penelitian.

4. Penentuan Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tahapan ini berisi perumusan tujuan dan manfaat dari penelitian yang akan dilakukan berdasarkan masalah yang telah dirumuskan. Penentuan tujuan dan manfaat penelitian diperlukan supaya penelitian memiliki tujuan yang jelas.

5. Perancangan Algoritma *Multi-Verse Optimizer* untuk Permasalahan *Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows* (CVRPTW)

Tahapan ini berisi proses perancangan algoritma *Multi-Verse Optimizer* (MVO) dalam menyelesaikan permasalahan CVRPTW, yang dilanjutkan dengan perancangan program sesuai dengan rancangan algoritma MVO dalam permasalahan CVRPTW.

6. Validasi dan Verifikasi Algoritma

Tahapan ini berisi proses validasi dan verifikasi hasil rancangan algoritma *Multi-Verse Optimizer* (MVO) dalam penyelesaian permasalahan *Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows* (CVRPTW). Validasi dilakukan untuk memastikan bahwa tahapan algoritma yang dibuat sesuai dengan algoritma MVO and permasalahan CVRPTW. Sedangkan validasi dilakukan dengan tujuan untuk memastikan apakah hasil perhitungan pada algoritma untuk permasalahan CVRPTW sudah benar.

7. Pembuatan Program Algoritma *Multi-Verse Optimizer* untuk Permasalahan *Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows* (CVRPTW)

Pada tahapan ini, dibuat program dari perancangan algoritma *Multi-Verse Optimizer* (MVO) untuk permasalahan CVRPTW sesuai dengan perancangan algoritma yang telah dibuat sebelumnya.

8. Validasi dan Verifikasi Program

Tahapan ini berisi proses verifikasi dari rancangan program yang telah dibuat dengan tujuan untuk memastikan bahwa program telah dibuat sesuai dengan rancangan algoritma untuk permasalahan CVRPTW. Proses validasi juga dilakukan untuk memastikan bahwa program dapat dijalankan dengan benar.

9. Implementasi Algoritma

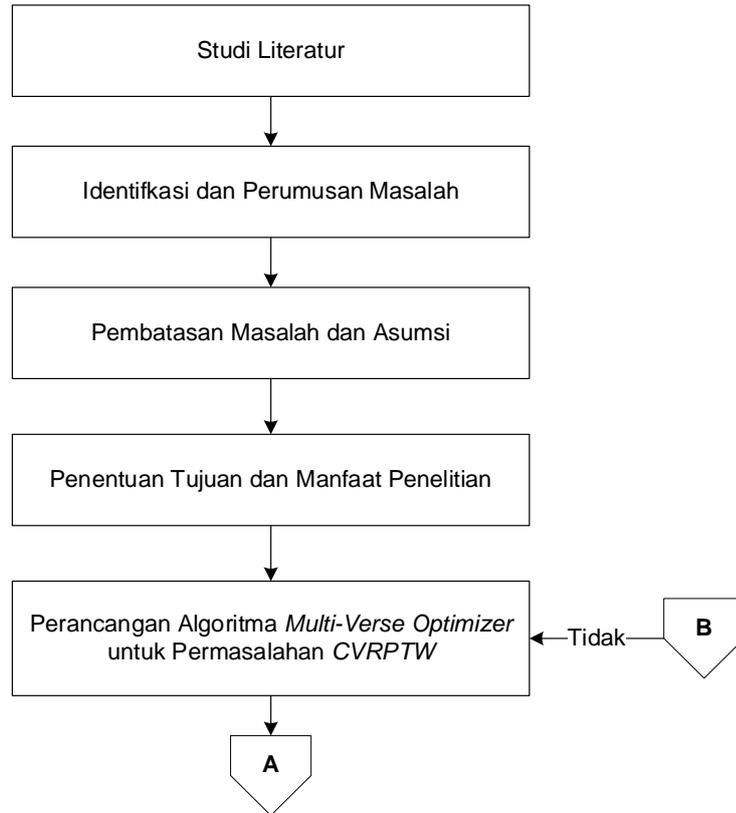
Tahapan ini berisi penggunaan program untuk menyelesaikan *benchmark problem* untuk mendapatkan *output* yang dibutuhkan dalam penelitian. Data yang digunakan merupakan data hipotetik yang terdapat pada persoalan CVRPTW pada algoritma *Grey Wold Optimizer* yang digunakan sebagai *benchmark*.

10. Analisis

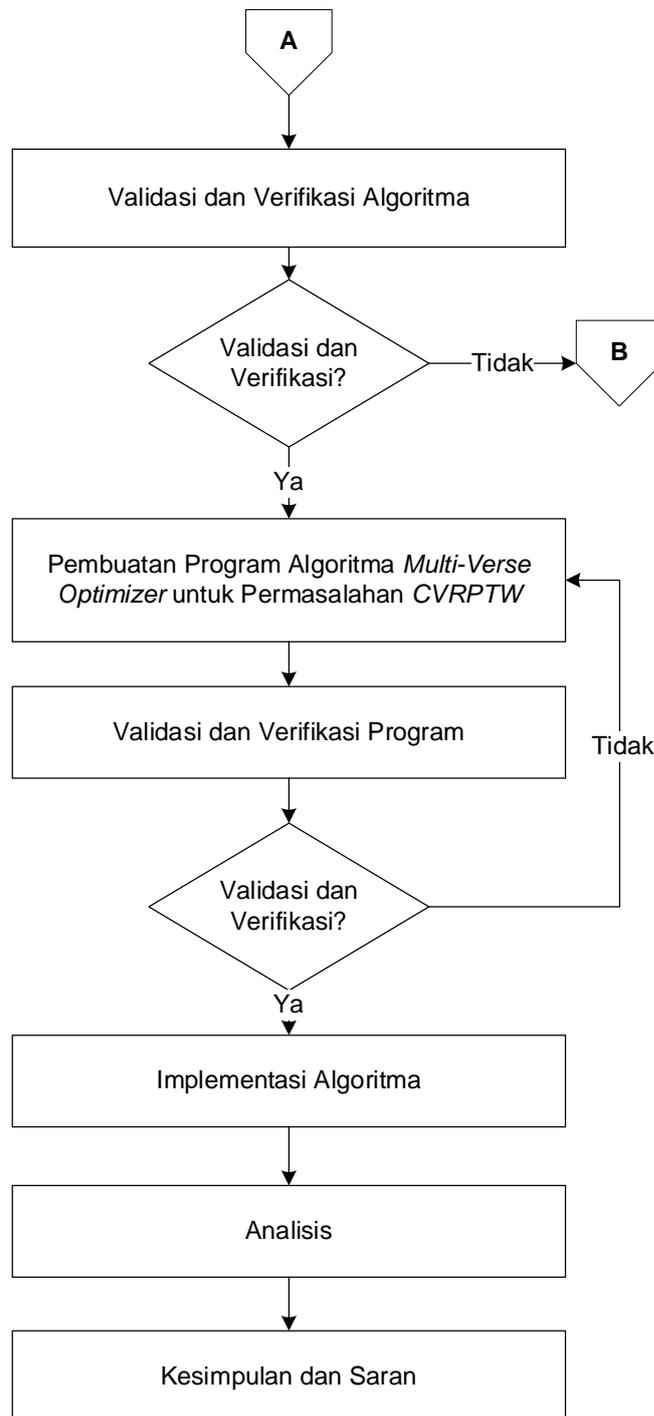
Tahapan ini berisi analisis dari implementasi algoritma yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya. Analisis berisi mengenai perbandingan performansi antara algoritma *Multi-Verse Optimizer* (MVO) dengan algoritma lain yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang sama.

11. Kesimpulan dan Saran

Tahapan ini berisi kesimpulan dan saran dari hasil penelitian yang telah digunakan yang dapat digunakan sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya. Kesimpulan merupakan jawaban dari tujuan penelitian yang telah ditentukan sebelumnya dan saran merupakan rekomendasi untuk penelitian selanjutnya.



Gambar I.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian



Gambar I.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian (lanjutan)

I.7 Sistematika Penulisan

Penelitian ini akan disusun dalam sebuah laporan yang sistematis. Berikut ini merupakan sistematika penulisan dari penelitian yang akan dilakukan:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi dasar dari penelitian yang meliputi latar belakang permasalahan, identifikasi dan perumusan masalah, batasan dan asumsi yang digunakan dalam penelitian, manfaat penelitian, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan laporan penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi teori-teori yang akan digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini. Teori-teori yang digunakan berasal dari sumber-sumber terkait penelitian yang akan dilakukan dan sebagai dasar pengolahan data. Teori tersebut meliputi permasalahan *Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows* (CVRPTW), Multi-Verse Optimizer (MVO), representasi solusi SR-2 dan desain eksperimen

BAB III PERANCANGAN ALGORITMA

Bab ini berisi penerapan *Multi-Verse Optimizer* untuk menyelesaikan permasalahan CVRPTW. Penerapan akan dilakukan dengan menggunakan *flowchart*. Bab ini juga berisi penjelasan proses *encoding* dan *decoding* serta proses verifikasi dan validasi untuk algoritma yang telah diterapkan.

BAB IV IMPLEMENTASI ALGORITMA

Bab ini berisi verifikasi dan validasi program, penentuan parameter algoritma, kasus hipotetik yang akan diuji, hasil implementasi algoritma, dan perbandingan performansi algoritma dengan algoritma pembanding. Perbandingan algoritma dilakukan dengan membandingkan nilai performansi hasil algoritma dengan algoritma pembanding.

BAB V ANALISIS

Bab ini berisi analisis dari penelitian yang telah disusun. Analisis yang dilakukan meliputi analisis *encoding* pada algoritma MVO, analisis perpindahan posisi, analisis pengaruh parameter MVO, analisis performansi algoritma MVO.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian mengenai penerapan *Multi-Verse Optimizer* untuk menyelesaikan permasalahan CVRPTW dan saran-saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya.