

Penentuan Rute Pengiriman *Ice Tube* di Kota Malang dengan Algoritme Genetika

Nurina Savanti Widya Gotami¹, Yane Marita Febrianti², Robih Dini³, Hamim Fathul Aziz⁴,
San Sayidul Akdam Augusta⁵, Vivi Nur Wijayaningrum⁶

^{1,2,3,4,5,6}Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya

Jalan Veteran No. 8, Malang 65145, Jawa Timur

Email: ¹nurinaswgotami@gmail.com, ²febriantiyane28@gmail.com, ³robddinn12@gmail.com,
⁴hamimaziz15@gmail.com, ⁵san.akdam@gmail.com, ⁶vivinurw@gmail.com

Masuk: 10 Oktober 2019; Direvisi: 05 Februari 2020; Diterima: 01 April 2020

Abstract. *Determining routes for ice tube delivery in Malang is a complex combinatorial problem classified as NP-hard problem. This study aims for optimizing the sales travel routes determination for the delivery to several customers by considering the efficiency of distance traveled. This problem is modeled in the form of Multi Salesman Traveling Problem. Genetic algorithm was used to optimize the determination of ice tube delivery routes that must be taken by each sales. Problems were coded by using permutation representation in which order crossover and swap mutation methods were used for the reproduction process. The process of finding solution was done by using elitism selection. The best genetic algorithm parameters obtained from the test results are the number of iterations of 40 and the population of 40, with the shortest route of 30.3 km. The final solution given by the genetic algorithm is in the form of a travel route that must be taken by each ice tube sales.*

Keywords: *genetic algorithm, mutli travelling salesman problem, optimization, route*

Abstrak. *Penentuan rute pengiriman ice tube di kota Malang merupakan permasalahan kombinatorial kompleks yang diklasifikasikan sebagai permasalahan NP-hard. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan optimasi dalam pembentukan rute perjalanan sales dalam melakukan pengiriman ke beberapa pelanggan dengan mempertimbangkan efisiensi jarak tempuh. Permasalahan ini dimodelkan dalam bentuk Multi Salesman Travelling Problem. Algoritme genetika digunakan untuk mengoptimalkan pembentukan rute pengiriman ice tube yang harus dilalui oleh setiap sales. Permasalahan dikodekan menggunakan representasi permutasi, dengan proses reproduksi menggunakan metode order crossover dan swap mutation. Proses pencarian solusi dilakukan menggunakan elitism selection. Parameter algoritme genetika terbaik yang didapatkan dari hasil pengujian adalah banyaknya iterasi sebesar 40 dan banyaknya populasi sebesar 40, dengan rute terpendek sebesar 30.3 km. Solusi akhir yang diberikan oleh algoritme genetika berupa rute perjalanan yang harus ditempuh oleh setiap sales ice tube.*

Kata Kunci: *algoritme genetika, multi travelling salesman problem, optimasi, rute*

1. Pendahuluan

Semakin banyaknya para penjual minuman menyebabkan permintaan es batu semakin meningkat. Saat ini, para penjual minuman cenderung menggunakan es batu kristal berbentuk potongan-potongan yang disebut *ice tube*, bukan berupa es batu balok dalam ukuran besar. Hal ini dikarenakan penggunaan *ice tube* dianggap lebih praktis dan higienis.

Agen *ice tube* biasanya memiliki lebih dari satu armada yang digunakan untuk melakukan pengiriman produknya kepada pelanggan. Setiap armada tersebut tentunya mempunyai rute pengiriman yang berbeda-beda untuk mendistribusikan *ice tube* ke setiap pelanggan. Sifat *ice tube* yang mudah mencair mengharuskan produk ini harus cepat sampai ke pelanggan. Namun, banyaknya pelanggan *ice tube* menyebabkan setiap armada harus menentukan rute yang optimal yang akan dilewatinya agar proses pengiriman dapat menghemat waktu dan biaya transportasi.

Terdapat banyak algoritme yang dapat digunakan untuk proses penentuan rute, salah satunya menggunakan *Ant Colony Optimization* (ACO). Penggunaan ACO pada permasalahan *Travelling Salesman Problem* (TSP) memberikan hasil yang baik [1], namun algoritme ini dianggap mempunyai konvergensi yang lambat dan cenderung stagnan [2]. Algoritme optimasi lainnya yang mempunyai kemampuan cukup baik dalam menyelesaikan permasalahan kombinatorial adalah algoritme genetika. Algoritme genetika meniru proses evolusi yang dilakukan oleh makhluk hidup di alam untuk menyelesaikan sebuah permasalahan. Algoritme genetika terbukti dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan penentuan rute [3][4], penjadwalan [5], dan sebagainya.

Pada permasalahan penentuan rute pengiriman *ice tube* di kota Malang ini, pemodelan yang digunakan adalah *Multi Travelling Salesman Problem* (M-TSP) karena terdapat banyak armada yang akan melakukan proses pengiriman ke berbagai tempat tujuan sesuai dengan lokasi pelanggan. Penerapan algoritme genetika dalam memecahkan masalah M-TSP dinilai cukup efektif, meskipun solusi yang diperoleh adalah solusi pendekatan. Hal ini dikarenakan algoritme genetika mampu mendapatkan solusi optimal, yaitu solusi yang dekat dengan solusi terbaik tanpa perlu mengecek semua kemungkinan solusi yang dapat menghabiskan banyak waktu.

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Algoritme Genetika

Algoritme genetika merupakan algoritme metaheuristik yang terinspirasi oleh proses seleksi alam. Algoritme ini juga termasuk dalam algoritme evolusioner yang cukup efektif dalam menyelesaikan permasalahan kombinatorial. Algoritme genetika ini biasanya digunakan untuk menghasilkan solusi berkualitas tinggi untuk optimasi dan masalah pencarian solusi [6]. Siklus perkembangan algoritme genetika diawali dengan pembuatan solusi baru (*initialization*) yang terdiri dari beberapa kromosom pada satu populasi, kemudian dilakukan reproduksi untuk mencari individu-individu baru atau keturunan baru yang akan dikembangkan pada tahapan berikutnya. Pada proses reproduksi, digunakan operator genetik berupa pindah silang (*crossover*) dan mutasi (*mutation*). Setelah proses reproduksi, proses selanjutnya adalah evaluasi yang berfungsi untuk memperbaiki individu lama yang mempunyai nilai *fitness* rendah dengan individu baru yang memiliki nilai *fitness* yang lebih baik. Siklus tersebut akan dilakukan secara berulang-ulang hingga seluruh individu memiliki nilai *fitness* yang baik serta mencapai kriteria optimum [7].

2.2. Multi Travelling Salesman Problem (M-TSP)

Permasalahan M-TSP merupakan perluasan dari permasalahan *Travelling Salesman Problem* (TSP). Pada M-TSP ini, *sales* yang melakukan perjalanan tidak hanya satu orang tetapi lebih dari satu *sales* [8]. Pada permasalahan ini, M-TSP dapat digunakan untuk mencari rute terpendek, serta untuk penjadwalan berbagai permasalahan optimasi.

Dalam perkembangannya, M-TSP memiliki berbagai bentuk variasi. Namun, model matematika yang dibangun pada penelitian ini akan didasarkan pada rute pengiriman produk *ice tube* oleh beberapa *sales*, dengan syarat beberapa *sales* tersebut berangkat dari kantor *ice tube*, kemudian harus mengunjungi seluruh lokasi pelanggan hanya sekali sesuai dengan rute yang telah ditentukan, dan kembali ke tempat semula (kantor *ice tube*). Persamaan M-TSP pada penelitian ini didefinisikan pada Persamaan (1),(2),(3),(4),(5) [9].

$$\min \sum \sum d_{ij} x_{ij} \tag{1}$$

dengan fungsi kendala sebagai berikut:

$$\sum_{j=2}^n x_{1j} = m \tag{2}$$

$$\sum_{j=2}^n x_{j1} = m \tag{3}$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, j = 2, 3, \dots, n \tag{4}$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, i = 2, 3, \dots, n \tag{5}$$

Persamaan (1) merupakan fungsi objektif yang digunakan untuk meminimumkan perjalanan dengan memperkecil nilai biaya atau jarak d_{ij} , dimana x_{ij} adalah jalan dari kota i ke kota j . Variabel x_{ij} bernilai 0 jika jalan tersebut tidak pernah dikunjungi dan bernilai 1 jika jalan tersebut sudah pernah dikunjungi. Sedangkan pada fungsi kendala, Persamaan (2) dan (3) menyatakan bahwa sebanyak m sales akan mengunjungi sejumlah n kota. Persamaan (4) menunjukkan bahwa setiap sales memulai perjalanan dari kota i , sedangkan persamaan (5) menunjukkan bahwa setiap sales mengunjungi kota j . Dengan demikian, persamaan (4) dan (5) menyatakan bahwa setiap kota hanya dikunjungi sebanyak satu kali.

3. Metodologi Penelitian

Pada penelitian ini, data yang digunakan adalah data jarak antara kantor *ice tube* dan masing-masing lokasi pelanggan yang terletak pada 10 tempat. Tabel 1 menunjukkan data lokasi pelanggan dan Tabel 2 menunjukkan data jarak antar masing-masing lokasi pelanggan.

Tabel 1. Data Lokasi Pelanggan

No	Nama Lokasi
1	Jalan Bendungan Sigura-gura
2	Jalan Sumpersari
3	Jalan Bendungan Sutami
4	Jalan Dieng
5	Jalan Mergan
6	Jalan Ijen
7	Jalan Soekarno-Hatta
8	Jalan Candi Panggung
9	Jalan Dinoyo
10	Jalan Tlogomas

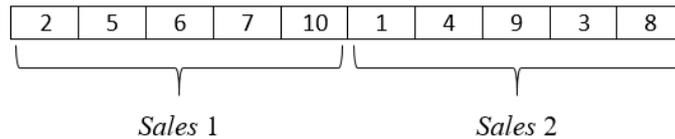
Tabel 2. Data Jarak (dalam Km)

Jarak	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	4	4	5	5	6	6.5	5	2	3
2	4	0	2	5	2	3.5	3	5	2.5	4.5
3	4	2	0	3	3	4.5	2.5	3	2	4
4	5	5	3	0	7	8	6	1	2.5	4
5	5	2	3	3	0	1.5	1.5	5.5	5	6
6	6	3.5	4.5	8	1.5	0	3.5	7	5	7
7	6.5	3	2.5	6	1.5	3.5	0	6	5	7
8	5	5	3	1	5.5	7	6	0	3	4.5
9	2	2.5	2	2.5	5	5	5	3	0	2
10	3	4.5	4	4	6	7	7	4.5	2	0

Setiap armada pengiriman atau *sales* berangkat dari lokasi awal kantor *ice tube* yang berada di Jalan Bendungan Sigura-gura. Kemudian setiap armada akan mengirimkan *ice tube* ke beberapa lokasi pelanggan sesuai dengan rute yang ditentukan. Jika proses pengiriman sudah selesai, maka semua armada diwajibkan kembali ke kantor *ice tube*.

3.1. Representasi kromosom

Langkah pertama penerapan algoritme genetika untuk menyelesaikan masalah optimasi adalah membentuk populasi awal. Populasi awal umumnya dibentuk dengan memberikan nilai acak untuk setiap gen di dalam sebuah kromosom [10]. Pada penelitian ini, jenis representasi kromosom yang digunakan adalah representasi permutasi. Dengan menggunakan representasi permutasi, nilai-nilai gen di dalam sebuah kromosom berupa bilangan bulat positif yang tidak berulang. Panjang kromosom menyesuaikan dengan jumlah lokasi yang akan dikunjungi, kemudian lokasi-lokasi tersebut dibagi berdasarkan jumlah sales yang akan melakukan proses antar. Gambar 1 menunjukkan contoh kromosom yang dapat dibentuk untuk menyelesaikan permasalahan penentuan rute.



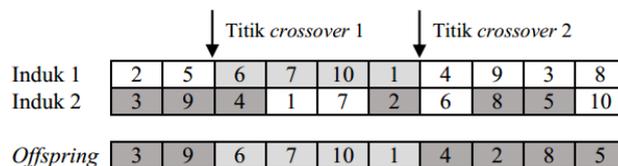
Gambar 1. Contoh Representasi Kromosom

Pada Gambar 1, terdapat dua sales yang ditugaskan untuk mengirimkan ice tube ke beberapa lokasi pelanggan. Setiap sales mengirimkan ice tube ke lima lokasi sesuai dengan urutan yang telah ditentukan. Setiap sales berangkat dari kantor ice tube di lokasi 1 (Jalan Bendungan Sigura-gura) dan kembali ke kantor ice tube setelah selesai melakukan pengiriman. Berdasarkan Gambar 1 dan Tabel 1, urutan rute yang ditempuh oleh sales 1 adalah Jalan Bendungan Sigura-gura – Jalan Sumbersari – Jalan Mergan – Jalan Ijen – Jalan Soekarno-Hatta – Jalan Tlogomas – Jalan Bendungan Sigura-gura. Sedangkan rute yang harus ditempuh oleh sales 2 adalah Jalan Bendungan Sigura-gura – Jalan Dieng – Jalan Dinoyo – Jalan Bendungan Sutami – Jalan Candi Panggung – Jalan Sigura-gura.

3.2. Crossover

Crossover pada dasarnya adalah proses mengganti beberapa gen di dalam satu induk dengan gen yang bersesuaian dari induk lain [11]. Proses crossover dilakukan untuk menghasilkan individu baru yang disebut dengan offspring. Jenis crossover yang digunakan pada penelitian ini adalah order crossover. Order crossover mencoba mempertahankan urutan bilangan seolah-olah vektor kromosom dibungkus dalam sebuah lingkaran, sehingga elemen terakhir diikuti oleh elemen pertama [12].

Proses ini diawali dengan memilih dua titik crossover secara acak pada induk pertama, kemudian salin potongan segmen di antara kedua titik crossover tersebut ke offspring. Selanjutnya, mulai dari titik crossover kedua pada induk kedua, salin isi gen tersisa yang belum terpakai ke offspring sesuai dengan urutan yang terdapat pada induk kedua [11]. Gambar 2 menunjukkan contoh proses crossover menggunakan order crossover.

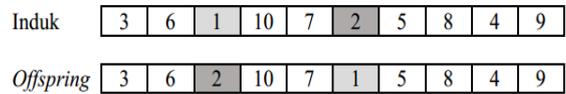


Gambar 2. Contoh Order Crossover

3.3. Mutasi

Mutasi merupakan operator yang bertanggung jawab untuk mencegah algoritme genetika terjebak dalam solusi optimum lokal atau biasa disebut konvergensi prematur. Kondisi ini terjadi ketika populasi algoritme genetika mencapai keadaan sub-optimal sehingga operator genetika tidak bisa lagi menghasilkan offspring dengan nilai fitness yang lebih baik dari induknya [13].

Metode mutasi yang digunakan pada penelitian ini adalah *swap mutation*. Proses mutasi diawali dengan memilih dua posisi gen secara acak, kemudian nilai gen dari kedua posisi tersebut ditukar [14]. Gambar 3 menunjukkan contoh proses mutasi menggunakan *swap mutation*.



Gambar 3. Contoh Swap Mutation

3.4. Evaluasi

Tahap evaluasi digunakan untuk mencari kromosom terbaik di dalam populasi yang nantinya akan digunakan pada proses selanjutnya. Pada tahap ini, setiap kromosom dihitung nilai *fitness*-nya agar dapat diketahui kualitas solusi yang dihasilkan oleh kromosom tersebut. Semakin besar nilai *fitness*, maka artinya semakin bagus solusi yang dihasilkan. Nilai *fitness* untuk penentuan rute pada permasalahan ini dihitung menggunakan Persamaan (6).

$$fitness = \sum_{i=1}^N \left(\frac{1}{d_i} \right) \tag{6}$$

Pada persamaan (6), *N* menunjukkan banyaknya *sales* yang melakukan pengiriman *ice tube* dan *d* menunjukkan total jarak tempuh untuk setiap *sales* dalam mengunjungi semua lokasi pelanggan.

3.5. Seleksi

Proses seleksi dilakukan dengan menggunakan metode *elitism selection*. Proses ini dilakukan dengan cara mengurutkan nilai *fitness* dari semua individu di dalam populasi yang terdiri dari kromosom-kromosom induk dan *offspring*. Selanjutnya, individu-individu dengan nilai *fitness* tertinggi di posisi atas akan melanjutkan proses evolusi di generasi berikutnya. Banyaknya individu yang diambil sesuai dengan jumlah populasi awal. Dengan demikian, terdapat kemungkinan *offspring* yang mempunyai nilai *fitness* lebih baik dari induknya akan bertahan hidup ke generasi berikutnya.

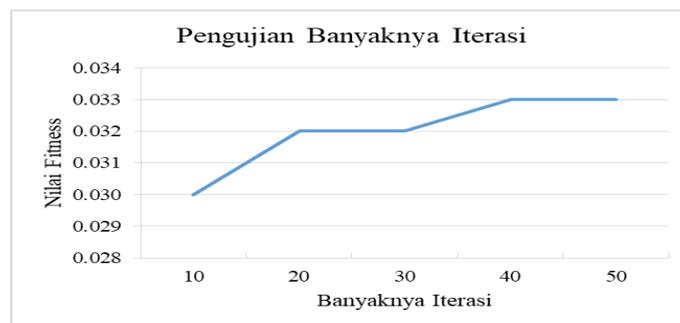
Metode *elitism selection* memastikan bahwa individu-individu terbaik di dalam populasi saat ini dapat bertahan untuk melanjutkan ke generasi berikutnya. Semakin banyak individu yang bertahan hidup ke generasi berikutnya, maka semakin sedikit keragaman populasi baru [15].

4. Hasil dan Diskusi

Untuk mengetahui parameter-parameter terbaik yang digunakan pada algoritme genetika agar mendapatkan solusi optimal, beberapa pengujian parameter dilakukan di dalam penelitian ini, yang terdiri dari pengujian banyaknya iterasi dan pengujian banyaknya populasi.

4.1. Pengujian Banyaknya Iterasi

Pengujian banyaknya iterasi digunakan untuk mengetahui nilai banyaknya iterasi terbaik untuk mendapatkan hasil optimal. Hasil pengujian banyaknya iterasi ditunjukkan pada Gambar 4.

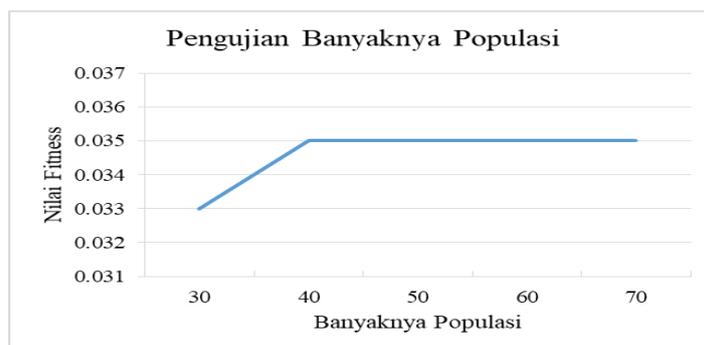


Gambar 4. Grafik Pengujian Banyaknya Iterasi

Berdasarkan grafik hasil pengujian banyaknya iterasi pada Gambar 4, dapat diketahui bahwa semakin banyak jumlah iterasi yang digunakan, maka semakin besar nilai *fitness* yang didapatkan. Semakin banyak jumlah iterasi menyatakan bahwa total jarak yang ditempuh oleh setiap *sales* akan semakin pendek karena nilai *fitness* berbanding terbalik dengan jarak. Namun, nilai *fitness* cenderung stabil ketika banyaknya iterasi berada di atas angka 40. Hal ini menunjukkan bahwa 40 merupakan banyaknya iterasi optimal.

4.2. Pengujian banyaknya populasi

Pengujian banyaknya populasi digunakan untuk mengetahui ukuran populasi terbaik untuk mendapatkan hasil optimal. Hasil pengujian banyaknya populasi ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Pengujian Banyaknya Populasi

Berdasarkan grafik hasil pengujian banyaknya populasi pada Gambar 5, dapat diketahui bahwa semakin banyak jumlah populasi yang digunakan, maka nilai *fitness* yang didapatkan juga semakin besar. Populasi sebanyak 30 memberikan rata-rata nilai *fitness* sebesar 0.033, kemudian nilai *fitness* mengalami kenaikan pada populasi 40, yaitu sebesar 0.035. Nilai *fitness* cenderung stabil sebesar 0.035 untuk populasi di atas 40. Hal ini menunjukkan bahwa 40 merupakan banyaknya populasi optimal.

5. Simpulan dan Saran

Algoritme genetika berhasil digunakan untuk penyelesaian masalah penentuan rute pengiriman *ice tube* di kota Malang dengan menggunakan pemodelan M-TSP. Sebuah rute perjalanan dibentuk untuk setiap *sales* yang ditugaskan mengirimkan *ice tube* ke beberapa tempat di kota Malang. Pembentukan rute dilakukan dengan menggunakan representasi permutasi yang menggambarkan indeks dari lokasi setiap pelanggan yang harus dikunjungi oleh *sales*. Parameter optimal yang digunakan oleh algoritme untuk menghasilkan solusi optimal adalah banyaknya iterasi sebesar 40 dan banyaknya populasi sebesar 40.

Pada penelitian selanjutnya, data pelanggan dan *sales* akan ditambahkan, selain itu biaya transportasi akan dimasukkan ke dalam perhitungan nilai *fitness* sehingga penentuan rute tidak hanya berdasarkan jarak tempuh *sales*, tetapi juga biaya yang dikeluarkan dalam proses pengiriman tersebut. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas solusi yang dihasilkan.

Referensi

- [1] Y. Ding, Research on TSP problem in e-commerce tourist based on ant colony algorithm, *Int. J. u- e-Service, Sci. Technol.*, vol. 7(3), pp. 277–288, 2014.
- [2] M. Dorigo, V. Maniezzo, and A. Colomi, Ant System: optimization by a colony of cooperating agents, *IEEE Trans. Syst. Man, Cybern. Part B Cybern.*, vol. 26(1), pp. 29–41, 1996.

- [3] F. Ramadhani, F. A. Fathurrachman, R. Fitriawanti, A. C. Rongre, and V. N. Wijayaningrum, Optimasi pendistribusian barang farmasi menggunakan algoritma genetika, *Kumpul. J. Ilmu Komput.*, vol. 5(2), pp. 159–168, 2018.
- [4] V. N. Wijayaningrum and W. F. Mahmudy, Optimization of ship's route scheduling using genetic algorithm, *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 2(1), pp. 180–186, 2016.
- [5] E. Suhartono, Optimasi penjadwalan mata kuliah dengan algoritma genetika (studi kasus di amik jtc semarang), *INFOKAM*, vol. 11(5), pp. 132–146, 2015.
- [6] N. A. S. Otorora and F. D. la Rosa, "Path Planning and Following using Genetic Algorithms to Solve the Multi-Travel Salesman Problem in Dynamic Scenarios," in *Proceedings of the 2017 18th International Conference on Advanced Robotics (ICAR)*, 2017, pp. 204–209.
- [7] X.-S. Yang, *Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms*, Second Edi. Luniver Press, 2010.
- [8] S. Singh and E. A. Lodhi, Comparison study of multiple traveling salesmen problem using genetic algorithm, *Int. J. Comput. Sci. Netw. Secur.*, vol. 14(7), pp. 107–110, 2014.
- [9] F. Y. Saptaningtyas, Multi traveling salesman problem (MTSP) dengan algoritma genetika untuk menentukan rute loper koran di agen surat kabar, *Pythagoras*, vol. 7(2), pp. 55–64, 2012.
- [10] Q. Kotimah, W. F. Mahmudy, and V. N. Wijayaningrum, Optimization of fuzzy tsukamoto membership function using genetic algorithm to determine the river water, *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 7(5), pp. 2838–2846, 2017.
- [11] F. Glover and G. A. Kochenberger, *Handbook of Metaheuristics*. United States of America: Kluwer Academic Publisher, 2003.
- [12] R. L. Haupt and S. E. Haupt, *Practical Genetic Algorithms*. United States of America: John Willey & Sons, Inc., 2004.
- [13] D. Gupta and S. Ghafir, An overview of methods maintaining diversity in genetic algorithms, *Int. J. Emerg. Technol. Adv. Eng.*, vol. 2(5), pp. 56–60, 2012.
- [14] A. E. Eiben and J. E. Smith, *Introduction to Evolutionary Computing*, Second Edi. United States of America: Springer, 2015.
- [15] A. P. Engelbrecht, *Computational Intelligence*. England: John Wiley & Sons. Inc., 2007.