

**PENERAPAN *FOOTBALL GAME ALGORITHM*
UNTUK MENYELESAIKAN *CAPACITATED VEHICLE*
*ROUTING PROBLEM***

SKRIPSI

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

Disusun oleh :

Nama :Adrianus Vincent Djunaidi

NPM :2013610115



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

**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG**



Nama : Adrianus Vincent Djunaidi
NPM : 2013610115
Program Studi : Teknik Industri
Judul Skripsi : *PENERAPAN FOOTBALL GAME ALGORITHM
UNTUK MENYELESAIKAN CAPACITATED VEHICLE
ROUTING PROBLEM*

TANDA PERSETUJUAN SKRIPSI

Bandung, Juli 2017

Ketua Program Studi Teknik Industri

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

Dosen Pembimbing

(Cynthia Prithadevi Juwono, Ir., 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 : Adrianus Vincent Djunaidi

NPM : 2013610115

dengan ini menyatakan bahwa Skripsi dengan judul :

**"PENERAPAN *FOOTBALL GAME ALGORITHM* UNTUK MENYELESAIKAN
CAPACITATED VEHICLE ROUTING 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, 21 Juli 2017

Adrianus Vincent Djunaidi

NPM: 2013610115

ABSTRAK

Salah satu permasalahan yang sering terjadi dalam dunia perindustrian adalah permasalahan yang terkait dengan distribusi. Distribusi akan berdampak pada biaya yang harus dikeluarkan. *Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)* merupakan suatu permasalahan yang terkait dengan pencarian rute terpendek yang dapat ditempuh oleh kendaraan dalam melayani pelanggan. Setiap kendaraan akan berpusat pada suatu depot. Setiap kendaraan yang telah selesai menempuh rute yang ditugaskan akan kembali ke depot. Setiap pelanggan hanya dapat dilayani oleh satu kendaraan. Dalam penentuan rute pengiriman, dipertimbangkan kapasitas kendaraan dan *demand* dari setiap pelanggan.

Pada penelitian ini, permasalahan CVRP akan diselesaikan dengan menggunakan *Football Game Algorithm (FGA)*. FGA merupakan algoritma metaheuristik yang terinspirasi dari tingkah laku pemain sepak bola dalam mencari posisi terbaik untuk mencetak gol. Dalam pencarian posisi terbaik untuk mencetak gol, ada dua jenis perpindahan posisi yang dilakukan pemain, yaitu perpindahan posisi menuju posisi pemain yang membawa bola dan perpindahan posisi berdasarkan arahan pelatih.

Pada penelitian ini, FGA telah diimplementasikan pada enam kasus *benchmark* CVRP. Dari enam kasus yang telah diselesaikan, FGA berhasil mendapatkan solusi yang sama dengan *best known solution* untuk empat kasus. Hasil implementasi yang dilakukan akan dibandingkan dengan beberapa algoritma pembandingan, yaitu *Dragonfly Algorithm (DA)*, *Artificial Bee Colony (ABC)*, dan *Genetic Algorithm (GA)*. Secara keseluruhan, dapat dikatakan bahwa FGA memiliki performansi yang lebih baik dari DA dan memiliki performansi yang sama baiknya dengan ABC. Sedangkan, bila dibandingkan dengan GA, GA memiliki performansi yang lebih baik dari FGA untuk beberapa kasus *benchmark*. Ada empat parameter FGA yang diuji pengaruhnya terhadap performansi FGA, yaitu konstanta yang mengurangi nilai *hyper radius limitation value* (γ), konstanta yang mengurangi nilai *fitness limitation value* (λ), konstanta yang mengurangi nilai *step size* perpindahan pemain (θ), dan ukuran memori pelatih yang menyimpan posisi pemain dengan *fitness* yang kecil (CMS). Hasil pengujian menunjukkan adanya pengaruh parameter dan interaksi antar parameter terhadap performansi FGA untuk beberapa kasus *benchmark*.

ABSTRACT

Distribution is one of the most frequent problems that happen in the industrial world. Distribution influence the cost to be incurred. Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) is a problem about finding the shortest route that can be taken by the vehicle in serving the customers. In serving the customers, each vehicle will start from a depot. Every vehicle that has completed the assigned route will return to the depot. Each customer can only be served by one vehicle. The Vehicle capacity and demand of each customer will be considered in finding the shortest route,

In this research, CVRP will be solved by using Football Game Algorithm (FGA). FGA is a metaheuristic algorithm that is inspired by the behavior of football players in finding the best position to score. In search of the best position to score, there are two types of movements which is made by the player. First movement is about the movement of player toward other player who carry the ball. Second movement is about the movement of player based on the instruction from the coach.

In this research, FGA has been implemented in six CVRP benchmarks problem. From the six benchmarks problem, FGA can get the best known solution. The results of the implementation will be compared with Dragonfly Algorithm (DA), Artificial Bee Colony (ABC), and Genetic Algorithm (GA). Overall, it can be said that FGA has better performance than DA and perform as good as ABC. Meanwhile, when compared with GA, GA has better performance than FGA in some benchmark problem. There are four parameters in FGA that are tested in order to find the main effect on FGA performance. First parameter is the reduction constant of hyper radius limitation value (γ). Second parameter is the reduction constant of fitness limitation value (λ). Third parameter is the reduction constant of step size (θ). Fourth parameter is the coach memory size (CMS). The results show that the main effect of parameters and interaction between parameters is present on some CVRP benchmark problem.

KATA PENGANTAR

Pertama-tama, penulis ingin mengucapkan syukur kepada Tuhan yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat yang diberikan laporan skripsi dengan judul “Penerapan *Football Game Algorithm* untuk Menyelesaikan *Capacitated Vehicle Routing Problem*” dapat diselesaikan. Dalam melakukan proses penyusunan laporan ini, tidak sedikit hambatan yang dialami penulis. Akan tetapi, dengan adanya dukungan dan bantuan dari berbagai pihak, penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Ibu Cynthia Prithadevi Juwono, Ir., M.S. selaku dosen pembimbing, atas berbagai kritik, masukan, dan bantuan yang diberikan dalam penyusunan laporan skripsi ini.
2. Bapak Y.M. Kinley Aritonang, Ph.D., selaku dosen penguji proposal skripsi, atas berbagai kritik dan masukan yang diberikan dalam penyusunan laporan skripsi ini.
3. Bapak Alfian, S.T., M.T., selaku dosen penguji proposal skripsi dan dosen penguji sidang skripsi, atas berbagai kritik dan masukan yang diberikan dalam penyusunan laporan skripsi ini.
4. Bapak Fran Setiawan, S.T., M.Sc., selaku dosen penguji sidang skripsi, atas berbagai kritik dan masukan yang diberikan dalam penyusunan laporan skripsi ini.
5. Orang tua penulis, yang telah memberikan berbagai dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi ini.
6. Deva Nareswara yang telah memberikan masukan kepada penulis dalam pembuatan program.
7. Hans Junius dan Diartano Christian yang telah membantu penulis dalam proses implementasi program komputer yang telah dibuat.
8. Arnold Raharja, selaku teman yang juga melakukan penelitian mengenai *Football Game Algorithm*, atas kerja sama dan berbagai masukan yang diberikan.

9. Dosen Teknik Industri Universitas Katolik Parahyangan, atas segala ilmu pengetahuan yang diberikan.
10. Teman-teman penulis yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah memberikan motivasi dalam proses pembuatan laporan skripsi ini.
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, 2017

Adrianus Vincent Djunaidi

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	I-1
I.1 Latar Belakang Masalah.....	I-1
I.2 Identifikasi dan Rumusan Masalah	I-3
I.3 Batasan Masalah.....	I-6
I.4 Tujuan Penelitian	I-6
I.5 Manfaat Penelitian	I-7
I.6 Metodologi Penelitian	I-7
I.7 Sistematika Penulisan	I-10
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	II-1
II.1 <i>Vehicle Routing Problem</i>	II-1
II.2 <i>Capacitated Vehicle Routing Problem</i>	II-2
II.3 <i>Football Game Algorithm</i>	II-3
II.4 Representasi Solusi SR-2	II-9
II.5 Desain Eksperimen	II-10
BAB III PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA	III-1
III.1 <i>Encoding dan Decoding</i>	III-1
III.2 Perhitungan Jarak antar Pemain.....	III-7
III.3 Perpindahan Posisi Pemain	III-7
III.3.1 Perpindahan Posisi <i>Random Walk</i>	III-9
III.3.2 Perpindahan Posisi berdasarkan Arahan Pelatih	III-12
III.4 Penerapan <i>Football Game Algorithm</i> untuk Permasalahan <i>Capacitated Vehicle Routing Problem</i>	III-14
III.4.1 Notasi Algoritma	III-15

III.4.2	Algoritma Utama <i>Football Game Algorithm</i>	III-19
III.4.3	Algoritma Penentuan Posisi Awal Pemain (Algoritma A)	III-22
III.4.4	Algoritma Pembentukan Rute (Algoritma B)	III-24
III.4.5	Algoritma <i>Local Improvement</i> (Algoritma C)	III-36
III.4.6	Algoritma Perhitungan Nilai <i>Fitness</i> dan Penentuan Solusi Terbaik (Algoritma D)	III-43
III.4.7	Algoritma Pengurutan Pemain berdasarkan Nilai <i>Fitness</i> dan Penentuan Pemain dalam <i>Coach</i> <i>Memory</i> (Algoritma E)	III-47
III.4.8	Algoritma Perhitungan Nilai <i>Step Size</i> Setiap Pemain (Algoritma F)	III-50
III.4.9	Algoritma Penentuan Pemain yang Membawa Bola (Algoritma G)	III-51
III.4.10	Algoritma Perhitungan <i>Hyper Distance</i> (Algoritma H) ..	III-53
III.4.11	Algoritma Perpindahan Posisi Pemain (Algoritma I).....	III-55
III.5	Verifikasi dan Validasi Algoritma	III-59
BAB IV IMPLEMENTASI ALGORITMA PADA KASUS BENCHMARK		IV-1
IV.1	Verifikasi dan Validasi Program.....	IV-1
IV.2	Implementasi <i>Football Game Algorithm</i> pada Kasus <i>Benchmark CVRP</i>	IV-6
IV.2.1	Penentuan Parameter <i>Football Game Algorithm</i> (FGA)	IV-7
IV.2.2	Implementasi FGA pada Kasus P-N16-K8	IV-16
IV.2.3	Implementasi FGA pada Kasus P-N19-K2	IV-18
IV.2.4	Implementasi FGA pada Kasus B-N31-K5	IV-19
IV.2.5	Implementasi FGA pada Kasus A-N32-K5	IV-21
IV.2.6	Implementasi FGA pada Kasus A-N54-K7	IV-23
IV.2.7	Implementasi FGA pada Kasus B-N57-K7	IV-24
IV.3	Pengujian Parameter <i>Football Game Algorithm</i> (FGA)	IV-26
IV.3.1	Pengujian Parameter FGA pada Kasus P-N16-K8	IV-28
IV.3.2	Pengujian Parameter FGA pada Kasus P-N19-K2	IV-28
IV.3.3	Pengujian Parameter FGA pada Kasus B-N31-K5	IV-29
IV.3.4	Pengujian Parameter FGA pada Kasus A-N32-K5	IV-29

IV.3.5	Pengujian Parameter FGA pada Kasus A-N54-K7	IV-30
IV.3.6	Pengujian Parameter FGA pada Kasus B-N57-K7	IV-30
IV.3.7	Rekapitulasi Hasil Pengujian Parameter	IV-31
IV.4	Pengaruh Level Parameter pada Setiap Kasus	IV-32
IV.4.1	<i>Main Effect Plot</i>	IV-32
IV.4.2	<i>Interaction Plot</i>	IV-34
IV.5	Perbandingan <i>Football Game Algorithm</i> dengan <i>Dragonfly Algorithm</i> , <i>Genetic Algorithm</i> , dan <i>Artificial Bee Colony</i>	IV-36
BAB V	ANALISIS	V-1
V.1	Analisis <i>Encoding</i> dan <i>Decoding</i>	V-1
V.2	Analisis Perpindahan Posisi Pemain.....	V-3
V.3	Analisis Pengaruh (<i>Main Effect</i>) dan Interaksi parameter FGA... V-5	
V.3.1	Analisis Pengaruh (<i>Main Effect</i>) dan Interaksi Parameter Teta	V-6
V.3.2	Analisis Pengaruh (<i>Main Effect</i>) dan Interaksi Parameter Gamma	V-7
V.3.3	Analisis Pengaruh (<i>Main Effect</i>) dan Interaksi Parameter Lamda	V-8
V.3.4	Analisis Pengaruh (<i>Main Effect</i>) dan Interaksi Parameter CMS	V-9
V.4	Analisis Performansi FGA	V-10
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	Rumus Perhitungan <i>Sum of Squares, Mean Square</i> F ₀ 2 Faktor	II-12
Tabel III.1	Koordinat Posisi dan <i>Demand</i> Setiap Pelanggan	III-1
Tabel III.2	Matriks Jarak Depot dan Pelanggan.....	III-2
Tabel III.3	Jarak Antara Titik Referensi Kendaraan dengan Setiap Pelanggan.....	III-4
Tabel III.4	Contoh Hasil Perhitungan Total Jarak Tempuh Setiap Rute.....	III-5
Tabel III.5	Contoh Hasil Perhitungan Total Jarak Tempuh Keseluruhan.....	III-6
Tabel III.6	Contoh Perhitungan Nilai Bobot	III-9
Tabel III.7	Contoh Nilai α , ϵ , dan β	III-10
Tabel III.8	Contoh Nilai α dan ϵ Pemain 1 dan 5	III-13
Tabel III.9	Koordinat dan <i>Demand</i> Kasus Sederhana	III-60
Tabel III.10	Matriks Jarak Kasus Sederhana	III-60
Tabel III.11	<i>Step Size</i> Awal	III-61
Tabel III.12	Posisi Awal Pemain	III-62
Tabel III.13	Jarak Titik Referensi Kendaraan 1 dengan Setiap Pelanggan (Pemain 1).....	III-64
Tabel III.14	Jarak Titik Referensi Kendaraan 2 dengan Setiap Pelanggan (Pemain 1).....	III-64
Tabel III.15	Pelanggan dalam Radius Kendaraan 1 (Pemain 1)	III-65
Tabel III.16	Pelanggan dalam Radius Kendaraan 2 (Pemain 1)	III-65
Tabel III.17	Pelanggan yang akan dilayani (Pemain 1)	III-69
Tabel III.18	Pelanggan dalam <i>Array</i> Mungkin yang Telah diurutkan (Pemain 1)	III-69
Tabel III.19	Jarak Titik Referensi Kendaraan 1 dengan Setiap Pelanggan (Pemain 2).....	III-74
Tabel III.20	Jarak Titik Referensi Kendaraan 2 dengan Setiap Pelanggan (Pemain 2).....	III-74
Tabel III.21	Pelanggan yang akan dilayani (Pemain 2)	III-77

Tabel III.22	Pelanggan dalam <i>Array</i> Mungkin yang Telah diurutkan (Pemain 2).....	III-77
Tabel III.23	Rute Setiap Pemain Iterasi 0.....	III-81
Tabel III.24	<i>Local Improvement</i> Rute 1 dari Pemain 1.....	III-97
Tabel III.25	<i>Local Improvement</i> Rute 2 dari Pemain 1.....	III-97
Tabel III.26	<i>Local Improvement</i> Setiap Pemain Iterasi 0.....	III-97
Tabel III.27	Hasil Perhitungan <i>Fitness</i> Iterasi 0.....	III-99
Tabel III.28	Urutan Pemain dengan <i>Fitness</i> Terkecil Iterasi 1.....	III-103
Tabel III.29	Pemain dalam <i>Coach Memory</i> Iterasi 1.....	III-103
Tabel III.30	<i>Step Size</i> Iterasi 1.....	III-104
Tabel III.31	Nilai <i>Hyper Distance</i> Iterasi 1.....	III-106
Tabel III.32	Tempvektor Pemain pada Iterasi 1.....	III-110
Tabel III.33	Posisi Pemain Iterasi 1.....	III-113
Tabel III.34	Rute Setiap Pemain Iterasi 1.....	III-113
Tabel III.35	<i>Local Improvement</i> Setiap Pemain Iterasi 1.....	III-114
Tabel III.36	Hasil Perhitungan <i>Fitness</i> Iterasi 1.....	III-114
Tabel III.37	Urutan Pemain dengan <i>Fitness</i> Terkecil Iterasi 2.....	III-115
Tabel III.38	Pemain dalam <i>Coach Memory</i> Iterasi 2.....	III-115
Tabel III.39	<i>Step Size</i> Iterasi 2.....	III-115
Tabel III.40	Nilai <i>Hyper Distance</i> Iterasi 2.....	III-116
Tabel III.41	Posisi Pemain Iterasi 2.....	III-116
Tabel III.42	Rute Setiap Pemain Iterasi 2.....	III-116
Tabel III.43	<i>Local Improvement</i> Setiap Pemain Iterasi 2.....	III-117
Tabel III.44	Hasil Perhitungan <i>Fitness</i> Iterasi 2.....	III-117
Tabel IV.1	Koordinat dan <i>Demand</i>	IV-4
Tabel IV.2	Matriks Jarak Pelanggan.....	IV-4
Tabel IV.3	Rekapitulasi Kasus <i>Benchmark</i> CVRP.....	IV-6
Tabel IV.4	Rekapitulasi Jumlah Iterasi.....	IV-10
Tabel IV.5	Rekapitulasi FLV_{min}	IV-12
Tabel IV.6	Rekapitulasi FLV_0	IV-13
Tabel IV.7	Rekapitulasi $HRLV_{min}$	IV-14
Tabel IV.8	Rekapitulasi $HRLV_0$	IV-14
Tabel IV.9	Rekapitulasi Kombinasi Parameter.....	IV-15
Tabel IV.10	Rekapitulasi Hasil Implementasi Kasus P-N16-K8.....	IV-17

Tabel IV.11	Rekapitulasi Hasil Implementasi Kasus P-N19-K2	IV-19
Tabel IV.12	Rekapitulasi Hasil Implementasi Kasus B-N31-K5	IV-20
Tabel IV.13	Rekapitulasi Hasil Implementasi Kasus A-N32-K5	IV-22
Tabel IV.14	Rekapitulasi Hasil Implementasi Kasus A-N54-K7	IV-23
Tabel IV.15	Rekapitulasi Hasil Implementasi Kasus B-N57-K7	IV-25
Tabel IV.16	Rekapitulasi Hasil Uji ANOVA untuk Semua Kasus.....	IV-31
Tabel IV.17	Rekapitulasi Kombinasi Parameter Terbaik dari Nilai yang diuji.....	IV-35
Tabel IV.18	Rekapitulasi Perbandingan Solusi Terbaik	IV-36

DAFTAR GAMBAR

Gambar I.1	Metodologi Penelitian	I-7
Gambar II.1	Ilustrasi Permasalahan VRP	II-1
Gambar II.2	Ilustasi Pergerakan Pemain	II-4
Gambar II.3	Ilustrasi Pergantian Pemain	II-5
Gambar II.4	Representasi <i>Hyper Radius Penalty</i>	II-7
Gambar II.5	Representasi <i>Fitness Penalty</i>	II-8
Gambar II.6	Ilustrasi 2-opt.....	II-10
Gambar III.1	Contoh Vektor Posisi Pemain.....	III-2
Gambar III.2	Contoh Posisi Pemain	III-3
Gambar III.3	Contoh Ilustrasi <i>Local Improvement</i> Rute 1	III-6
Gambar III.4	Contoh Posisi Pemain 1 dan 2	III-7
Gambar III.5	Contoh Posisi dan <i>Fitness</i> Pemain Suatu Iterasi	III-8
Gambar III.6	Vektor Posisi Baru Hasil <i>Random Walk</i>	III-11
Gambar III.7	Hasil Normalisasi Pemain 2, 3, dan 4	III-12
Gambar III.8	Vektor Posisi Hasil Perpindahan Berdasarkan Arahan Pelatih	III-14
Gambar III.9	Hasil Normalisasi Posisi Pemain 1 dan 5	III-14
Gambar III.10	Algoritma Utama FGA	III-19
Gambar III.11	Algoritma Penentuan Posisi Awal Pemain.....	III-22
Gambar III.12	Algoritma Pembentukan Rute	III-24
Gambar III.13	Algoritma <i>Local Improvement</i>	III-36
Gambar III.14	Algoritma Perhitungan <i>Fitness</i> dan Penentuan Solusi Terbaik.....	III-43
Gambar III.15	Algoritma Pengurutan Pemain dan Penentuan Pemain dalam CM.....	III-47
Gambar III.16	Algoritma Perhitungan Nilai <i>Step Size</i>	III-50
Gambar III.17	Algoritma Penentuan Pemain yang Membawa Bola	III-51
Gambar III.18	Algoritma Perhitungan <i>Hyper Distance</i>	III-53
Gambar III.19	Algoritma Perpindahan Posisi Pemain	III-55

Gambar IV.1	Contoh Program Penentuan Posisi Awal Pemain.....	IV-1
Gambar IV.2	Contoh Peringatan saat flv_0 lebih kecil dari flv_{min}	IV-3
Gambar IV.3	Nilai <i>Input</i> FGA.....	IV-4
Gambar IV.4	Nilai <i>Input</i> CVRP	IV-5
Gambar IV.5	<i>Output</i> Hasil <i>Running</i>	IV-5
Gambar IV.6	Plot Jumlah Iterasi P-N16-K8	IV-7
Gambar IV.7	Plot Jumlah Iterasi P-N19-K2	IV-8
Gambar IV.8	Plot Jumlah Iterasi B-N31-K5	IV-8
Gambar IV.9	Plot Jumlah Iterasi A-N32-K5	IV-9
Gambar IV.10	Plot Jumlah Iterasi A-N54-K7	IV-9
Gambar IV.11	Plot Jumlah Iterasi B-N57-K7	IV-10
Gambar IV.12	<i>Scatter Plot</i> P-N16-K8	IV-16
Gambar IV.13	<i>Scatter Plot</i> P-N19-K2	IV-18
Gambar IV.14	<i>Scatter Plot</i> B-N31-K5	IV-20
Gambar IV.15	<i>Scatter Plot</i> A-N32-K5	IV-21
Gambar IV.16	<i>Scatter Plot</i> A-N54-K7	IV-23
Gambar IV.17	<i>Scatter Plot</i> B-N57-K7	IV-25
Gambar IV.18	Hasil Uji ANOVA P-N19-K2.....	IV-28
Gambar IV.19	Hasil Uji ANOVA A-N32-K5.....	IV-29
Gambar IV.20	Hasil Uji ANOVA A-N54-K7	IV-30
Gambar IV.21	Hasil Uji ANOVA B-N57-K7	IV-31
Gambar IV.22	<i>Main Effect Plot</i> P-N19-K2	IV-33
Gambar IV.23	<i>Main Effect Plot</i> A-N32-K5	IV-33
Gambar IV.24	<i>Main Effect Plot</i> B-N57-K7	IV-34
Gambar IV.25	<i>Interaction Plot</i> A-N54-K7	IV-35

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A: Data Koordinat dan *Demand* Pelanggan

Lampiran B: Matriks Jarak Pelanggan

BAB I

PENDAHULUAN

Bab ini membahas mengenai latar belakang masalah, identifikasi dan rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, dan manfaat penelitian. Selain itu, pada bab ini juga dibahas mengenai metodologi penelitian dan sistematika penulisan.

I.1 Latar Belakang Masalah

Dewasa ini, dunia perindustrian tidak dapat terlepas dari berbagai permasalahan. Salah satu permasalahan yang sering terjadi dalam dunia perindustrian adalah permasalahan yang terkait dengan distribusi atau transportasi. Dunia perindustrian terus mengalami perkembangan. Hal ini menyebabkan kegiatan distribusi juga akan terus mengalami peningkatan. Hal utama yang menjadi perhatian dalam permasalahan yang terkait dengan distribusi adalah biaya yang harus dikeluarkan.

Ada banyak faktor yang mempengaruhi biaya transportasi yang harus dikeluarkan perusahaan. Salah satu faktor tersebut adalah penentuan rute pengiriman. Penentuan rute pengiriman yang tepat tentunya dapat meminimasi biaya transportasi yang harus dikeluarkan. Hal ini menyebabkan perusahaan harus dapat menentukan rute pengiriman yang tepat agar proses distribusi dapat menjadi lebih baik.

Penentuan rute pengiriman dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor. Salah satu faktor tersebut adalah kapasitas kendaraan yang digunakan dalam proses distribusi dan jumlah permintaan dari setiap pelanggan. Rute pengiriman yang baik tidak hanya ditinjau dari biaya yang paling murah, tetapi juga harus dapat memenuhi kebutuhan setiap pelanggan dengan berbagai batasan yang ada.

Permasalahan yang telah dijelaskan dapat dianalogikan sebagai permasalahan *Vehicle Routing Problem (VRP)*. *Vehicle Routing Problem* terkait dengan penentuan rute optimal yang ditempuh oleh sejumlah kendaraan yang berpusat pada sebuah depot. Dalam penentuan rute optimal jumlah kendaraan yang digunakan boleh lebih dari satu. Setiap pelanggan hanya dapat dilayani oleh

satu kendaraan. Setiap kendaraan yang telah selesai menempuh semua rute yang telah ditugaskan akan kembali ke depot (Bjarnadottir, 2004).

Permasalahan mengenai VRP terus mengalami perkembangan. Salah satu jenis permasalahan VRP adalah *Capacitated Vehicle Routing Problem* (Braekers, Ramaekers, dan Nieuwenhuysse, 2015). Permasalahan *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) merupakan salah satu jenis pengembangan dari permasalahan VRP yang sering terjadi. Perbedaan permasalahan CVRP dengan permasalahan VRP pada umumnya adalah pada permasalahan CVRP terdapat batasan berupa kapasitas kendaraan yang digunakan. Pada permasalahan CVRP, dalam melakukan penentuan rute pengiriman optimal tidak hanya dilakukan dengan pertimbangan jarak minimum, tetapi juga dilakukan dengan pertimbangan kapasitas kendaraan dalam memenuhi permintaan dari setiap pelanggan (Toth dan Vigo, 2002).

Salah satu contoh permasalahan CVRP dalam dunia nyata adalah, misalkan ada sebuah perusahaan penyedia jasa distribusi yang akan melakukan pengiriman barang dari kantor pusat ke setiap lokasi pelanggan. Setiap lokasi pelanggan memiliki jarak tempuh yang berbeda. Dalam melakukan penentuan rute pengiriman, selain meminimasi jarak yang ditempuh, perusahaan juga harus mempertimbangkan kapasitas kendaraan dalam memenuhi permintaan dari setiap pelanggan. Penentuan rute pengiriman tersebut dilakukan untuk meminimasi biaya operasional perusahaan. Contoh permasalahan ini dapat dimodelkan dalam CVRP.

Menurut Toth dan Vigo (2002), pada permasalahan CVRP setiap permintaan dari pelanggan bersifat deterministik, jenis kendaraan yang digunakan bersifat identik, setiap kendaraan berpusat pada suatu depot, dan kapasitas kendaraan yang menjadi batasan dari permasalahan. Tujuan penyelesaian permasalahan CVRP adalah untuk meminimasi total jarak yang dibutuhkan untuk melayani semua pelanggan.

Permasalahan CVRP telah diteliti sejak awal tahun 1960. Ada banyak metode analitik dan metode heuristik yang dikembangkan untuk menyelesaikan permasalahan CVRP. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah pelanggan maksimal dalam permasalahan CVRP yang masih dapat diselesaikan dengan baik menggunakan metode analitik adalah sebanyak 50 (Toth dan Vigo, 2002).

Menurut Cordeau, Laporte, Savelsbergh, dan Vigo (2007), permasalahan CVRP termasuk dalam kategori permasalahan *non-deterministic polynomial-time hard* (NP-hard). Permasalahan dengan kategori NP-hard akan membutuhkan waktu yang lama dalam pencarian solusi permasalahan. Lama waktu komputasi yang dibutuhkan akan tergantung pada ruang lingkup permasalahan yang diteliti. Hal ini menyebabkan dibutuhkan metode lain untuk menyelesaikan permasalahan CVRP agar penyelesaian permasalahan tersebut dapat menjadi lebih cepat.

I.2 Identifikasi dan Rumusan Masalah

Permasalahan *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) terkait dengan bagaimana sejumlah kendaraan pada suatu depot melakukan pengiriman barang kepada setiap pelanggan dengan batasan kapasitas kendaraan yang digunakan dalam memenuhi permintaan pelanggan yang berbeda-beda. Tujuan penyelesaian masalah CVRP adalah untuk menentukan rute optimal yang dapat meminimasi total jarak dengan batasan kapasitas kendaraan yang dimiliki. Dalam penentuan rute, setiap pelanggan hanya dapat dilayani oleh satu kendaraan. Setiap kendaraan yang telah selesai menempuh semua rute yang telah ditugaskan akan kembali ke depot (Bjarnadottir, 2004).

Dalam menemukan solusi optimal dapat digunakan beberapa metode, yaitu metode analitik dan metode pendekatan. Metode pendekatan terdiri dari metode heuristik dan metode metaheuristik (Desale, Rasool, Andhale, dan Rane, 2015). Menurut Cordeau et. al. (2007), salah satu metode analitik yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan CVRP adalah *Branch and Bound*. Metode ini dapat digunakan untuk mencari solusi optimal dari permasalahan CVRP. Akan tetapi, permasalahan CVRP termasuk ke dalam kategori permasalahan *non-deterministic polynomial-time hard* (NP-hard). Hal ini menyebabkan metode analitik akan membutuhkan waktu penyelesaian yang lama ketika jumlah pelanggan yang harus dilayani semakin banyak.

Menurut Cordeau et. al. (2007), selain dengan menggunakan metode analitik, permasalahan CVRP juga dapat diselesaikan dengan metode heuristik. Metode heuristik merupakan suatu metode penyelesaian masalah yang bertujuan untuk mengurangi waktu penyelesaian masalah yang dibutuhkan. Metode ini merupakan metode pendekatan, dimana solusi yang didapatkan belum tentu

merupakan solusi optimal dari permasalahan tersebut (Kunche dan Reddy, 2016). Salah satu metode heuristik yang pernah digunakan untuk menyelesaikan permasalahan CVRP adalah *Route Construction Heuristics* (Cordeau et. al., 2007). Metode ini dapat menyelesaikan permasalahan CVRP dengan lebih cepat dari pada metode analitik. Akan tetapi, solusi yang didapatkan dengan menggunakan metode ini masih kurang baik.

Menurut Kunche dan Reddy (2016) metode lain yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan optimasi adalah metode metaheuristik. Metode ini merupakan perkembangan dari metode heuristik. Metode metaheuristik merupakan metode penyelesaian permasalahan optimasi dengan menggunakan langkah-langkah iteratif untuk melakukan eksploitasi dan eksplorasi pada suatu ruang solusi dengan strategi tertentu. Strategi yang digunakan diharapkan dapat membuat proses pencarian solusi yang mendekati optimal dapat menjadi lebih efisien.

Metode metaheuristik yang pernah diterapkan untuk menyelesaikan permasalahan CVRP antara lain *Artificial Bee Colony* (Brajevic, 2011), *Genetic Algorithm* (Pereira, Tavares, Machado, dan Costa, 2002), dan *Dragonfly Algorithm* (Susanto, 2016). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan ketiga algoritma tersebut menghasilkan solusi yang cukup baik. Penyelesaian permasalahan CVRP tidak hanya terbatas pada penggunaan tiga algoritma tersebut saja. Metode metaheuristik lain dapat coba digunakan untuk menyelesaikan permasalahan CVRP dengan harapan metode tersebut dapat memberikan hasil yang lebih baik.

Football Game Algorithm merupakan salah satu jenis algoritma metaheuristik yang diperkenalkan pada tahun 2016 oleh Elyas Fadakar dan Masoud Ebrahimi (Fadakar dan Ebrahimi, 2016). Algoritma ini dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan *continuous global optimization*. Algoritma ini meniru tingkah laku pemain sepak bola pada suatu pertandingan. Tingkah laku yang ditiru adalah bagaimana pemain mencari posisi terbaik untuk mencetak gol dengan arahan dari pelatih. Ada sebelas parameter yang digunakan dalam implementasi *Football Game Algorithm* untuk menyelesaikan permasalahan optimasi, yaitu:

1. Jumlah iterasi.
2. Jumlah pemain.
3. Batas bawah dari nilai *Hyper Radius Limitation Value* ($HRLV_{\min}$).

4. Batas atas dari nilai *Hyper Radius Limitation Value* (HRLV₀).
5. Konstanta yang mengurangi nilai *Hyper Radius Limitation Value* pada setiap iterasi (γ).
6. Batas bawah dari nilai *Fitness Limitation Value* (FLV_{min}).
7. Batas atas dari nilai *Fitness Limitation Value* (FLV₀).
8. Konstanta yang mengurangi nilai *Fitness Limitation Value* pada setiap iterasi (λ).
9. Nilai awal *Step size* perpindahan pemain (α_0).
10. Konstanta yang mengurangi *step size* perpindahan pemain (θ).
11. Ukuran memori yang menyimpan informasi berupa posisi pemain dengan *fitness* yang memiliki *fitness* yang kecil (CMS).

Nilai parameter yang digunakan dapat mempengaruhi performansi dari *Football Game Algorithm* (Fadakar dan Ebrahimi, 2016). Oleh karena itu, pada penelitian ini juga akan dilihat pengaruh dari nilai parameter yang digunakan terhadap performansi dari *Football Game Algorithm*.

Tes fungsi merupakan salah satu standar yang dapat digunakan untuk menilai baik buruknya suatu algoritma (Jamil dan Yang, 2013). *Football Game Algorithm* telah digunakan untuk menyelesaikan beberapa tes fungsi. Dalam beberapa tes fungsi, *Football Game Algorithm* memberikan solusi yang lebih baik dibandingkan beberapa jenis *swarm algorithm*, yaitu *Particle Swarm Optimization Algorithm*, *Modified Particle Swarm Optimization Algorithm*, dan *Bat Algorithm*. (Fadakar dan Ebrahimi, 2016).

Beberapa jenis *swarm algorithm* tersebut pernah digunakan untuk menyelesaikan permasalahan CVRP dan menghasilkan solusi yang baik. Hal ini menunjukkan adanya potensi dari *Football Game Algorithm* untuk menyelesaikan permasalahan CVRP. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan implementasi *Football Game Algorithm* untuk menyelesaikan beberapa kasus *benchmark* permasalahan CVRP. Hasil implementasi tersebut kemudian akan dibandingkan dengan hasil implementasi yang didapatkan dengan beberapa jenis *swarm algorithm*, seperti *Artificial Bee Colony* (Brajevic, 2011) dan *Dragonfly Algorithm* (Susanto, 2016) untuk beberapa kasus *benchmark*.

Football Game Algorithm diharapkan dapat menghasilkan solusi yang lebih baik dibandingkan dengan algoritma-algoritma yang telah digunakan untuk menyelesaikan beberapa kasus *benchmark* permasalahan CVRP. Oleh karena itu,

berdasarkan identifikasi masalah yang dilakukan, dapat dibuat rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana penerapan *Football Game Algorithm* dalam menyelesaikan kasus *benchmark* permasalahan *capacitated vehicle routing problem*?
2. Bagaimana pengaruh parameter *Football Game Algorithm* terhadap performansi algoritma tersebut?
3. Bagaimana perbandingan performansi *Football Game Algorithm*, *Artificial Bee Colony* (Brajevic, 2011), *Genetic Algorithm* (Pereira, Tavares, Machado, dan Costa, 2002), dan *Dragonfly Algorithm* (Susanto, 2016) dalam menyelesaikan kasus *benchmark* permasalahan *Capacitated Vehicle Routing Problem*?

I.3 Batasan Masalah

Setelah dilakukan identifikasi dan perumusan masalah, selanjutnya akan dilakukan penentuan batasan masalah yang akan digunakan pada penelitian. Batasan masalah yang digunakan pada penelitian adalah sebagai berikut:

1. Permasalahan yang digunakan pada penelitian terbatas pada kasus *benchmark* yang umum digunakan, yaitu P-N16-K8, P-N19-K2, B-N31-K5, A-N32-K5, A-N54-K7, dan B-N57-K7 (https://github.com/VRP-REP/translator/tree/master/data/original_instance/ATD-LAB/CVRP).
2. Performansi baik buruknya algoritma hanya dilihat dari total jarak yang dihasilkan dari solusi permasalahan CVRP.

I.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan identifikasi dan rumusan masalah yang dibuat, maka tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah:

1. Menerapkan *Football Game Algorithm* dalam menyelesaikan kasus *benchmark* permasalahan *Capacitated Vehicle Routing Problem*.
2. Mengetahui pengaruh dari parameter *Football Game Algorithm* terhadap performansinya.
3. Membandingkan performansi *Football Game Algorithm*, *Artificial Bee Colony* (Brajevic, 2011), *Genetic Algorithm* (Pereira, Tavares, Machado, dan Costa, 2002), dan *Dragonfly Algorithm* (Susanto, 2016) dalam

menyelesaikan kasus *benchmark* permasalahan *Capacitated Vehicle Routing Problem*.

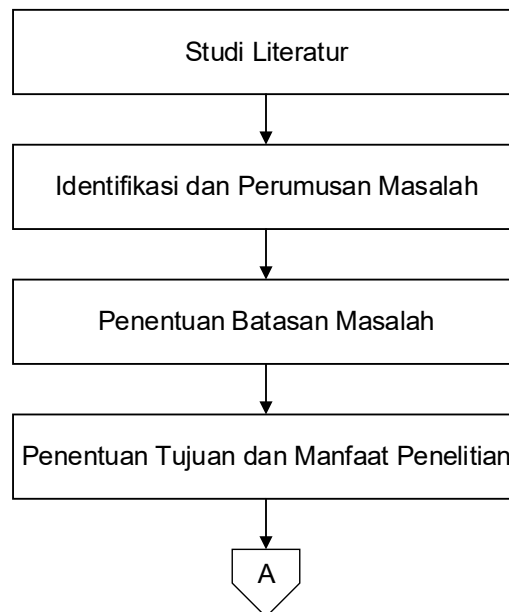
I.5 Manfaat Penelitian

Penelitian yang dilakukan diharapkan dapat memberikan manfaat pada beberapa pihak. Berikut ini merupakan manfaat dari penelitian yang dilakukan:

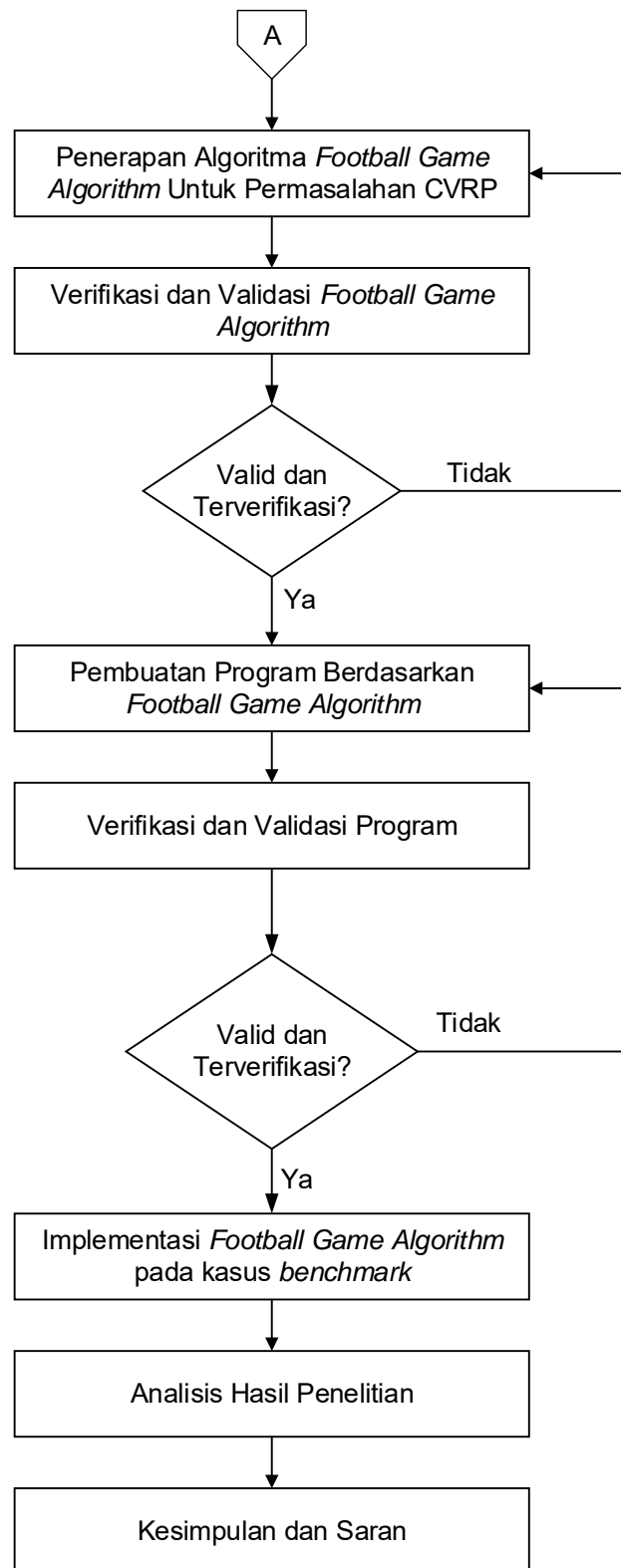
1. Menambah metode yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan *Capacitated Vehicle Routing Problem*.
2. Meningkatkan wawasan dan pengetahuan pembaca mengenai penerapan *Football Game Algorithm* untuk menyelesaikan permasalahan *Capacitated Vehicle Routing Problem*.
3. Menambah referensi yang dapat digunakan untuk penelitian yang berkaitan dengan *Football Game Algorithm* dan permasalahan *Capacitated Vehicle Routing Problem*.

I.6 Metodologi Penelitian

Dalam melakukan sebuah penelitian, dibutuhkan suatu metodologi agar suatu penelitian dapat dilakukan dengan lebih baik dan sistematis. Gambar I.1 menunjukkan *flowchart* metodologi penelitian yang dilakukan.



Gambar I.1 Metodologi Penelitian



Gambar I.1 Metodologi Penelitian (Lanjutan)

Berikut ini merupakan penjelasan dari metodologi yang digunakan pada penelitian ini:

1. Studi Literatur
Tahap awal dari penelitian ini adalah studi literatur. Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan informasi-informasi terkait dengan permasalahan CVRP dan penerapan *Football Game Algorithm*.
2. Identifikasi dan Perumusan Masalah
Setelah dilakukan studi literatur, tahap selanjutnya adalah melakukan identifikasi dan perumusan masalah. Permasalahan yang diangkat dalam penelitian adalah permasalahan CVRP. Berdasarkan identifikasi masalah tersebut akan dibuat rumusan masalah dari penelitian yang dilakukan.
3. Penentuan Batasan Masalah
Setelah dilakukan studi literatur dan identifikasi masalah, tahap selanjutnya adalah melakukan penentuan batasan masalah. Penentuan batasan masalah dilakukan dengan tujuan agar penelitian yang dilakukan menjadi lebih terfokus.
4. Penentuan Tujuan dan Manfaat Penelitian
Selanjutnya, akan dilakukan penentuan tujuan dan manfaat penelitian. Penentuan tujuan dan manfaat penelitian dilakukan agar penelitian yang dilakukan memiliki tujuan dan manfaat yang jelas.
5. Penerapan *Football Game Algorithm* untuk Permasalahan CVRP
Selanjutnya, akan dilakukan penerapan *Football Game Algorithm* untuk permasalahan CVRP. Pada tahap ini, akan dilakukan penerapan *Football Game Algorithm* untuk menyelesaikan permasalahan CVRP.
6. Verifikasi dan Validasi *Football Game Algorithm*
Setelah dilakukan penerapan algoritma, selanjutnya akan dilakukan verifikasi dan validasi algoritma yang telah dibuat. Verifikasi dan validasi dilakukan dengan tujuan agar algoritma yang telah diterapkan sudah sesuai untuk menyelesaikan permasalahan CVRP.
7. Pembuatan Program berdasarkan *Football Game Algorithm*
Setelah dilakukan verifikasi dan validasi algoritma yang telah diterapkan, selanjutnya akan dilakukan pembuatan program untuk mempermudah penyelesaian permasalahan CVRP yang digunakan.

8. Verifikasi dan Validasi Program
Program yang telah dibuat, kemudian akan diverifikasi dan divalidasi. Hal ini bertujuan agar program yang dibuat sesuai dengan *Football Game Algorithm* untuk menyelesaikan permasalahan CVRP.
9. Implementasi *Football Game Algorithm* pada Kasus *Benchmark*
Setelah dilakukan verifikasi dan validasi program, selanjutnya akan dilakukan implementasi *Football Game Algorithm* agar didapatkan solusi untuk permasalahan CVRP yang digunakan.
10. Analisis Hasil Penelitian
Analisis dilakukan untuk melihat hasil penerapan *Football Game Algorithm* pada permasalahan CVRP, hasil pengujian parameter yang berpengaruh, dan hasil perbandingan *Football Game Algorithm* dengan algoritma lain yang pernah diterapkan untuk menyelesaikan permasalahan CVRP yang digunakan.
11. Kesimpulan dan Saran
Tahap terakhir pada penelitian yang dilakukan adalah penarikan kesimpulan berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan. Selain itu, akan diberikan saran untuk penelitian selanjutnya.

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 latar belakang permasalahan, identifikasi dan rumusan masalah, penentuan batasan masalah, penentuan tujuan penelitian, penentuan manfaat penelitian, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi teori-teori yang berkaitan dengan pengolahan data dan analisis yang dibutuhkan untuk menyelesaikan permasalahan yang telah diidentifikasi. Teori-teori tersebut terkait dengan permasalahan CVRP, *Football Game Algorithm*, representasi solusi SR-2, dan desain eksperimen.

BAB III PENERAPAN ALGORITMA

Bab ini berisi penerapan *Football Game Algorithm* untuk menyelesaikan permasalahan CVRP. Penerapan akan dilakukan dengan menggunakan *flowchart*.

Algoritma yang telah diterapkan kemudian akan diverifikasi dan divalidasi. Setelah proses verifikasi dan validasi dilakukan, selanjutnya akan dibuat program sesuai dengan algoritma yang telah diterapkan.

BAB IV IMPLEMENTASI ALGORITMA PADA KASUS *BENCHMARK*

Bab ini berisi implementasi *Football Game Algorithm* untuk menyelesaikan beberapa kasus *benchmark* CVRP. Implementasi *Football Game Algorithm* akan dilakukan dengan menggunakan program yang telah dibuat. Selain itu, pada bab ini juga berisi verifikasi dan validasi program yang dibuat, hasil implementasi yang dilakukan, dan hasil pengujian parameter *Football Game Algorithm*.

BAB V ANALISIS

Bab ini berisi analisis *encoding* dan *decoding* yang digunakan, analisis perpindahan posisi, analisis *main effect* dan interaksi parameter, dan analisis performansi FGA.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian mengenai penerapan *Football Game Algorithm* untuk menyelesaikan permasalahan CVRP dan saran-saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya.