

**PENERAPAN *FOOTBALL GAME ALGORITHM*
UNTUK MENYELESAIKAN *ASYMMETRIC*
*TRAVELLING SALESMAN PROBLEM***

SKRIPSI

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

Disusun oleh:

Nama: Fransiskus Arnold Raharja

NPM: 2013610166



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

**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG**



Nama : Fransiskus Arnold Raharja
NPM : 2013610166
Program Studi : Teknik Industri
Judul Skripsi : *PENERAPAN FOOTBALL GAME ALGORITHM
UNTUK MENYELESAIKAN ASYMMETRIC
TRAVELLING SALESMAN PROBLEM*

TANDA PERSETUJUAN SKRIPSI

Bandung, Juli 2017

Ketua Program Studi Teknik Industri

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

Pembimbing

(Cynthia Prithadevi Juwono, S.T., M.S.)



Program Studi Teknik Industri
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Katolik Parahyangan

Pernyataan Tidak Mencontek atau Melakukan Tindakan Plagiat

Saya, yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Fransiskus Arnold Raharja

NPM : 2013610166

dengan ini menyatakan bahwa Skripsi dengan judul :

*"PENERAPAN FOOTBALL GAME ALGORITHM UNTUK MENYELESAIKAN
ASYMMETRIC TRAVELLING SALESMAN PROBLEM"*

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, 27 JULI 2017

Fransiskus Arnold Raharja

NPM: 2013610166

ABSTRAK

Asymmetric Traveling Salesman Problem atau ATSP adalah sebuah permasalahan optimasi dimana terdapat seorang *salesman* yang memulai perjalanan dari kota asalnya. *Salesman* tersebut hendak mengunjungi kota-kota lainnya dan kembali ke kota asalnya lagi. *Salesman* tersebut mengetahui semua informasi jarak dari suatu kota ke kota lainnya, dan ingin menentukan rute yang paling efisien yang dapat ditempuh. ATSP sendiri merupakan variasi dari *Traveling Salesman Problem* biasa. Pada ATSP, jarak dari kota A ke kota B belum tentu sama dengan jarak dari kota B ke kota A.

Pada penelitian ini, permasalahan ATSP ini diselesaikan menggunakan *Football Game Algorithm* (FGA). FGA merupakan algoritma metaheuristik yang terinspirasi oleh permainan sepak bola. Dalam algoritma ini, diadopsi dua elemen utama permainan sepak bola, yaitu pergerakan pemain dan instruksi pelatih. Para pemain selalu bergerak untuk mencari posisi terbaik terhadap posisi bola maupun posisi pemain lainnya. Dalam algoritma ini, elemen pergerakan pemain mewakili proses eksplorasi solusi yang dapat diatur menggunakan parameter pengatur keacakan θ . Instruksi dari pelatih dianalogikan sebagai proses eksploitasi solusi dan diatur menggunakan tiga buah parameter, yakni γ dan λ yang berfungsi mengatur tingkat eksploitasi, serta *Coach Memory Size* (CMS) yang berfungsi untuk mengatur ukuran dari *Coach Memory* atau memori yang menyimpan instruksi pelatih.

FGA diimplementasikan ke lima buah kasus *benchmark* ATSP dengan menggunakan 16 kombinasi nilai parameter yang berbeda. Penerapan FGA menghasilkan solusi yang sama dengan *best known solution* dari empat kasus dengan jumlah kota 17, 34, 45, dan 56 buah. Pada kasus dengan jumlah kota 71 buah, solusi yang dihasilkan tidak dapat menyamai *best known solution*. Parameter-parameter dari FGA kemudian diuji pengaruhnya terhadap performansi algoritma menggunakan ANOVA multifaktor, dan terbukti bahwa pada semua kasus terdapat interaksi parameter yang mempengaruhi hasil yang didapatkan. Solusi yang dihasilkan FGA juga dibandingkan dengan *New Genetic Algorithm* (NGA), *Improved Discrete Bat Algorithm* (IDBA), dan *Harmony Search Algorithm* (HSA). FGA menunjukkan performansi yang sama atau lebih baik dari algoritma pembandingan untuk empat kasus pertama. Pada kasus dengan kota terbanyak FGA dapat menghasilkan solusi yang lebih baik dari IDBA dan HSA, namun lebih buruk dibandingkan dengan NGA.

ABSTRACT

Asymmetric Traveling Salesman Problem or ATSP is an optimization problem supposing the travels of a salesman who started the journey from his hometown. The salesman is about to visit all the other cities and then return to his hometown. The salesman knows all the information about the distances from one city to another, and wants to determine the most efficient route available. ATSP itself is a variation of the conventional Traveling Salesman Problem. In ATSP, the distance from city A to city B is not necessarily the same as the distance from city B to city A.

In this research, ATSP problem is solved using Football Game Algorithm (FGA). FGA is a metaheuristic algorithm that is inspired by the game of football. This algorithm adopts two main elements of the game of football, namely the movement of players and the manager's instructions. The players always move to find the best positions based on the position of the ball and the position of other players. In this algorithm, the players' movements represent a solution exploration process that can be adjusted using the randomness parameter θ . Instructions of the manager are analogous to the process of exploiting the solution and adjusted using three parameters, namely γ and λ which govern the level of exploitation, and Coach Memory Size (CMS) which serves to adjust the size of Coach Memory or memory that stores the manager's instructions.

FGA is implemented onto five ATSP benchmark cases using 16 combinations of different parameter values. The application of FGA resulted in the best known solution for four cases of 17, 34, 45, and 56 cities. In the case of 71 cities, the resulting solution cannot match the best known solution. The parameters of the FGA were then tested for their effect on the performance of the algorithm using multifactorial ANOVA, and it was proved that in all cases there were interactions of parameters which affected the results obtained. The resulting FGA solution is also compared with New Genetic Algorithm (NGA), Improved Discrete Bat Algorithm (IDBA), and Harmony Search Algorithm (HSA). FGA shows the same or better performance with the benchmarking algorithms for the first four cases. In the case with most cities FGA can produce better solutions than IDBA and HSA, but worse than NGA.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya haturkan kepada Tuhan Yang Maha Esa. Atas rahmat dan berkat-Nya, skripsi ini dapat diselesaikan dengan lancar dan tepat waktu. Skripsi ini dimulai dari semester ketujuh dengan proses pembuatan proposal dari bulan November 2016 dan selesai pada bulan Juli 2017 dalam bentuk laporan yang sudah lengkap. Penulis memperoleh banyak ilmu dan pengalaman dalam proses pembuatan skripsi yang menjadi proyek terakhir selama masa perkuliahan di Teknik Industri UNPAR.

Dalam proses penyusunan skripsi, penulis mendapatkan bantuan baik berupa saran maupun dorongan dari banyak pihak. Melalui halaman ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orangtua penulis yang telah membesarkan penulis dan menjadi pendukung utama penulis dalam kehidupan hingga dapat mencapai tahap akhir perkuliahan.
2. Ibu Cynthia Prithadevi Juwono, Ir. M.S. selaku dosen pembimbing penulis. Beliau telah membantu penulis semenjak masa menjadi Asisten Laboratorium Statistika Industri sejak tahun 2015. Beliau telah menuntun setiap langkah penulis dalam proses penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Y.M. Kinley Aritonang, Ph.D. dan Bapak Alfian, S.T., M.T. selaku dosen penguji proposal skripsi. Saran dan masukan para dosen sangat membantu penulis dalam menyempurnakan skripsi ini.
4. Keluarga penulis di Jakarta, kakak-kakak, nenek, keponakan, dan saudara-saudari yang selalu memberikan dukungan kepada penulis.
5. Elyas Fadakar selaku pembuat algoritma yang digunakan pada penelitian ini. Beliau telah bersedia membantu penulis melalui korespondensi *e-mail* dalam tahap awal penelitian.
6. Adrianus sebagai teman seperjuangan skripsi yang sama-sama menerapkan algoritma FGA dan senantiasa bertukar pikiran dengan penulis dalam proses pembuatan skripsi ini.
7. Deva sebagai teman seperjuangan yang sama-sama menyelesaikan kasus ATSP dan membantu penulis dalam proses pembuatan program.

8. PK, Felix, Agnes Monica, dan Ricky, teman-teman seperjuangan skripsi algoritma yang selalu memberikan saran dan masukan kepada penulis.
9. Hendra sebagai teman satu kost yang selalu menghabiskan waktu luang bersama penulis, termasuk menjadi teman bermain FIFA di rental.
10. Tarra dan Alvin sebagai sahabat-sahabat penulis yang bersama-sama penulis melakukan Kerja Praktek dan selalu menjadi tempat berbincang dan bercanda bagi penulis dalam suka maupun duka.
11. Teman-teman grup futsal kelas A yang selalu mencari dan menemukan cara untuk tertawa bersama-sama penulis.
12. Segenap teman-teman kelas A yang selama empat tahun menjadi sahabat penulis dalam menempuh kehidupan di TI UNPAR. Nama-nama mereka tidak dapat penulis tuliskan satu per satu, namun penulis bersyukur dan berterimakasih atas kenangan, bantuan, dan dorongan yang diberikan sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.
13. Para dosen Teknik Industri UNPAR yang telah membimbing penulis dalam menuntut ilmu di TI UNPAR.
14. Semua teman-teman Teknik Industri UNPAR, terutama angkatan 2013, yang telah membantu penulis dalam menjalani perkuliahan.
15. Pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu per satu dan membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung.

Penulis berdoa semoga Tuhan memberkati dan membalas kebaikan kalian semua atas segala bentuk bantuan yang telah diberikan. Skripsi yang disusun ini masih memiliki banyak kekurangan. Untuk itu, penulis mohon maaf atas kesalahan-kesalahan yang dilakukan, dan bersedia menerima segala bentuk kritikan dan saran atas skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Terima kasih.

Bandung, Juli 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 Perumusan Masalah	I-2
I.3 Pembatasan Masalah	I-5
I.4 Tujuan Penelitian	I-5
I.5 Manfaat Penelitian	I-6
I.6 Metodologi Penelitian	I-6
I.7 Sistematika Penulisan.....	I-8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	II-1
II.1 <i>Asymmetric Travelling Salesman Problem</i>	II-1
II.2 <i>Football Game Algorithm</i>	II-2
II.3 Metode <i>Encoding Random-key</i>	II-7
II.4 Algoritma <i>Two-Exchange</i>	II-8
II.5 Desain Eksperimen.....	II-9
II.6 Uji Tukey.....	II-11
BAB III PERANCANGAN ALGORITMA	III-1
III.1 <i>Encoding dan Decoding</i>	III-1
III.2 Perhitungan Jarak Antarpemain.....	III-3
III.3 Identifikasi Pemain dengan Bola	III-4
III.4 Penentuan Posisi Terdekat-Terbaik	III-5
III.5 Perubahan Posisi Pemain Menuju Bola	III-6
III.6 Perubahan Posisi Pemain Sesuai Instruksi Pelatih	III-8
III.7 <i>Local Improvement</i> dengan Algoritma <i>Two-Exchange</i>	III-9

III.8 Perancangan <i>Football Game Algorithm</i> untuk <i>Asymmetric Travelling Salesman Problem</i>	III-14
III.8.1 Notasi Algoritma	III-14
III.8.2 Rancangan Algoritma Utama FGA (Algoritma A).....	III-16
III.8.3 Algoritma Perhitungan Nilai Fitness (Algoritma B)	III-19
III.8.4 Algoritma Pengurutan Pemain dan Penyimpanan Solusi Terbaik (Algoritma C)	III-24
III.8.5 Algoritma Penentuan Anggota <i>Coach Memory</i> (Algoritma D)	III-26
III.8.6 Algoritma Identifikasi Pemain dengan Bola (Algoritma E).....	III-28
III.8.7 Algoritma Perubahan Posisi Pemain (Algoritma F).....	III-30
III.8.8 Algoritma Perhitungan Jarak Antarpemain (Algoritma G)	III-33
III.8.9 Algoritma Penentuan Posisi Terdekat-Terbaik (Algoritma H)	III-34
III.8.10 Algoritma <i>Local Improvement</i> (Algoritma I).....	III-36
III.9 Verifikasi dan Validasi Algoritma	III-38
BAB IV IMPLEMENTASI ALGORITMA	IV-1
IV.1 Verifikasi dan Validasi Program Komputer.....	IV-1
IV.2 Implementasi <i>Football Game Algorithm</i> (FGA) pada Kasus ATSP...IV-4	
IV.2.1 Penentuan Nilai Parameter <i>Football Game Algorithm</i>	IV-5
IV.2.2 Penerapan FGA pada Kasus BR17	IV-8
IV.2.3 Penerapan FGA pada Kasus FTV33	IV-9
IV.2.4 Penerapan FGA pada Kasus FTV44	IV-9
IV.2.5 Penerapan FGA pada Kasus FTV55	IV-10
IV.2.6 Penerapan FGA pada Kasus FTV70	IV-11
IV.3 Pengujian Parameter Algoritma	IV-12
IV.4 Perbandingan <i>Football Game Algorithm</i> dengan Algoritma Perbandingan.....	IV-14
BAB V ANALISIS	V-1
V.1 Analisis Perancangan Algoritma	V-1
V.1.1 Analisis <i>Encoding</i> dan <i>Decoding</i>	V-1
V.1.2 Analisis Proses Penentuan Pemain	V-2
V.1.3 Analisis Perubahan Posisi Pemain.....	V-4
V.1.4 Analisis <i>Local Improvement</i> dengan Algoritma <i>Two-Exchange</i> .	V-5
V.2 Analisis Parameter <i>Football Game Algorithm</i>	V-6

V.2.1 Analisis Interaksi Parameter θ dan γ	V-6
V.2.2 Analisis Interaksi Parameter θ dan λ	V-8
V.2.3 Analisis Interaksi Parameter θ dan CMS	V-9
V.2.4 Analisis Interaksi Parameter γ , λ , dan CMS.....	V-10
V.3 Analisis Performansi <i>Football Game Algorithm</i>	V-11
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	VI-1
VI.1 Kesimpulan	VI-1
VI.2 Saran	VI-2
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	
RIWAYAT HIDUP PENULIS	

DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Tabel Perhitungan ANOVA	II-11
Tabel III.1 Matriks Jarak Antarkota pada Permasalahan ATSP	III-1
Tabel III.2 Ilustrasi Vektor Empat Dimensi.....	III-2
Tabel III.3 Vektor Posisi Pemain 1 dan 2	III-2
Tabel III.4 Vektor Posisi Pemain 1 dan 2 (Terurut).....	III-2
Tabel III.5 Perhitungan Total Jarak.....	III-3
Tabel III.6 Perhitungan Nilai <i>Fitness</i>	III-4
Tabel III.7 Peluang Menerima Bola	III-5
Tabel III.8 Vektor Posisi Pemain 1, 2, dan 3.....	III-6
Tabel III.9 Jarak Euclidean dari Pemain 3 ke Pemain 1 dan Pemain 2.....	III-6
Tabel III.10 Vektor Posisi Pemain Terdekat-Terbaik bagi Pemain 3.....	III-6
Tabel III.11 Vektor Posisi Pemain <i>i</i> dan Bola	III-7
Tabel III.12 Vektor Posisi Pemain <i>i</i> pada Iterasi <i>t</i> dan <i>t</i> -1 setelah Bergerak Menuju Bola.....	III-8
Tabel III.13 Vektor Posisi Pemain Terdekat-Terbaik	III-8
Tabel III.14 Vektor Posisi Pemain <i>i</i> pada Iterasi <i>t</i> dan <i>t</i> -1 setelah Bergerak Sesuai Instruksi	III-9
Tabel III.15 Vektor Posisi Pemain <i>i</i> Setelah Melakukan Perubahan Posisi.....	III-10
Tabel III.16 Perhitungan Nilai <i>Fitness</i> Pemain <i>i</i>	III-10
Tabel III.17 Vektor Posisi Pemain <i>i</i> Setelah <i>Local Improvement</i>	III-14
Tabel III.18 Matriks Jarak Permasalahan ATSP Sederhana	III-39
Tabel III.19 Matriks Posisi Awal Pemain	III-39
Tabel III.20 Matriks Posisi Awal Pemain Sebelum Diurutkan	III-40
Tabel III.21 Matriks Urutan Kota Awal.....	III-40
Tabel III.22 Matriks Posisi Pemain Terurut dari Kecil ke Besar	III-41
Tabel III.23 Matriks Urutan Kota Terurut	III-41
Tabel III.24 Matriks Nilai <i>Fitness</i> Pemain	III-42
Tabel III.25 Matriks Nilai <i>Fitness</i> Pemain Terurut.....	III-43
Tabel III.26 Matriks Posisi Pemain Terurut Berdasarkan Nilai <i>Fitness</i>	III-43
Tabel III.27 Matriks CM Awal	III-43

Tabel III.28 Matriks CM Akhir.....	III-44
Tabel III.29 Matriks Nilai <i>Fitness</i> Pemain CM.....	III-44
Tabel III.30 Matriks Probabilitas Kumulatif	III-45
Tabel III.31 Vektor Posisi Pemain dengan Bola	III-45
Tabel III.32 Matriks Jarak Antarpemain.....	III-46
Tabel III.33 Hasil Pengacakan Nilai Beta	III-47
Tabel III.34 Hasil Pengacakan Nilai Epsilon.....	III-47
Tabel III.35 Matriks Posisi Pemain 0 Iterasi 1	III-47
Tabel III.36 Matriks Posisi Pemain 3 Setelah Berpindah Posisi.....	III-49
Tabel III.37 Matriks Posisi Semua Pemain Setelah Berpindah Posisi	III-49
Tabel III.38 Matriks Nilai <i>Fitness</i> Sebelum <i>Local Improvement</i>	III-49
Tabel III.39 Kemungkinan Urutan Kota Pemain 0 dengan Penyisipan Kota 3	III-50
Tabel III.40 Kemungkinan Urutan Kota Pemain 0 dengan Penyisipan Kota 2	III-50
Tabel III.41 Matriks Urutan Kota Pemain 0 Setelah <i>Local Improvement</i>	III-51
Tabel III.42 Matriks Posisi Pemain 0 Setelah <i>Local Improvement</i>	III-51
Tabel III.43 Matriks Urutan Kota Setelah <i>Local Improvement</i>	III-51
Tabel III.44 Matriks Posisi Setelah <i>Local Improvement</i>	III-51
Tabel III.45 Matriks Urutan Kota pada Akhir Iterasi Kedua.....	III-52
Tabel III.46 Matriks Posisi pada Akhir Iterasi Kedua	III-52
Tabel IV.1 Rekapitulasi Hasil <i>Running</i> Program.....	IV-3
Tabel IV.2 Rekapitulasi Kasus ATSP	IV-4
Tabel IV.3 Rekapitulasi Kombinasi Parameter FGA.....	IV-7
Tabel IV.4 Rekapitulasi Penerapan FGA terhadap Kasus BR17	IV-8
Tabel IV.5 Rekapitulasi Penerapan FGA terhadap Kasus FTV33	IV-9
Tabel IV.6 Rekapitulasi Penerapan FGA terhadap Kasus FTV44	IV-10
Tabel IV.7 Rekapitulasi Penerapan FGA terhadap Kasus FTV55	IV-11
Tabel IV.8 Rekapitulasi Penerapan FGA terhadap Kasus FTV70	IV-12
Tabel IV.9 Rekapitulasi Hasil Pengujian ANOVA.....	IV-15
Tabel IV.10 Rekapitulasi Nilai Interaksi Parameter Terbaik	IV-17
Tabel IV.11 Perbandingan Solusi Terbaik Kasus ATSP	IV-18

DAFTAR GAMBAR

Gambar I.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian	I-8
Gambar II.1 Strategi Menyerang dalam Sepak Bola	II-3
Gambar II.2 Pergantian Pemain dalam Sepak Bola	II-3
Gambar II.3 Representasi Grafis <i>Hyper Radius Penalty Method</i>	II-5
Gambar II.4 Representasi Grafis <i>Fitness Penalty Method</i>	II-6
Gambar II.5 <i>Pseudo-Code</i> dari <i>Football Game Algorithm</i>	II-7
Gambar II.6 Ilustrasi Metode <i>Random-key</i>	II-7
Gambar II.7 Ilustrasi Langkah Algoritma <i>Two-Exchange</i> : (a) Rute awal, (b) Rute yang dihasilkan	II-8
Gambar III.1 Penukaran Urutan Kota dengan Menyisipkan Kota B.....	III-11
Gambar III.2 Penukaran Urutan Kota dengan Menyisipkan Kota C.....	III-11
Gambar III.3 Penukaran Urutan Kota dengan Menyisipkan Kota A.....	III-12
Gambar III.4 Penukaran Urutan Kota dengan Menyisipkan Kota D.....	III-13
Gambar III.5 Algoritma Utama FGA.....	III-17
Gambar III.6 Algoritma Perhitungan Nilai <i>Fitness</i>	III-20
Gambar III.7 Algoritma Pengurutan Pemain dan Penyimpanan Solusi Terbaik	III-25
Gambar III.8 Algoritma Penentuan Anggota <i>Coach Memory</i>	III-27
Gambar III.9 Algoritma Identifikasi Pemain dengan Bola	III-29
Gambar III.10 Algoritma Perubahan Posisi Pemain.....	III-32
Gambar III.11 Algoritma Perhitungan Jarak Antarpemain	III-34
Gambar III.12 Algoritma Penentuan Posisi Terdekat-Terbaik	III-35
Gambar III.13 Algoritma <i>Local Improvement</i>	III-37
Gambar IV.1 Tampilan <i>Input Program</i>	IV-2
Gambar IV.2 Tampilan <i>Output Program</i>	IV-3
Gambar IV.3 Hasil Uji Tukey Kasus FTV33.....	IV-16

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	MATRIKS JARAK KASUS ATSP	A-1
Lampiran B	REKAPITULASI PENERAPAN FGA	B-1
Lampiran C	HASIL PENGUJIAN ANOVA	C-1
Lampiran D	<i>INTERACTION PLOT</i>	D-1

BAB I

PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang tahap pendahuluan dari penelitian yang dilakukan. Pada bab ini dijelaskan tentang latar belakang masalah, identifikasi dan perumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta metodologi penelitian yang digunakan.

I.1 Latar Belakang Masalah

Manusia memiliki berbagai macam kebutuhan sehari-hari yang harus dipenuhi. Salah satu pekerjaan yang dilakukan oleh manusia di kehidupan nyata adalah memasarkan produk sebagai seorang *salesman*. Sejak dahulu, seorang *salesman* melakukan pemasaran produk-produk tersebut dengan cara menawarkan produk secara *door-to-door* dari satu tempat ke tempat lainnya. Perjalanan *salesman* tersebut membutuhkan biaya, dan biaya tersebut meningkat seiring dengan meningkatnya jarak yang ditempuh. Diperlukan rute yang optimum dalam rangka meminimasi jarak dan biaya yang diperlukan oleh *salesman* tersebut. Salah satu permasalahan optimasi yang serupa dengan masalah yang sering ditemui di kehidupan nyata tersebut adalah masalah *Travelling Salesman Problem* (TSP).

Permasalahan TSP dikembangkan oleh Lawler, Lenstra, Kan, dan Shmoys pada tahun 1985 (Lawler, Lenstra, Kan, & Shmoys, 1985). TSP sendiri merupakan sebuah permasalahan optimasi dimana terdapat seorang *salesman* yang memulai perjalanan dari kota asalnya. *Salesman* tersebut hendak mengunjungi kota-kota lainnya dan kembali ke kota asalnya lagi. *Salesman* tersebut mengetahui semua informasi jarak dari suatu kota ke kota lainnya, namun belum tentu mampu menggunakan informasi tersebut untuk meminimasi jarak yang ditempuh.

TSP sendiri terbagi menjadi dua *subproblem*, yaitu STSP (*Symmetric Travelling Salesman Problem*) dan ATSP (*Asymmetric Travelling Salesman Problem*) (Gutin & Punnen, 2007). STSP merupakan permasalahan TSP konvensional dimana jarak dari kota A ke kota B sama dengan jarak dari kota B

ke kota A, sedangkan ATSP merupakan variasi dari TSP dimana jarak dari kota A ke kota B belum tentu sama dengan jarak dari kota B ke kota A.

ATSP merupakan varian TSP yang lebih mirip dengan keadaan di dunia nyata. Pada kenyataannya jarak dari kota A ke kota B biasanya tidak sama dengan jarak dari kota B ke kota A. Misalnya, jarak dari kota A ke kota B hanya satu kilometer, namun jarak dari kota B ke kota A adalah dua kilometer karena harus melewati jalan memutar. Dengan demikian, ATSP merupakan model permasalahan TSP yang lebih merepresentasikan keadaan di dunia nyata dibandingkan STSP.

ATSP sendiri tergolong dalam permasalahan *Non-deterministic Polynomial-time Hard (NP-Hard) problem* sehingga sulit dipecahkan menggunakan metode eksak. Penyelesaian permasalahan dengan ukuran sedang dengan menggunakan metode eksak saja membutuhkan waktu yang sangat lama dibandingkan dibandingkan dengan metode heuristik (Gutin & Punnen, 2007). Karena itu, dikembangkan algoritma heuristik ataupun metaheuristik untuk menyelesaikan masalah *NP-Hard*, termasuk ATSP.

I.2 Identifikasi dan Perumusan Masalah

Dalam menyelesaikan sebuah masalah, diharapkan dapat ditemukan sebuah solusi optimal. Untuk mencari solusi optimal tersebut, dapat digunakan metode eksak, metode heuristik, atau metode metaheuristik. Metode eksak merupakan metode yang dapat menemukan solusi optimal dari permasalahan ATSP. Metode yang digunakan adalah *dynamic programming* dan *branch and bound* (Gutin & Punnen, 2007). Namun, kelemahan dari metode eksak ini adalah waktu penyelesaian yang lama karena tingkat kesulitan ATSP yang tergolong ke dalam permasalahan *NP-Hard*.

Metode pencarian solusi optimal yang membutuhkan waktu lebih sedikit daripada metode eksak adalah metode heuristik atau metaheuristik. Dalam buku Gutin dan Punnen (2007), dijelaskan tentang metode heuristik yang digunakan untuk memecahkan permasalahan ATSP. Metode-metode tersebut antara lain *Nearest Neighbor*, *Greedy*, *Patch*, *Repeated Assignment*, *Contract or Patch*, dan *Zhang's Heuristic*.

ATSP merupakan permasalahan yang sering dibahas dan dipelajari dalam dunia penelitian operasional (Osaba, et al., 2016). Seperti telah dijelaskan

sebelumnya, ATSP tergolong sebagai permasalahan *NP-Hard* sehingga sulit dipecahkan oleh metode eksak. Menurut Gutin dan Punnen (2007), penggunaan metode eksak dalam memecahkan TSP memerlukan waktu komputasi yang amat lama sehingga tidak *feasible*. Karena itu, sifat *NP-Hard* ini menjadi faktor utama dari diangkatnya ATSP dalam berbagai macam penelitian, termasuk penelitian ini. ATSP sendiri dari tahun ke tahun menjadi permasalahan *benchmark* yang sering diangkat dalam penelitian-penelitian penerapan metode heuristik dan metaheuristik untuk memecahkan masalah diskrit.

Kelebihan dari metode heuristik dan metaheuristik adalah waktu komputasi yang jauh lebih sedikit dibandingkan metode eksak (Gutin & Punnen, 2007). Selain waktu pemecahan masalah yang lebih sedikit, solusi yang ditemukan juga optimal ataupun mendekati optimal untuk permasalahan dengan skala yang lebih besar daripada permasalahan yang telah dipecahkan dengan metode eksak. Contoh dari metode heuristik adalah metode pencarian lokal (*local search*) yang berhenti setelah menemukan solusi optimum lokal. Namun, metode metaheuristik memodifikasi metode pencarian lokal tersebut dengan mengombinasikannya dengan metode pencarian global (*global search*) untuk menghasilkan ruang solusi yang jauh lebih banyak.

Metode metaheuristik yang pernah digunakan untuk menyelesaikan permasalahan ATSP antara lain *New Genetic Algorithm* (Nagata & Soler, 2012) *Improved Discrete Bat Algorithm* (Osaba, Yang, Diaz, Garcia, & Carballedo, 2016), dan *Harmony Search Algorithm* (Kevin, 2017). Ketiga algoritma metaheuristik tersebut menghasilkan solusi yang baik, namun pemecahan permasalahan ATSP tidak terbatas pada tiga metode tersebut. Metode metaheuristik lainnya dicoba untuk memecahkan permasalahan ATSP dalam rangka menemukan hasil solusi yang lebih baik dari metode-metode sebelumnya.

Football Game Algorithm (FGA) dikembangkan oleh Fadakar dan Ebrahimi dan pertama kali diperkenalkan pada tahun 2016 (Fadakar & Ebrahimi, 2016). FGA merupakan algoritma metaheuristik yang terinspirasi oleh permainan sepak bola. Dalam algoritma ini, diadopsi dua elemen utama permainan sepak bola. Elemen pertama adalah pergerakan para pemain, sedangkan elemen kedua adalah *coaching* atau instruksi yang diberikan pelatih yang terdiri dari strategi menyerang dan strategi pergantian pemain. Para pemain selalu bergerak

untuk mencari posisi terbaik terhadap posisi bola maupun posisi pemain lainnya. Pemain dengan posisi terbaik dianalogikan sebagai pemain yang memiliki tingkat *fitness* yang rendah pada sebuah masalah minimasi.

Dalam algoritma ini, beberapa pemain dengan jumlah pemain yang tidak berubah senantiasa melakukan pergerakan dengan *step size* bernilai α . Elemen pergerakan pemain dianalogikan sebagai *global search* atau proses eksplorasi yang dapat diatur menggunakan parameter pengatur keacakan θ . Instruksi dari pelatih (yang disimpan dalam sebuah *Coach Memory* atau CM) dianalogikan sebagai proses *local search* atau eksploitasi dan diatur menggunakan parameter γ dan λ yang berperan sebagai konstanta pengurangan *Hyper Radius Limitation Value* (HRLV) dan *Fitness Limitation Value* (FLV), serta *Coach Memory Size* (CMS) yang berfungsi untuk mengatur ukuran dari CM. Dengan mengubah nilai dari parameter-parameter tersebut, maka proses eksplorasi dan eksploitasi yang dilakukan dapat disesuaikan dengan kasus yang akan dipecahkan. Dengan kata lain, perubahan nilai parameter turut memengaruhi performansi FGA.

Sebagai algoritma yang baru diperkenalkan, FGA belum digunakan untuk memecahkan permasalahan optimasi diskrit. Namun, Fadakar dan Ebrahimi dalam jurnalnya menyelesaikan beberapa fungsi *benchmark* dan membandingkan performansi algoritma FGA dengan algoritma metaheuristik jenis *swarm* lainnya, seperti algoritma PSO (*Particle Swarm Optimization*), *Modified PSO*, dan *Bat Algorithm* (Fadakar & Ebrahimi, 2016). Hasil pengujian algoritma tersebut memperlihatkan bahwa FGA menghasilkan solusi yang lebih *robust* dari algoritma metaheuristik lainnya, meskipun belum tentu menghasilkan solusi yang lebih optimal.

Menurut Fadakar dan Ebrahimi (2016), algoritma metaheuristik yang terinspirasi permainan sepakbola ini memiliki kelebihan yang jelas dibandingkan algoritma metaheuristik lainnya yang terinspirasi oleh perilaku sekumpulan hewan di alam bebas. Kelebihan yang dimaksud adalah algoritma ini menawarkan simulasi kerjasama pemain dibantu dengan instruksi pelatih untuk mencapai suatu tujuan yang spesifik. Tujuan tersebut lebih jelas dari simulasi perilaku sekumpulan hewan di alam bebas yang diperkirakan memiliki kecerdasan kolektif. Ditambah dengan penerapan dua macam strategi, diharapkan dapat dicapai keseimbangan antara proses eksplorasi dan eksploitasi dalam memecahkan berbagai macam masalah.

Dalam penelitian ini, algoritma metaheuristik *Football Game Algorithm* (FGA) digunakan untuk memecahkan masalah ATSP. Diharapkan solusi yang dapat diberikan oleh algoritma ini lebih baik daripada solusi-solusi sebelumnya. Rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana penerapan *Football Game Algorithm* dalam memecahkan permasalahan *Asymmetric Travelling Salesman Problem*?
2. Bagaimana pengaruh parameter-parameter yang terdapat pada *Football Game Algorithm* terhadap performansi *Football Game Algorithm*?
3. Bagaimana perbandingan solusi dari permasalahan *benchmark* yang pernah diselesaikan menggunakan *New Genetic Algorithm* (Nagata & Soler, 2012), *Improved Discrete Bat Algorithm* (Osaba, et al., 2016), dan *Harmony Search Algorithm* (Kevin, 2017) dalam memecahkan permasalahan *Asymmetric Travelling Salesman Problem*?

I.3 Pembatasan Masalah

Dalam penelitian penerapan *Football Game Algorithm* terhadap permasalahan *Asymmetric Travelling Salesman Problem*, pembatasan masalah yang digunakan sebagai berikut:

1. Permasalahan yang diselesaikan terbatas pada kasus *benchmark* yang sering digunakan.
2. Waktu penyelesaian permasalahan tidak menjadi ukuran performansi dari algoritma yang diterapkan.

I.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan identifikasi dan perumusan masalah yang telah dilakukan, tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Menerapkan *Football Game Algorithm* untuk menyelesaikan permasalahan *Asymmetric Travelling Salesman Problem*.
2. Mengetahui pengaruh parameter-parameter dari *Football Game Algorithm* terhadap performansinya.
3. Membandingkan solusi pada permasalahan *benchmark* yang pernah diselesaikan menggunakan *New Genetic Algorithm* (Nagata & Soler, 2012), *Improved Discrete Bat Algorithm* (Osaba, et al., 2016), dan *Harmony Search Algorithm* (Kevin, 2017).

I.5 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian yang hendak dicapai, manfaat dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Menambah pengetahuan mengenai penerapan *Football Game Algorithm* dalam menyelesaikan permasalahan *Asymmetric Travelling Salesman Problem*.
2. Menambah referensi tentang penelitian yang berkaitan dengan *Football Game Algorithm* maupun permasalahan *Asymmetric Travelling Salesman Problem*.

I.6 Metodologi Penelitian

Dalam penelitian mengenai penerapan *Football Game Algorithm* untuk memecahkan permasalahan *Asymmetric Travelling Salesman Problem*, dibutuhkan metodologi penelitian sebagai kerangka acuan pengerjaan penelitian tersebut. Metodologi penelitian yang digunakan dapat dilihat pada Gambar I.1.

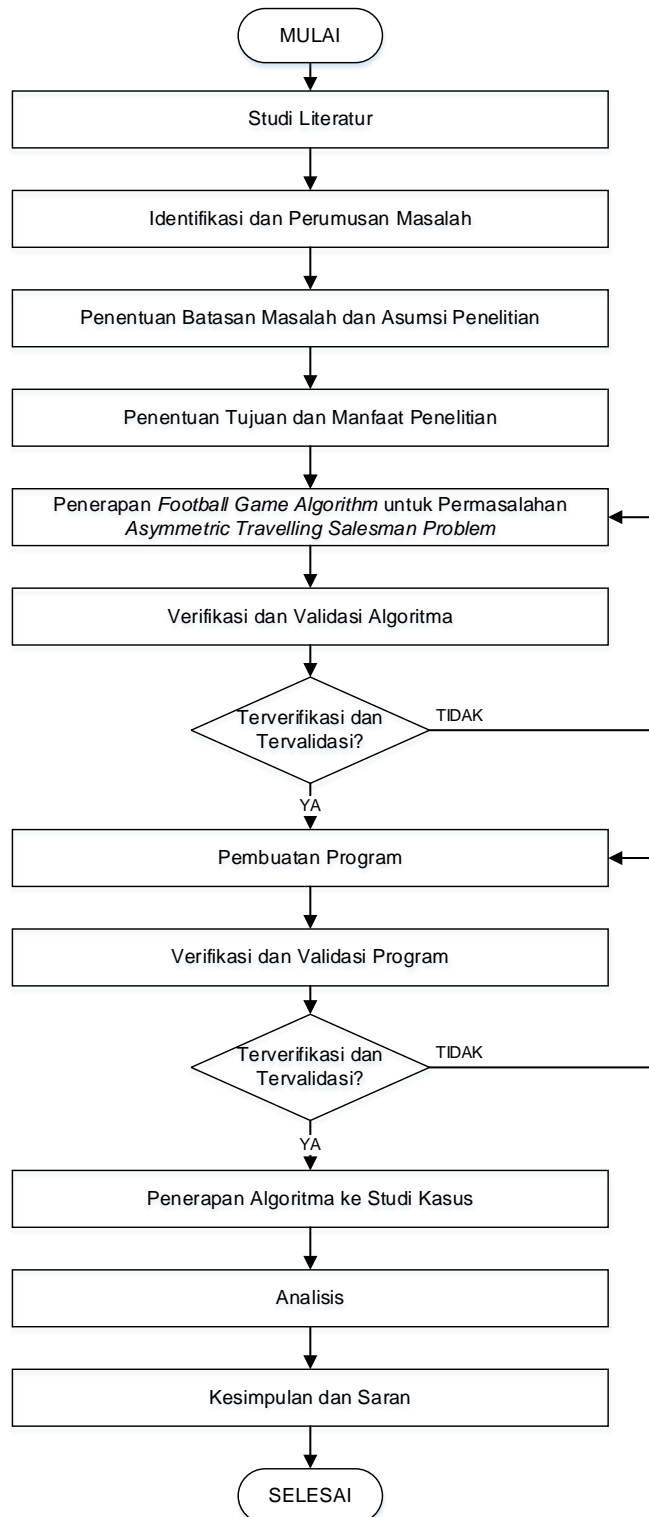
Langkah-langkah dari metodologi penelitian yang digunakan sebagai berikut:

1. Studi Literatur
Studi literatur dilakukan dalam rangka menggali informasi secara lebih mendalam mengenai algoritma dan permasalahan yang diteliti, yaitu *Football Game Algorithm* dan *Asymmetric Travelling Salesman Problem* dari sumber-sumber informasi terkait seperti buku, artikel jurnal, penelitian, atau referensi-referensi lainnya.
2. Identifikasi dan Perumusan Masalah
Selanjutnya, dilakukan identifikasi terhadap masalah-masalah yang timbul. Dari identifikasi, dirumuskan masalah berdasarkan algoritma yang digunakan dalam penelitian dan identifikasi yang telah dilakukan.
3. Penentuan Batasan Masalah dan Asumsi Penelitian
Masalah yang telah dirumuskan kemudian dibatasi untuk memperkecil lingkup penelitian. Selain itu diberikan asumsi-asumsi dalam penelitian tersebut dalam rangka membantu penelitian yang dilakukan.
4. Penentuan Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dan manfaat penelitian ditetapkan untuk memastikan bahwa penelitian yang dilakukan memiliki tujuan yang terarah dan bermanfaat bagi banyak pihak.

5. Perancangan *Football Game Algorithm* untuk Permasalahan *Asymmetric Travelling Salesman Problem*
Football Game Algorithm dirancang untuk menyelesaikan permasalahan *Asymmetric Travelling Salesman Problem*.
6. Verifikasi dan Validasi Algoritma
Dilakukan verifikasi dan validasi terhadap *Football Game Algorithm* yang telah dirancang dan dikembangkan untuk memastikan bahwa permasalahan *Asymmetric Travelling Salesman Problem* dapat diselesaikan dengan menggunakan algoritma tersebut. Bila terverifikasi dan valid, maka dapat dilanjutkan dengan pembuatan program, sedangkan bila tidak maka perlu dilakukan perbaikan pada langkah sebelumnya, yakni perancangan algoritma.
7. Pembuatan Program
Football Game Algorithm yang telah diverifikasi dan divalidasi tersebut kemudian dibuat program komputernya dalam rangka menghasilkan solusi yang tepat untuk menyelesaikan permasalahan ATSP.
8. Verifikasi dan Validasi Program
Setelah membuat program, dilakukan verifikasi dan validasi program sehingga sesuai dengan algoritma yang telah dirancang. Bila terverifikasi dan valid, maka dapat dilanjutkan dengan penerapan algoritma, sedangkan bila tidak maka perlu dilakukan perbaikan pada langkah sebelumnya, yakni pembuatan program.
9. Penerapan Algoritma ke Studi Kasus
Dengan menggunakan program yang terverifikasi dan valid, kemudian diterapkan algoritma secara terkomputerisasi untuk menghasilkan solusi optimal dan melakukan *benchmarking* dengan algoritma lainnya.
10. Analisis
Dilakukan analisis terhadap performansi *Football Game Algorithm* serta parameter-parameter yang berpengaruh dalam menyelesaikan permasalahan *Asymmetric Travelling Salesman Problem*.
11. Kesimpulan dan Saran

Penarikan kesimpulan dilakukan untuk menjawab rumusan masalah dan memberikan saran terhadap penelitian yang telah dilakukan.



Gambar I.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian

I.7 Sistematika Penulisan

Penulisan laporan penelitian ini akan terdiri dari beberapa bagian. Subbab ini berisi garis besar dari penelitian yang dilakukan. Sistematika penulisan laporan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang tahap pendahuluan dari penelitian yang dilakukan. Pada bab ini dijelaskan tentang latar belakang masalah, identifikasi dan perumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan laporan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini akan membahas dasar teori yang dipakai dan dibutuhkan dalam membahas dan menyelesaikan permasalahan dalam penelitian ini. Tinjauan pustaka tersebut meliputi permasalahan *Travelling Salesman Problem Football Game Algorithm* yang akan dirancang, metode *encoding*, algoritma *two-exchange*, dan desain eksperimen.

BAB III PERANCANGAN ALGORITMA

Algoritma dirancang agar dapat menyelesaikan permasalahan. *Asymmetric Travelling Salesman Problem (ATSP)*. Langkah-langkah perancangan tersebut terdiri dari *encoding* dan *decoding*, komponen-komponen algoritma, perubahan posisi pemain, *local improvement*, perancangan algoritma menggunakan diagram alir, serta verifikasi dan validasi algoritma.

BAB IV IMPLEMENTASI ALGORITMA

Algoritma yang telah dirancang kemudian diterapkan pada kasus-kasus *benchmark ATSP*. Langkah-langkah implementasi algoritma terdiri dari verifikasi dan validasi program, penentuan parameter, hasil implementasi algoritma terhadap kasus *benchmark*, pengujian pengaruh parameter, dan perbandingan performansi algoritma.

BAB V ANALISIS

Hasil perancangan dan implementasi algoritma untuk menyelesaikan permasalahan ATSP dianalisis pada bab ini. Analisis berisi tentang alasan dari

langkah-langkah perancangan dan implementasi algoritma yang telah dilakukan. Bagian-bagian yang dianalisis meliputi perancangan algoritma, parameter algoritma, dan performansi algoritma.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang ditarik berdasarkan seluruh rangkaian penelitian yang telah dilakukan pada bagian sebelumnya akan diberikan pada bab ini. Diberikan juga saran bagi penelitian serupa untuk ke depannya.