

**PENYELESAIAN *TRAVELING SALESMAN*
PROBLEM WITH TIME WINDOWS UNTUK
MEMINIMASI COST DENGAN ALGORITMA *GREY*
*WOLF OPTIMIZER***

SKRIPSI

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

Disusun Oleh :

Nama: Ricky Nugraha Tendi

NPM: 2013610113



**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG
2017**

**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG**



Nama : Ricky Nugraha Tendi
NPM : 2013610113
Program Studi : Teknik Industri
Judul Skripsi : *PENYELESAIAN TRAVELING SALESMAN PROBLEM
WITH TIME WINDOWS UNTUK MEMINIMASI COST
DENGAN ALGORITMA GREY WOLF OPTIMIZER*

TANDA PERSETUJUAN SKRIPSI

Bandung, Agustus 2017

Ketua Program Studi Teknik Industri

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

Pembimbing

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



Program Studi Teknik Industri Fakultas
Teknologi Industri Universitas Katolik
Parahyangan

Pernyataan Tidak Mencontek atau Melakukan Tindakan Plagiat

Saya, yang bertanda tangan dibawah ini,
Nama : Ricky Nugraha Tendi
NPM : 2013610113

dengan ini menyatakan bahwa Skripsi dengan judul :

**" PENYELESAIAN *TRAVELING SALESMAN PROBLEM WITH TIME WINDOWS*
UNTUK MEMINIMASI *COST* DENGAN ALGORITMA *GREY WOLF OPTIMIZER* "**

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, 2 Agustus 2017

Ricky Nugraha Tendi
2013610113

ABSTRAK

Traveling Salesman Problem with Time Windows (TSPTW) merupakan sebuah kasus permasalahan yang menganalogikan seorang *salesman* yang harus memenuhi tugasnya untuk mengunjungi setiap kota yang ada dalam rentang waktu yang telah ditetapkan untuk masing-masing kotanya. *Permasalahan ini bersifat non-deterministic polynomial Hard atau sering dikatakan NP-Hard*. Hal tersebut dikarenakan permasalahan TSPTW jika semakin banyak jumlah kota maka akan semakin lama waktu komputasi yang dibutuhkan untuk menyelesaikannya. Selain itu juga terdapat *time windows* yang mengakibatkan banyaknya solusi yang *infeasible*.

Salah satu metode yang dapat memberikan waktu komputasi yang cepat adalah metode metaheuristik. Salah satu algoritma metaheuristik adalah *Grey Wolf Optimizer*. *Grey Wolf Optimizer* adalah salah satu algoritma metaheuristik yang meniru perilaku daripada serigala dalam perilaku memburu mangsa. Pada algoritma GWO ini terdapat 4 jenis serigala yaitu alfa, beta, delta, dan omega.

GWO diimplementasikan ke dalam 9 kasus TSPTW yang terdiri dari 5 sub-kasus untuk setiap kasusnya. Implementasi GWO menggunakan 8 kombinasi parameter dengan 5 kali replikasi. Kombinasi tersebut berasal dari 3 buah parameter dan masing-masing terdiri dari 2 level. Parameter yang diuji adalah jumlah serigala (n), jumlah iterasi (T), dan nilai awal parameter a (nawal). Hasil pengujian pengaruh parameter menunjukkan adanya pengaruh dari masing-masing parameter pada kasus TSPTW. Penelitian ini juga melakukan perbandingan performansi antara algoritma GWO dengan algoritma *Tabu Search* dan algoritma *Compressed Annealing (CA)*. Hasil implementasi algoritma GWO menunjukkan bahwa performansi algoritma GWO sangat baik dalam permasalahan kasus 20 kota, akan tetapi algoritma GWO belum dapat menghasilkan solusi yang lebih baik daripada *benchmark* pada sebagian kasus 40 kota dan seluruh kasus 60 kota.

ABSTRACT

Traveling Salesman Problem with Time Windows (TSPTW) is a problem that analogies a salesman who must fulfill his duty to visit every city within the time window set for each of his cities. This problem is non-deterministic polynomial Hard or often called NP-Hard. This is because the problem of TSPTW if the more the number of cities will be the longer the computation time required to complete. There is also time windows which resulted in many solutions that are infeasible.

One method that can provide a fast computation time is the metaheuristic method. One of the metaheuristic algorithms is Gray Wolf Optimizer. Gray Wolf Optimizer is one of the metaheuristic algorithms that mimics the behavior of wolves in hunting prey activity. In the GWO algorithm there are 4 types of wolves namely alpha, beta, delta, and omega..

GWO is implemented into 9 TSPTW cases consisting of 5 sub-cases for each case. GWO implementation uses 8 combinations of parameters with 5 replications. The combination comes from 3 pieces of parameters and each consists of 2 levels. The parameters tested are number of wolf (n), number of iteration (T), and initial value of parameter a ($nawal$). The test result of the influence of parameters shows the influence of each parameter in TSPTW case. This study also performs a performance comparison between GWO algorithm with Tabu Search algorithm and Compressed Annealing (CA) algorithm. The result of GWO algorithm implementation shows that the performance of GWO algorithm is very good in case of 20 cities, but GWO algorithm has not been able to produce better solution than benchmark in some cases 40 cities and all cases 60 cities.

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 Penyelesaian *Traveling Salesman Problem With Time Windows* untuk Meminimasi *Cost* dengan Algoritma *Grey Wolf Optimizer*. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada orang tua 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 Dr. Carles Sitompul S.T., M.T., M.I.M selaku dosen pembimbing skripsi yang selalu memberikan dukungan dan motivasi dalam proses pengerjaan laporan skripsi ini dari awal hingga selesai.
2. Ibu Cynthia Prithadevi Juwono, Ir., M.S. selaku dosen penguji proposal skripsi dan penguji sidang skripsi yang telah memberikan banyak masukan dan perbaikan terhadap proposal skripsi yang telah dibuat.
3. Bapak Fran Setiawan S.T., M.Sc. selaku dosen penguji proposal skripsi dan penguji sidang skripsi yang telah memberikan banyak masukan dan perbaikan terhadap proposal skripsi yang telah dibuat.
4. Agnes Monica yang selalu memberikan banyak dukungan dan bersedia membantu dengan sabar kepada penulis dalam pengerjaan skripsi ini hingga skripsi ini selesai dibuat.
5. Ida Bagus Deva A.N.S. selaku teman seperjuangan algoritma yang sangat membimbing dan membantu dalam pemecahan kesulitan saat pemograman dilakukan.
6. Ricky Soetono, S.T. selaku sesama penulis laporan skripsi mengenai algoritma *Grey Wolf Optimizer* yang bersedia memberikan bantuan terhadap kelancaran laporan skripsi ini.
7. Adrianus, Felix, dan Arnold selaku sesama penulis laporan skripsi algoritma yang telah memberikan masukan dan motivasi dalam pembuatan laporan skripsi ini.

8. Teman – teman JEBRET (Handy, Deo, Eveline, Yolanda, Bonifasius, Samatha, Grace, Alvin, dan yang lainnya) yang selalu memberikan dukungan serta motivasi dalam pembuatan laporan skripsi ini.
9. Teman-teman komsel gereja yang telah memberikan dukungan, motivasi, serta doa terhadap kelancaran skripsi ini.
10. Teman-teman rekan asisten Simulasi Sistem yang selalu mendukung dan memberikan *support* dalam pembuatan skripsi ini.
11. Teman-teman kelas A yang selalu memberikan dukungan.
12. Teman-teman Teknik Industri angkatan 2013.
13. Pihak-pihak lainnya yang telah membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis dengan senang hati menerima kritik dan saran terhadap laporan skripsi ini agar dapat menjadikan laporan skripsi ini menjadi lebih baik lagi. Akhir kata, semoga laporan skripsi ini memiliki manfaat bagi pembaca dan pihak-pihak lainnya.

Bandung, 2 Agustus 2017

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	I-1
I.1 Latar Belakang Masalah	I-1
I.2 Identifikasi dan Rumusan Masalah	I-3
I.3 Batasan Masalah dan Asumsi	I-6
I.4 Tujuan Penelitian	I-6
I.5 Manfaat Penelitian	I-6
I.6 Metodologi Penelitian	I-7
I.7 Sistematika Penulisan	I-8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	II-1
II.1 <i>Traveling Salesman Problem with Time Windows</i>	II-1
II.2 Metode Eksak	II-2
II.3 Metode Heuristik	II-2
II.4 Metaheuristik	II-3
II.5 <i>Grey Wolf Optimizer</i>	II-4
II.6 Model Matematis Algoritma GWO	II-6
II.6.1 Pemodelan Hierarki	II-6
II.6.2 Kegiatan Mengitari Mangsa	II-6
II.6.3 Kegiatan Berburu Mangsa	II-8
II.6.4 Eksploitasi	II-10
II.6.5 Eksplorasi	II-10
II.7 <i>Local Search Two-Opt</i>	II-11

II.8	<i>Design Of Experiment</i>	II-12
------	-----------------------------------	-------

BAB III PERANCANGAN ALGORITMA III-1

III.1	Proses <i>Encoding</i> dan <i>Decoding</i> Algoritma GWO	III-1
III.2	Perancangan Algoritma <i>Grey Wolf Optimizer</i>	III-4
III.2.1	Notasi Algoritma <i>Grey Wolf Optimizer</i>	III-4
III.2.2	Algoritma Utama <i>Grey Wolf Optimizer</i>	III-6
III.2.3	Inisialisasi Posisi Awal Serigala (Algoritma A)	III-9
III.2.4	Menghitung Nilai <i>Fitness</i> Serigala (Algoritma B).....	III-10
III.2.5	Algoritma 2-Opt	III-12
III.2.6	Mengubah Hierarki Serigala (Algoritma C).....	III-14
III.2.7	Perhitungan Parameter Serigala (Algoritma D).....	III-18
III.2.8	Algoritma Perhitungan Parameter C	III-21
III.2.9	Algoritma Perhitungan Parameter A.....	III-22
III.2.10	Algoritma Perhitungan Nilai D	III-23
III.2.11	Algoritma Perhitungan Nilai X	III-25
III.2.12	Mengubah Posisi Serigala untuk Iterasi Selanjutnya (Algoritma E).....	III-26
III.3	Verifikasi dan Validasi Algoritma <i>Grey Wolf Optimizer</i> untuk Penyelesaian Kasus TSPTW.....	II-32

BAB IV IMPLEMENTASI ALGORITMA IV-1

IV.1	Verifikasi dan Validasi Program	IV-1
IV.2	Parameter <i>Grey Wolf Optimizer</i>	IV-3
IV.3	Rekapitulasi Data Kasus Hipotetik Permasalahan TSPTW	IV-6
IV.4	Hasil Implementasi Algoritma pada Data Kasus Hipotetik	IV-7
IV.4.1	Hasil Kasus n20w20	IV-8
IV.4.2	Hasil Kasus n20w40	IV-8
IV.4.3	Hasil Kasus n20w60	IV-9
IV.4.4	Hasil Kasus n40w20	IV-10
IV.4.5	Hasil Kasus n40w40	IV-10
IV.4.6	Hasil Kasus n40w60	IV-11
IV.4.7	Hasil Kasus n60w20	IV-12
IV.4.8	Hasil Kasus n60w40	IV-13

IV.4.9 Hasil Kasus n60w60	IV-13
IV.5 Pengujian ANOVA pada Kasus Hipotetik	IV-14
IV.5.1 Hasil Pengujian ANOVA Kasus n20w20	IV-15
IV.5.2 Hasil Pengujian ANOVA Kasus n20w40	IV-16
IV.5.3 Hasil Pengujian ANOVA Kasus n20w60	IV-16
IV.5.4 Hasil Pengujian ANOVA Kasus n40w20	IV-17
IV.5.5 Hasil Pengujian ANOVA Kasus n40w40	IV-18
IV.5.6 Hasil Pengujian ANOVA Kasus n40w60	IV-19
IV.5.7 Hasil Pengujian ANOVA Kasus n60w20	IV-20
IV.5.8 Hasil Pengujian ANOVA Kasus n60w40	IV-20
IV.5.9 Hasil Pengujian ANOVA Kasus n60w60	IV-21
IV.6 Rekapitulasi Hasil Pengujian ANOVA	IV-22
IV.7 Perbandingan Algoritma GWO dengan Algoritma Pembanding	IV-23
BAB V ANALISIS	V-1
V.1 Analisis Metode <i>Encoding</i> dan <i>Decoding</i>	V-1
V.2 Analisis Proses Perpindahan Serigala	V-3
V.3 Analisis Parameter Algoritma GWO	V-5
V.3.1 Analisis Pengaruh dan Interaksi Parameter n	V-6
V.3.2 Analisis Pengaruh dan Interaksi Parameter T	V-6
V.3.3 Analisis Pengaruh dan Interaksi Parameter nawal	V-7
V.4 Analisis Hasil Performansi Algoritma GWO	V-7
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 III.1	Jarak antara Depot dan Kota	III-1
Tabel III.2	Time Windows Setiap Kota	III-2
Tabel IV.1	Tabel Kombinasi Parameter.....	IV-6
Tabel IV.2	Pengujian Secara Acak.....	IV-7
Tabel IV.3	Hasil Kasus N20W20.001	IV-8
Tabel IV.4	Hasil Kasus N20W40.001	IV-9
Tabel IV.5	Hasil Kasus N20W60.001	IV-9
Tabel IV.6	Hasil Kasus N40W20.001	IV-10
Tabel IV.7	Hasil Kasus N40W40.001	IV-11
Tabel IV.8	Hasil Kasus N40W60.001	IV-12
Tabel IV.9	Hasil Kasus N60W20.001	IV-12
Tabel IV.10	Hasil Kasus N60W40.001	IV-13
Tabel IV.11	Hasil Kasus N60W60.001	IV-14
Tabel IV.12	Rekapitulasi Pengujian ANOVA	IV-22
Tabel IV.13	Rekapitulasi Hasil Perbandingan	IV-23

DAFTAR GAMBAR

Gambar I.1	Metodologi Penelitian	I-9
Gambar II.1	Design Space dari Metaheuristik	II-3
Gambar II.2	Hierarki Serigala.....	II-3
Gambar II.3	Tahapan Berburu Serigala	II-5
Gambar II.4	Posisi Pergerakan 2D	II-6
Gambar II.5	Posisi Pergerakan 3D Serigala	II-7
Gambar II.6	Pergerakan Serigala dalam GWO.....	II-8
Gambar II.7	Ilustrasi GWO : (a) eksploitasi; (b) eksplorasi	II-10
Gambar II.8	<i>Pseudo Code</i> GWO	II-10
Gambar II.9	Operasi 2-Opt.....	II-11
Gambar III.1	Contoh Posisi Awal Serigala	III-2
Gambar III.2	Langkah Pembentukan Posisi Serigala	III-3
Gambar III.3	<i>Flowchart</i> Algoritma Utama GWO.....	III-7
Gambar III.4	<i>Flowchart</i> Algoritma Inisialisasi Posisi Awal (Algoritma A).....	III-9
Gambar III.5	<i>Flowchart</i> Algoritma B	III-11
Gambar III.6	<i>Flowchart</i> Algoritma 2-Opt	III-13
Gambar III.7	<i>Flowchart</i> Algoritma C.....	III-15
Gambar III.8	Contoh Posisi Serigala pada Iterasi ke - t.....	III-18
Gambar III.9	Contoh Hasil Perhitungan Nilai D.....	III-19
Gambar III.10	Contoh Hasil Perhitungan Nilai X.....	III-20
Gambar III.11	Contoh Hasil Perhitungan Nilai X dan Proses <i>Ranking</i>	III-20
Gambar III.12	<i>Flowchart</i> Algoritma D.....	III-21
Gambar III.13	<i>Flowchart</i> Algoritma Perhitungan Parameter C.....	III-22
Gambar III.14	<i>Flowchart</i> Algoritma Perhitungan Parameter A	III-23
Gambar III.15	<i>Flowchart</i> Algoritma Perhitungan Nilai D.....	III-24
Gambar III.16	<i>Flowchart</i> Algoritma Perhitungan Nilai X.....	III-25
Gambar III.17	<i>Flowchart</i> Algoritma E	III-27
Gambar III.18	Validasi Fungsi Tujuan Algoritma.....	III-47
Gambar III.18	Validasi <i>Constraint</i> Keputusan	III-48
Gambar IV.1	Bahasa Pemrograman Input	IV-2

Gambar IV.2	Validasi Input Jumlah Serigala	IV-3
Gambar IV.3	Output Program	IV-3
Gambar IV.4	Hasil ANOVA Kasus N20W20.001	IV-15
Gambar IV.5	Hasil ANOVA Kasus N20W40.001	IV-16
Gambar IV.6	Hasil ANOVA Kasus N20W60.001	IV-17
Gambar IV.7	Hasil ANOVA Kasus N40W20.001	IV-18
Gambar IV.8	Hasil ANOVA Kasus N40W40.001	IV-18
Gambar IV.9	Hasil ANOVA Kasus N40W60.001	IV-19
Gambar IV.10	Hasil ANOVA Kasus N60W20.001	IV-20
Gambar IV.11	Hasil ANOVA Kasus N60W40.001	IV-21
Gambar IV.12	Hasil ANOVA Kasus N60W60.001	IV-21

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A DATA HIPOTETIK KASUS TSPTW	A-1
LAMPIRAN B HASIL <i>DESIGN OF EXPERIMENT</i>	B-1
LAMPIRAN C HASIL IMPLEMENTASI ALGORITMA GWO	C-1
LAMPIRAN D <i>MAIN EFFECT PLOT</i> DAN <i>INTERACTION PLOT</i>	D-1

BAB I

PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai latar belakang permasalahan yang akan diteliti dan bagaimana identifikasi masalahnya. Selain itu juga terdapat beberapa rumusan masalah yang disimpulkan, batasan dan asumsi penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan metodologi penelitian yang dilakukan.

I.1 Latar Belakang Masalah

Perkembangan dunia industri pada jaman ini sudah semakin pesat. Perkembangan tersebut juga diakibatkan oleh adanya era globalisasi yang masuk ke segala bidang. Di era globalisasi ini, banyak perusahaan-perusahaan dituntut mempunyai layanan jasa transportasi seperti pengiriman barang-barang atau produk yang akan dipasarkan. Terdapat suatu permasalahan yang sering sekali terjadi dalam transportasi perusahaan seperti ini seperti biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan terbilang cukup besar untuk melakukan transportasi. Dalam hal tersebut, pihak perusahaan seharusnya menentukan rute yang optimal yang dapat meminimasi biaya namun dapat mengantarkan seluruh produknya secara efektif dan efisien.

Traveling salesman problem (TSP) pertama kali diformulasikan oleh seorang ahli matematika bernama William Rowan Hamilton dan Thomas Kirkman pada tahun 1800-an (Amin, Ikhsan, dan Wibisono, 2006). Meskipun Persoalan tersebut sudah ditemukan dari abad 18, persoalan TSP baru dipelajari lebih lanjut pada tahun 1930-an oleh Karl Menger. *Traveling salesman problem* (TSP) merupakan masalah yang masih tidak diketahui batas kompleksitasnya. Hal tersebut menyebabkan *traveling salesman problem* ini menjadi permasalahan yang semakin sulit untuk mendapatkan hasil yang optimal jika jumlah kota dalam permasalahannya semakin banyak.

Traveling salesman problem dianalogikan sebagai permasalahan seorang *salesman* yang harus mengunjungi setiap kota tujuannya dimana setiap kota hanya dapat dikunjungi sekali saja. Pada umumnya, *salesman* diharapkan menempuh rute terpendek agar biaya transportasi yang dikeluarkan *salesman* tersebut dapat sekecil mungkin. Setiap kota tujuan *salesman* tersebut memiliki

jarak antara satu kota dengan kota lainnya. Dalam permasalahan TSP ini terdapat dua jenis jarak antar kota tersebut yaitu simetris dan asimetris. Contohnya bila terdapat dua buah kota yaitu kota A dan kota B, dikatakan simetris bila jarak dari kota A ke kota B sama besarnya dari kota B ke kota A, sedangkan dikatakan asimetris bila jarak tersebut tidak sama besarnya.

Permasalahan TSP tidak hanya dibedakan berdasarkan jarak yang ditempuh oleh *salesman* tersebut melainkan terdapat juga permasalahan TSP bila ada jadwal waktu yang ditentukan atau biasa dikenal sebagai *Traveling Salesman Problem with Time Windows* (Carlton dan Barnes, 1996). Pada perkembangan dunia industri sekarang banyak sekali perusahaan jasa *delivery* yang mengharuskan kurir untuk bekerja secara optimal dengan tabel waktu yang telah ada. Biasanya hal tersebut ditetapkan oleh perusahaan agar mendapatkan kepuasan konsumen dimana barang yang di antarkan datang tepat waktu. Pada umumnya juga dengan adanya tabel waktu yang ditetapkan bila seorang kurir melebihi batas yang telah ditentukan, maka akan terdapat *penalty* yang diberikan.

Traveling Salesman Problem with Time Windows (TSPTW) memiliki konsep yang sama seperti persoalan TSP biasanya akan tetapi *salesman* tersebut harus sampai ke suatu kota berdasarkan rentang waktu yang ditentukan. *Time windows* antar konsumen dapat berbeda satu sama lain akan tetapi memiliki karakteristik yang sama yaitu berupa selang waktu. Permasalahan ini sudah diterapkan dengan beberapa algoritma pada permasalahan nyatanya.

Contoh *real* dari permasalahan kasus TSPTW ini adalah terdapat penelitian tentang rute ke beberapa tempat wisata yang harus dikunjungi di Bali dengan basis *website* atau *mobile* (Priandani dan Mahmudy, 2015) dengan memakai algoritma genetik. Biasanya, agensi tur ini harus dapat memenuhi kunjungan ke semua tempat yang telah dijadwalkan tersebut dalam rentang waktu yang telah disusun, contohnya adalah pantai sanur paling baik dikunjungi saat jam 05.00 – 06.30 di saat matahari terbit. Kesalahan pemilihan rute ke tempat-tempat tersebut dapat berakibat ada tempat yang tidak dikunjungi atau ketidaksesuaian dengan jadwal yang telah disusun. Hal tersebut dapat berlanjut mengakibatkan biaya yang dirasakan oleh agensi tur menjadi lebih besar. Oleh karena itu penelitian tersebut dilakukan untuk membantu para agensi tur di kota Bali dalam menentukan tempat wisata yang tepat waktu.

Bukan saja terdapat di perencanaan wisata, contoh *real* yang ada adalah kasus TSPTW yang dialami oleh seorang loper Koran di Fidi Agency (Setiyawan, 2014). Selain itu juga terdapat contoh lainnya seperti studi kasus rute antar jemput *laundry* (Suprayogi, 2014) yang dijelaskan di penelitian tersebut bahwa terdapat jasa antar jemput *laundry* dengan memiliki *time windows* untuk setiap tempat yang harus dikunjunginya.

TSPTW ini merupakan sebuah permasalahan yang dikategorikan sebagai *non-deterministic polynomial-time hard* (NP-Hard) (López-Ibáñez dan Blum 2010). Pengkategorian tersebut dikarenakan masalah TSPTW biasanya membutuhkan waktu yang lama untuk mendapatkan solusi yang terbaik dengan cara metode eksak. Berbeda dengan melakukan pendekatan seperti pendekatan heuristic atau meta-heuristik maka dapat menyelesaikan kasus tersebut dengan tidak membutuhkan waktu yang lama namun solusi yang dihasilkan tidak selalu optimal. Terdapat beberapa pendekatan meta-heuristik atau heuristic untuk menyelesaikan permasalahan TSPTW seperti *Tabu Search* (Carlton dan Barnes, 1996) *Beam-ACO* (López-Ibáñez dan Blum, 2010), *General VNS* (da Silva dan Urrutia, 2010), dan *Compressed annealing* (Ohlmann dan Thomas, 2007),

I.2 Identifikasi dan Rumusan Masalah

Traveling salesman problem with time windows merupakan sebuah permasalahan optimasi kombinatorial yang sering muncul di kehidupan nyata. Masalah ini terus ditemukan di kehidupan nyata karena masalah TSPTW terdapat di banyak aspek seperti manufaktur, logistik, dan kegiatan perencanaan. Luasnya permasalahan ini memerlukan suatu metode yang cepat dan baik dalam pencarian solusi.

Dalam menyelesaikan permasalahan TSPTW, dapat digunakan dengan dua metode yang ada yaitu dengan metode eksak atau dengan metode heuristic. Metode eksak yang pernah dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan TSPTW adalah *branch and bound algorithm* (Christofides, Minggozi, dan Toth, 1981) dan *dynamic programming* (Desrosiers, Dumas, Solomon, dan Soumis, 1995). Metode eksak memiliki kekurangan yaitu membutuhkan waktu yang lama untuk mendapatkan solusi yang optimal. Berdasarkan kekurangan tersebut maka biasanya pendekatan heuristic dipakai untuk menghemat waktu pencarian solusi.

Berdasarkan uraian yang telah disebutkan sebelumnya, metode pendekatan heuristik atau metode pendekatan metaheuristik lebih baik digunakan agar dapat menyelesaikan kasus lebih cepat dibandingkan metode eksak. Pendekatan metaheuristik akan menghasilkan solusi secara cepat akan tetapi solusi yang dihasilkan belum tentu optimal. Permasalahan TSPTW ini digolongkan sebagai permasalahan NP-*Hard* yang memiliki arti bahwa bila terdapat suatu variabel ditambahkan ke dalam masalah tersebut maka kombinasi solusi yang didapat akan semakin banyak juga. Kombinasi solusi yang semakin banyak tersebut akan menyebabkan waktu pencarian solusi yang semakin lama. Oleh karena itu, metode heuristik atau metode metaheuristik lebih cocok dipakai untuk menyelesaikan TSPTW daripada metode eksak.

Salah satu metode meta-heuristik yang baru dikembangkan akhir-akhir ini adalah Grey Wolf Optimizer (GWO) yang dikembangkan oleh S. Mirjalili, S.M. Mirjalili, dan Lewis A. pada tahun 2014. Metode metaheuristik ini berjenis *nature-inspired* dan mengikuti perilaku dari *grey wolf (canis lupus)* dalam mencari mangsa. GWO ini telah berhasil diimplementasikan pada beberapa permasalahan seperti *Capacitated Vehicle Routing Problem* (Korayem, Khorsid, dan Kassem, 2014), *Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows* (Soetono, 2016), *Two-stage Assembly Flowshop Scheduling Problem with Release Time* (Komaki, Kayvanfar, 2015), *Knapsack Problem* (Wu H. S., Zhang F. M., Zhan R. J., Wang S., dan Zhang C., 2014), dan *Cell Manufacturing* (Gunawan, 2016).

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Mirjalili S., Mirjalili S.M., Lewis A. pada tahun 2014, algoritma *Grey Wolf Optimizer* ini memiliki keunggulan dan dapat bersaing dengan algoritma lainnya bahkan memberikan solusi yang lebih baik dari beberapa algoritma lainnya. GWO juga dikatakan dapat digunakan pada permasalahan yang memiliki batasan masalah seperti permasalahan nyata maupun yang tidak memiliki batasan masalah seperti fungsi teoretis. Algoritma *Grey Wolf Optimizer* dapat menghasilkan performansi yang sangat baik dalam menyelesaikan permasalahan nyata seperti permasalahan *optical engineering* dan permasalahan teoretis seperti *unimodal function*

Menurut S. Mirjalili (2014) menyatakan bahwa Algoritma GWO memiliki performansi yang baik dalam menyelesaikan masalah-masalah yang ada karena

juga memiliki konvergensi yang baik setelah diuji kekonvergenannya. Pada algoritma ini terdapat dua buah parameter yang digunakan untuk menyelesaikan masalah yaitu \vec{A} dan \vec{C} . Selain itu juga GWO sudah pernah dibandingkan dengan beberapa algoritma lainnya dalam beberapa kasus yang ada dan memiliki hasil yang lebih baik dengan *benchmarknya*. Algoritma ini telah diterapkan di beberapa kasus yang mirip dengan TSPTW yaitu pada kasus CVRP (Korayem, Khorsid, dan Kassem, 2014) dan CVRPTW (Soetono, 2016). Kemiripan tersebut berada di pencarian solusi untuk kedua kasus tersebut dimana setiap kota hanya boleh dilewati sekali saja. Selain itu juga, perbedaannya terdapat pada kasus CVRPTW, bila suatu kota tidak *feasible* untuk dilewati oleh satu buah kendaraan maka kendaraan lainnya dapat melayani kota tersebut. Berbeda halnya dengan TSPTW yang hanya di analogikan satu orang *salesman* yang harus mengunjungi seluruh kota yang ada. Oleh karena itu, GWO memang belum diterapkan untuk kasus TSPTW, akan tetapi karena pada kasus CVRPTW algoritma GWO dapat diterapkan dan memberikan solusi yang baik maka kasus TSPTW juga dapat diselesaikan dengan algoritma GWO dan diharapkan dapat memberikan solusi yang baik pada kasus TSPTW.

Benchmark untuk penyelesaian kasus TSPTW ini adalah algoritma *Tabu Search* (Carlton dan Barnes, 1996) dan *Compressed Annealing* (Ohlmann dan Thomas, 2007). Pemilihan kedua algoritma ini sebagai *benchmark* karena kedua algoritma ini merupakan *benchmark* yang sering digunakan dalam permasalahan TSPTW, selain itu juga *benchmark* algoritma *Compressed Annealing* merupakan algoritma yang mencapai *best known solution* dari kasus TSPTW yang akan diimplementasikan.

Berdasarkan uraian yang telah dijelaskan sebelumnya, maka permasalahan dalam penelitian ini dapat dirumuskan menjadi sebagai berikut.

1. Bagaimana penerapan *Grey Wolf Optimizer* (GWO) dalam menyelesaikan kasus *Traveling Salesman Problem With Time Windows*?
2. Bagaimana pengaruh parameter *Grey Wolf Optimizer* terhadap performansi algoritma tersebut?
3. Bagaimana perbandingan performansi *Grey Wolf* dengan *Tabu Search* (Carlton dan Barnes, 1996) dan *Compressed Annealing* (Ohlmann dan

Thomas, 2007) dalam menyelesaikan studi kasus hipotetik permasalahan *Traveling Salesman Problem with Time Windows?*

I.3 Batasan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah dan rumusan masalah yang ada, maka terdapat beberapa batasan masalah yang dibuat. Batasan tersebut digunakan agar masalah yang ditinjau menjadi lebih sederhana. Berikut merupakan batasan-batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini.

1. Permasalahan dalam penelitian ini yaitu *traveling salesman problem with time windows* terbatas hanya untuk *benchmark* yang akan dibandingkan.
2. Waktu komputasi bukan merupakan ukuran performansi yang ditinjau.

I.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan masalah yang dirumuskan sebelumnya, tujuan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Dapat menerapkan *Grey Wolf Optimizer (GWO)* dalam menyelesaikan kasus *Traveling Salesman Problem With Time Windows*
2. Mengetahui pengaruh parameter *Grey Wolf Optimizer* terhadap performansi algoritma tersebut
3. Membandingkan performansi *Grey Wolf* dengan *Tabu Search* (Carlton dan Barnes, 1996) dan *Compressed Annealing* (Ohlmann dan Thomas, 2007) dalam menyelesaikan studi kasus hipotetik permasalahan *Traveling Salesman Problem with Time Windows*

I.5 Manfaat Penelitian

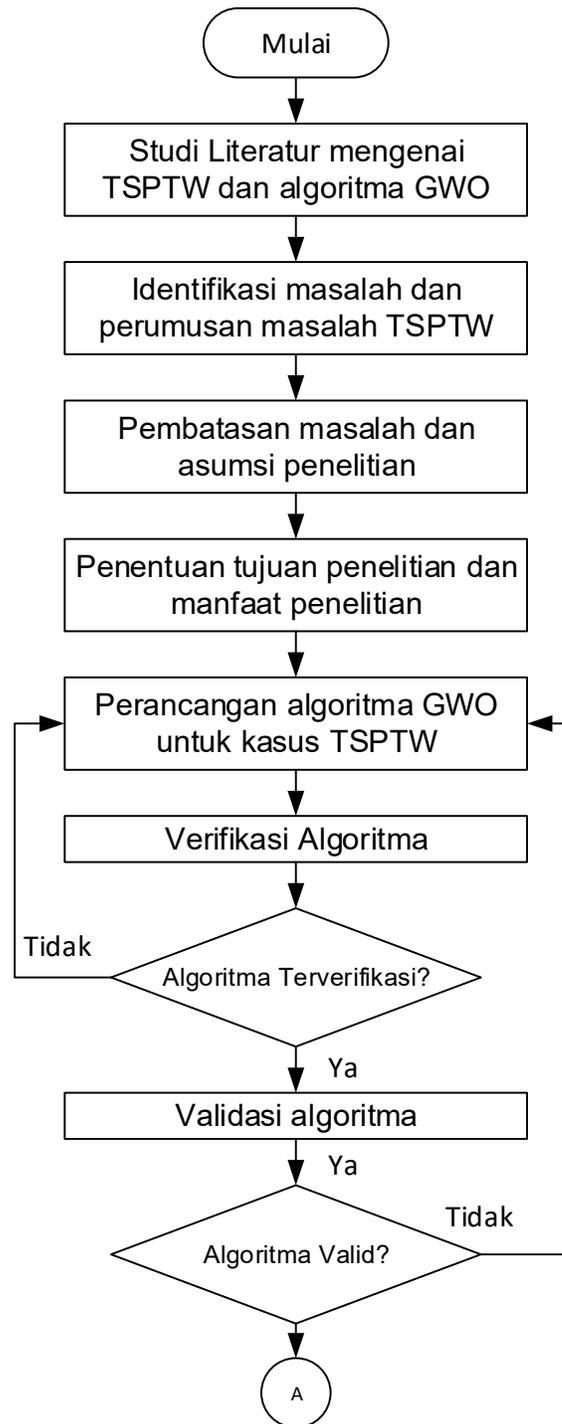
Manfaat penelitian yang ingin dicapai dari melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Meningkatkan wawasan pembaca yang berhubungan dengan algoritma *Grey Wolf Optimizer (GWO)* dalam menyelesaikan masalah *Traveling Salesman Problem with Time Windows*.
2. Memberikan penambahan penggunaan algoritma *Grey Wolf Optimizer (GWO)* dalam penelitian.

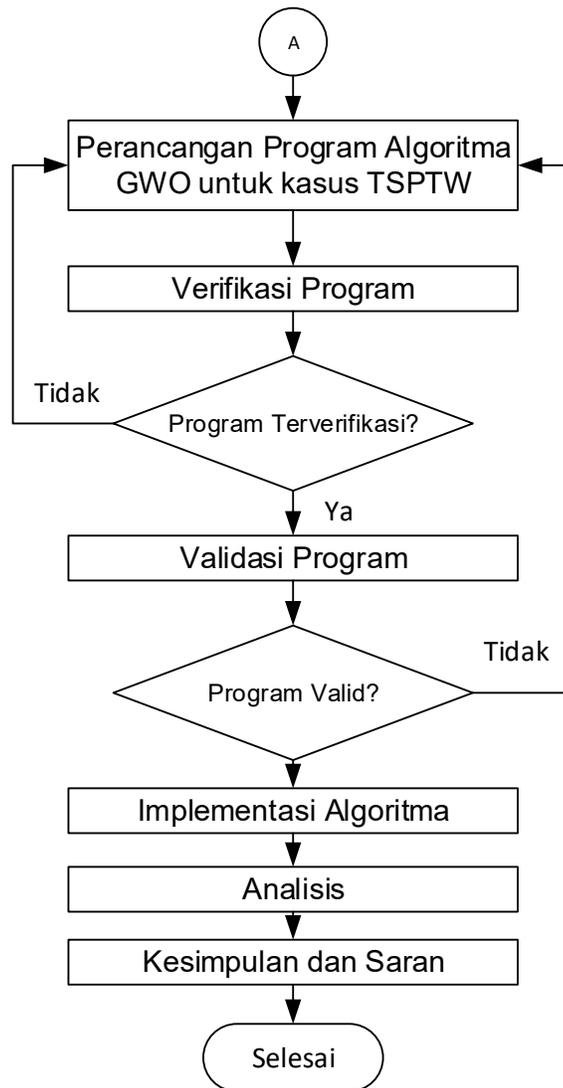
I.6 Metodologi Penelitian

Dalam suatu penelitian terdapat metodologi penelitian yang digunakan. Tahapan metodologi yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur
Tahapan ini berisi pengumpulan sumber-sumber literatur terkait yang berhubungan dengan topik permasalahan yang dibahas. Sumber literatur yang digunakan akan berhubungan dengan TSPTW dan juga mengenai algoritma *Grey Wolf Optimizer*.
2. Identifikasi dan Perumusan Masalah
Tahap ini berisi permasalahan yang muncul dan akan diselesaikan di dalam penelitian ini. Pada akhir tahap ini, akan dirumuskan masalah-masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini.
3. Pembatasan Masalah dan Asumsi
Tahapan ini berisi mengenai pembatasan masalah dan asumsi-asumsi yang digunakan dalam penelitian ini. Pembatasan masalah dilakukan dengan tujuan menjadikan ruang lingkup dari penelitian ini tidak terlalu luas dan penentuan asumsi digunakan juga untuk menyederhanakan masalah atau tidak terlalu kompleks.
4. Penentuan Tujuan dan Manfaat Penelitian
Tahapan ini berisi perumusan tujuan dan manfaat penelitian. Perumusan tujuan dan manfaat penelitian diperlukan agar penelitian yang dilakukan memiliki tujuan dan manfaat yang jelas.
5. Perancangan Algoritma *Grey Wolf Optimizer*
Tahapan ini berisi proses perancangan algoritma *Grey Wolf Optimizer* yang sesuai dengan permasalahan TSPTW. Setelah perancangan usai, kemudian dibuat sebuah program yang berasal dari rancangan algoritma tersebut.
6. Verifikasi Algoritma GWO
Tahapan ini berisi proses verifikasi algoritma. Verifikasi dilakukan untuk memastikan bahwa program yang dibuat sesuai dengan algoritma *Grey Wolf Optimizer* dan dapat diterapkan untuk penyelesaian masalah di dalam penelitian ini.



Gambar I.1. Metodologi Penelitian



Gambar I.1 Metodologi Penelitian (lanjutan)

7. Validasi Algoritma GWO
Proses validasi dilakukan untuk mengetahui apakah program yang dirancang sudah dapat menyelesaikan permasalahan yang ada dan menghasilkan solusi yang baik atau tidak.
8. Implementasi Algoritma dalam Permasalahan
Tahapan ini berisi penggunaan program untuk menyelesaikan kasus TSPTW untuk mendapatkan hasil yang kemudian akan dianalisis di tahap berikutnya.

9. Analisis

Tahapan ini berisi analisis dari implementasi algoritma *Grey Wolf Optimizer* dalam permasalahan. Selain itu, analisis ini akan berisi perbandingan performansi *Grey Wolf Optimizer* dengan algoritma lain yang digunakan untuk menyelesaikan masalah serupa.

10. Kesimpulan dan Saran

Tahapan ini akan berisi kesimpulan dan saran dari hasil penelitian yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya.

I.7 Sistematika Penulisan

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. Literatur yang digunakan meliputi teori tentang *traveling salesman problem with time windows*, metode eksak dalam *traveling salesman problem with time windows*, penjelasan mengenai metode heuristik, penjelasan mengenai metaheuristik, algoritma *Grey Wolf Optimizer*, dan *design of experiment*.

BAB III PERANCANGAN ALGORITMA

Bab ini berisi perancangan dari algoritma *Grey Wolf Optimizer* dalam menyelesaikan permasalahan *traveling salesman problem with time windows*. Bab ini berisi penjelasan mengenai proses perancangan algoritma GWO berdasarkan *pseudo-code* yang ada, proses perancangan *encoding dan decoding*, dan proses verifikasi & validasi algoritma.

BAB IV PENERAPAN ALGORITMA

Bab ini berisi verifikasi dan validasi program algoritma, 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 yaitu algoritma *tabu search* dan *compressed annealing*.

BAB V ANALISIS

Bab ini berisi analisis dari penelitian yang telah disusun. Analisis yang dilakukan meliputi analisis metode *encoding* pada algoritma GWO, analisis perpindahan posisi serigala dalam algoritma GWO, analisis pemilihan parameter dalam pengujian, analisis pengaruh parameter GWO, analisis performansi algoritma GWO dengan algoritma pembanding seperti *tabu search* dan *compressed annealing*..

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dan saran yang didapatkan dari penelitian. Kesimpulan yang didapatkan bertujuan untuk menjawab rumusan masalah pada penelitian ini yang tertera pada bab I. Sedangkan saran diberikan untuk penelitian-penelitian berikutnya yang berkaitan dengan algoritma GWO.