

ANALISIS MAPPING PADA *PARTIALLY MAPPED CROSSOVER* DALAM ALGORITMA GENETIKA PADA *TRAVELLING SALESMAN PROBLEM*

Sri Melvani Hardi ¹⁾, Muhd. Zarlis²⁾,Erna Budiarti³⁾

Abstract

Traveling salesman problem is the problem how salesman can set tour to visit a number of cities which known distance of the city with other cities so that the distance is the minimum distance where the salesman can only visit the city exactly once. To resolve TSP problem, there are many optimization methods that can be used one of them which is a genetic algorithm. Genetic algorithm is an algorithm which have same search method as a mechanism of biological evolution. Crossover is a genetic operator which the process of exchanging some genes on chromosome first parent with the majority of genes in the two parent chromosomes to form a new chromosome .One of the crossover method used in solving traveling salesman problem is partially mapped crossover (PMX),where the process mapping of PMX are determines the variation exchange of genes on chromosomes that affect the achievement of best fitness on 2 chromosome. In this study the first variation (PMX variation I) is designed using random point position while in the second variation (PMX variation II) is designed by using the change in the mapping area. Testing in this study using data from the Travelling Salesman Problem Library (TSPLIB). The result obtained that PMX which designed by using randomly cut position have best fitness better than PMX is designed by changing the position of the mapping area and if it compared with the general form of PMX with the same position cut point.

Keyword : Travelling Salesman Problem, Genetic Algorithm, Partially Mapped Crossover(PMX)

PENDAHULUAN

Travelling Salesmen Problem (TSP) termasuk ke dalam kelas NP hard yang pada umumnya menggunakan pendekatan heuristik untuk mencari solusinya.

¹ Mahasiswa Magister Teknik Informatika Universitas Sumatera Utara

^{2,3}FASILKOM TI, Universitas Sumatera Utara

Permasalahan utama dari TSP adalah bagaimana seorang salesman dapat mengatur rute perjalanannya untuk mengunjungi sejumlah kota yang diketahui jarak satu kota dengan kota lainnya sehingga jarak yang ditempuh merupakan jarak minimum dimana salesman hanya dapat mengunjungi kota tersebut tepat satu kali. Untuk menyelesaikan masalah TSP banyak metode optimasi yang dapat digunakan yaitu *Hill Climbing Method*, *Ant Colony System*, *Dynamic Programming*, *Algoritma Greedy*, *Algoritma Brute Force* dan *Algoritma Genetika*

Dibanding metode optimasi lain, algoritma genetika memiliki perbedaan dalam empat hal, yaitu algoritma genetika bekerja dengan struktur - struktur kode variabel, menggunakan banyak titik pencarian (multiple point), informasi yang dibutuhkan hanya fungsi obyektifnya saja (sehingga menjadikan implementasinya lebih sederhana), serta menggunakan operator stokastik dengan pencarian terbimbing (Goldberg, 1989).

Algoritma genetika merupakan algoritma yang diciptakan berdasarkan inspirasi dari mekanisme seleksi alam dimana salah satu individu yang lebih kuat menjadi pemenang dari lingkungan yang berkompetisi (Sastry, K,et.al. 2004). Algoritma genetika ini banyak dipakai pada aplikasi bisnis, teknik maupun bidang keilmuan. Algoritma ini dapat dipakai untuk mendapatkan solusi yang tepat untuk masalah optimasi. Algoritma genetika telah terbukti menjadi pendekatan terbaik karena seluruh ruang pencarian tidak perlu dilalui dalam memperoleh global minimum (Ahmed, 2010).

Konsep dasar algoritma genetika relatif mudah dipahami, karena komponen-komponen pembentuk algoritma ini mencerminkan kehidupan di alam. Proses pencarian pada algoritma genetika dimulai dengan memilih himpunan penyelesaian, digambarkan dengan kromosom yang disebut dengan populasi. Solusi dari satu populasi diambil untuk membentuk populasi baru, dimana pemilihannya tergantung dari *fitness* terbaiknya. Hal ini dimotivasi dengan harapan bahwa populasi yang baru akan lebih baik dibandingkan populasi terdahulu. Proses ini dilakukan berulang-ulang hingga kondisi tertentu terpenuhi.

Algoritma genetika umumnya terdiri dari tiga operasi yaitu: operasi reproduksi, operasi crossover (persilangan), dan operasi mutasi dimana rekombinasi dari ketiga aspek tersebut merupakan aspek yang memiliki peranan penting. *Crossover* (persilangan) yang merupakan operator dari algoritma genetika yang melibatkan dua induk untuk membentuk kromosom baru. Proses ini dilakukan dengan menukar sebagian informasi pada kromosom induk pertama dengan informasi dari kromosom induk kedua. Proses *crossover* dilakukan pada setiap individu dengan probabilitas *crossover* yang ditentukan. Jika tidak terjadi *crossover*, satu induk dipilih secara random dengan probabilitas yang sama dan di duplikasi menjadi anak. Jika terjadi *crossover*, keturunan didapatkan dari bagian-bagian kromosom induk. Jika probabilitas *crossover* 100% maka keseluruhan keturunan didapatkan dengan *crossover*. Jika probabilitas *crossover* 0% maka generasi baru dibuat dari salinan kromosom-kromosom dari populasi lama yang belum tentu menghasilkan populasi yang sama dengan populasi sebelumnya karena adanya penekanan selektif. Dengan dilakukannya proses *crossover* akan menghasilkan keanekaragaman kromosom dalam populasi. Tingkat *croosover* yang tinggi menyebabkan semakin besar kemungkinan algoritma genetika mengeksplorasi ruang pencarian sekaligus mempercepat ditemukannya solusi optimum. Secara tradisional, jumlah *crossover* point (yang menentukan berapa banyak segmen yang dipertukarkan) telah ditentukan pada one point atau two point. (Holland, 1975). Metode *crossover* yang digunakan dalam menyelesaikan *Travelling Salesman Problem* salah satunya yaitu *partially mapped crossover*.

Beberapa penelitian yang telah dilakukan terlebih dahulu yang terkait dengan optimasi menggunakan algoritma genetika yaitu penelitian yang dilakukan oleh (Samuel, *et al.* 2005) membahas bagaimana algoritma genetik menyelesaikan TSP dengan menggunakan metode *order crossover* sebagai teknik rekombinasi dan metode *insertion mutation* sebagai teknik mutasi yang digunakan pada algoritma genetik; (Annies,*et al.* 2002) menunjukkan bahwa algoritma genetika dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah optimasi yang kompleks seperti mencari rute paling optimum, menggunakan beberapa metode seleksi yaitu *roulette wheel*, *elitism* dan gabungan antara metode *roulette wheel* dan *elitism*. Ada dua jenis *crossover* yang digunakan yaitu *one cut point crossover* dan *two cut point crossover*;

(Tamilarasi & Kumar 2010) menemukan sebuah metode baru dalam penyelesaian masalah penjadwalan job shop menggunakan *hybrid Genetic Algorithm (GA)* dengan *Simulated Annealing (SA)*; sementara itu (Nasution, 2012) membahas analisis penyelesaian TSP menggunakan *partially mapped crossover* dengan menentukan nilai probabilitas crossover 20%, 40%, 60%, 80% dan 99%. (Kusum Deep & Hadush Mebrahtu, 2012) membuat variasi pada *partially mapped crossover* dengan menentukan letak kromosom dalam posisi acak. (Al kasasbeh, et al. 2012) menambahkan sebuah procedure baru pada algoritma genetika untuk menyelesaikan TSP yaitu dengan metode *shared neighbour*.

Meskipun telah banyak penelitian dengan menggunakan beberapa *crossover point* untuk mendapatkan rute yang optimal pada *travelling salesman problem* tetapi belum diketahui pengaruh mapping pada *Partially Mapped Crossover (PMX)* dalam pencapaian *best fitness*, berdasarkan latar belakang masalah tersebut penulis tertarik untuk melakukan penelitian lebih mendalam untuk mengetahui bagaimana pengaruh mapping pada PMX dalam pencapaian *best fitness*.

TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melihat pengaruh mapping pada *Partially Mapped Crossover (PMX)* terhadap pencapaian *best fitness* serta transaksi pembayaran terhadap produk yang dibeli.

MANFAAT PENELITIAN

1. Menambah pemahaman dan pengetahuan penulis mengenai operator genetika *Partially Mapped Crossover (PMX)* *travelling salesman problem*
2. Mengetahui penggunaan algoritma genetika yang dapat menghasilkan hasil yang optimal pada *travelling salesman problem*

BATASAN MASALAH

Terdapat beberapa batasan yang dibuat untuk lebih memfokuskan pada tujuan yang ingin dicapai, yaitu diantaranya :

1. Analisis dilakukan terhadap mapping pada partially mapped crossover (PMX).
2. Data pengujian menggunakan dua sampel data yaitu `eil51.tsp` dan `eil76.tp` yang diperoleh dari TSPLIB <http://www.iwr.uni-heidelberg.de/iwr/comopt/software/TSPLIB95/>.
3. Pengujian akan dilakukan dengan menggunakan probabilitas crossover 0,25 0,50 dan 1 serta probabilitas mutasi 0,1.

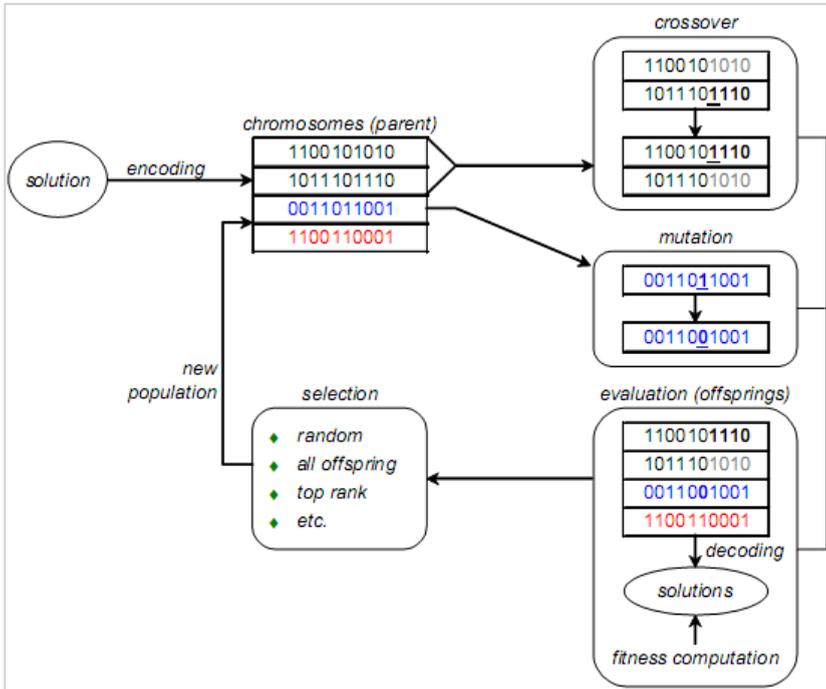
TRAVELLING SALESMAN PROBLEM

Persoalan yang dihadapi TSP ialah bagaimana merencanakan total jarak yang minimum. Untuk menyelesaikan persoalan tersebut, tidak mudah dilakukan karena terdapat ruang pencarian dari sekumpulan permutasi sejumlah kota. Maka TSP kemudian dikenal dengan persoalan Non Polinomial.

ALGORITMA GENETIKA

Algoritma Genetika sebagai cabang dari Algoritma Evolusi merupakan metode yang digunakan untuk memecahkan suatu pencarian nilai dalam sebuah masalah optimasi yaitu permasalahan-permasalahan yang tak linier (Mitsuo & Runwei, 2000).

Secara umum tahapan proses dari algoritma genetika diperlihatkan pada Gambar 1. Seperti terlihat pada gambar kromosom merupakan representasi dari solusi. Operator genetika yang terdiri dari *crossover* dan mutasi dapat dilakukan kedua-duanya atau hanya salah satu saja yang selanjutnya operator evolusi dilakukan melalui proses seleksi kromosom dari *parent* (generasi induk) dan dari *offspring* (generasi turunan) untuk membentuk generasi baru (*new population*) yang diharapkan akan lebih baik dalam memperkirakan solusi optimum, proses iterasi kemudian berlanjut sesuai dengan jumlah generasi yang telah ditetapkan.



Gambar 1 : Ilustrasi tahapan proses dari algoritma genetika (Gen & Cheng., 1997)

TEKNIK PENGKODEAN

Teknik pengkodean adalah bagaimana mengkodekan gen dari kromosom, gen merupakan bagian dari kromosom. Gen dapat direpresentasikan dalam bentuk bit, bilangan real, string, daftar aturan, gabungan dari beberapa kode, elemen permutasi, elemen program atau representasi lainnya yang dapat diimplementasikan untuk operator genetika.

MEMBANGKITKAN POPULASI AWAL DAN KROMOSOM

Membangkitkan populasi awal adalah proses membangkitkan sejumlah individu atau kromosom secara acak atau melalui prosedur tertentu. Ukuran untuk populasi tergantung pada masalah yang akan diselesaikan dan jenis operator genetika yang akan diimplementasikan. Setelah ukuran populasi ditentukan, kemudian dilakukan pembangkitan populasi awal. Apabila ukuran populasi yang dipilih terlalu kecil, maka tingkat eksplorasi atas ruang pencarian global akan terbatas, walaupun arah

menuju konvergensi lebih cepat. Apabila ukuran populasi terlalu besar, maka waktu akan banyak terbuang karena berkaitan dengan besarnya jumlah data yang dibutuhkan dan waktu ke arah konvergensi akan lebih lama (Goldberg, 1989).

EVALUASI FITNESS

Suatu individu dievaluasi berdasarkan suatu fungsi tertentu sebagai ukuran performansinya. Didalam evolusi alam, individu yang bernilai fitness tinggi yang akan bertahan hidup. Sedangkan individu yang bernilai fitness rendah akan mati.

SELEKSI

Dalam proses reproduksi setiap individu populasi pada suatu generasi diseleksi berdasarkan nilai fitnessnya untuk bereproduksi guna menghasilkan keturunan. Probabilitas terpilihnya suatu individu untuk bereproduksi adalah sebesar nilai fitness individu tersebut dibagi dengan jumlah nilai fitness seluruh individu dalam populasi (Davis, 1991). Proses seleksi memiliki beberapa jenis metode, berikut ini adalah beberapa metode seleksi yang sering digunakan yaitu:

SELEKSI RODA ROULETTE (ROULETE WHEEL SELECTION)

Metode seleksi roda roulette merupakan metode seleksi yang paling sederhana. Metode ini juga sering dikenal dengan nama *stochastic sampling with replacement*. Pada metode ini cara kerja seleksi berdasarkan nilai *fitness* dari tiap individu, jadi individu yang memiliki nilai *fitness* terbaik mempunyai kesempatan lebih besar untuk terpilih sebagai orang tua.

Langkah-langkah seleksi roulette wheel :

1. Dihitung nilai fitness masing-masing individu (f_i dimana i adalah individu ke 1 s/d ke- n)
2. Dihitung total fitness semua individu ,
3. Dihitung fitness relatif masing-masing individu
4. Dari fitness relatif tersebut, dihitung fitness kumulatifnya.
5. Dibangkitkan nilai random

6. Dari bilangan random yang dihasilkan, ditentukan individu mana yang terpilih dalam proses seleksi

CROSSOVER

Crossover (pindah silang) adalah proses pemilihan posisi string secara acak dan menukar karakter- karakter stringnya (Goldberg, 1989). Fungsi crossover adalah menghasilkan kromosom anak dari kombinasi materi-materi gen dua kromosom induk. Probabilitas crossover (P_c) ditentukan untuk mengendalikan frekuensi crossover.

PARTIALLY MAPPED CROSSOVER (PMX)

PMX diciptakan oleh Goldberg dan Lingle. PMX merupakan rumusan modifikasi dari pindah silang dua-poin. Hal yang penting dari PMX adalah pindah silang dua poin ditambah dengan beberapa prosedur tambahan.

Contoh:

Pilih posisi untuk menentukan substring secara acak

Induk 1 : 1 2 3 | 4 5 6 | 7 8

Induk 2 : 3 7 5 | 1 6 8 | 2 4

Diperoleh :

Anak 1 : 4 2 3 | 1 6 8 | 7 5

Anak 2 : 3 7 8 | 4 5 6 | 2 1

MUTASI

Operator mutasi dioperasikan sebagai cara untuk mengembalikan materi genetic yang hilang. Melalui mutasi, individu baru dapat diciptakan dengan melakukan modifikasi terhadap satu atau lebih nilai gen pada individu yang sama. Mutasi mencegah kehilangan total materi genetika setelah reproduksi dan pindah silang. Mutasi ini berperan untuk menggantikan gen yang hilang dari populasi akibat seleksi yang memungkinkan munculnya kembali gen yang tidak muncul pada inisialisasi populasi.

PERMUTATION ENCODING

Order changing dengan memilih dua nilai dari gen dan menukarnya.

Contoh :

(12345 897) => (183456297)

PARAMETER - PARAMETER DALAM ALGORITMA GENETIKA

Parameter genetika yang sering digunakan meliputi ukuran populasi (N), probabilitas pindah silang (Pc), dan probabilitas mutasi (Pm). Pemilihan ukuran populasi yang digunakan tergantung pada masalah yang akan diselesaikan. Untuk masalah yang lebih kompleks biasanya diperlukan ukuran populasi yang lebih besar guna mencegah konvergensi prematur (yang menghasilkan optimum lokal).

ANALISIS

Crossover merupakan salah satu aspek penting dalam algoritma genetika untuk menghasilkan *best fitness*. *Partially mapped crossover* (PMX) merupakan salah satu metode dalam *crossover* dimana pada penelitian ini akan menganalisis mapping pada PMX dalam pencapaian *best fitness* terhadap 2 kromosom.

DATA YANG DIGUNAKAN

Data yang digunakan merupakan data benchmark yang diambil dari TSPLIB dimana TSPLIB merupakan library dari contoh data untuk permasalahan TSP dari berbagai sumber dan bermacam tipe permasalahan TSP. Jenis data file .tsp yang digunakan sebagai data uji adalah data TSP Simetri dimana jarak antara titik I ke titik J sama dengan jarak titik J ke titik I. Adapun data yang digunakan yaitu data eil51.tsp dan eil76.tsp dimana kedua data tersebut mendukung tipe EDGE_WEIGHT_TYPE: EUC_2D, yaitu koordinat posisi dengan format Euclidian 2 dimensi. Data eil51 dan eil76 berarti data yang berisikan koordinat 51 kota eilon dan koordinat 76 kota eilon. Untuk setiap tipe EUC_2D titik koordinat harus diketahui untuk setiap titik.

Pada Euclidian 2 dimensi digunakan perhitungan jarak antara titik I ke J adalah sebagai berikut

$$d_{(i,j)} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

keterangan:

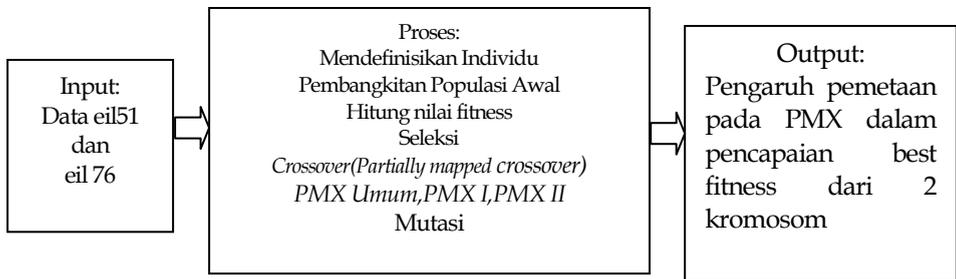
x_i = koordinat x kota i

x_j = koordinat x kota j
 y_i = koordinat y kota i
 y_j = koordinat y kota j

Nilai probabilitas crossover (P_c) yang digunakan yaitu 0,25 0,50 dan 1 dimana dipilih dari nilai P_c yang berskala kecil, sedang dan tinggi sebagai nilai untuk pengujian dari masing-masing data.

Algoritma Genetika pada Travelling Salesman Problem (TSP)

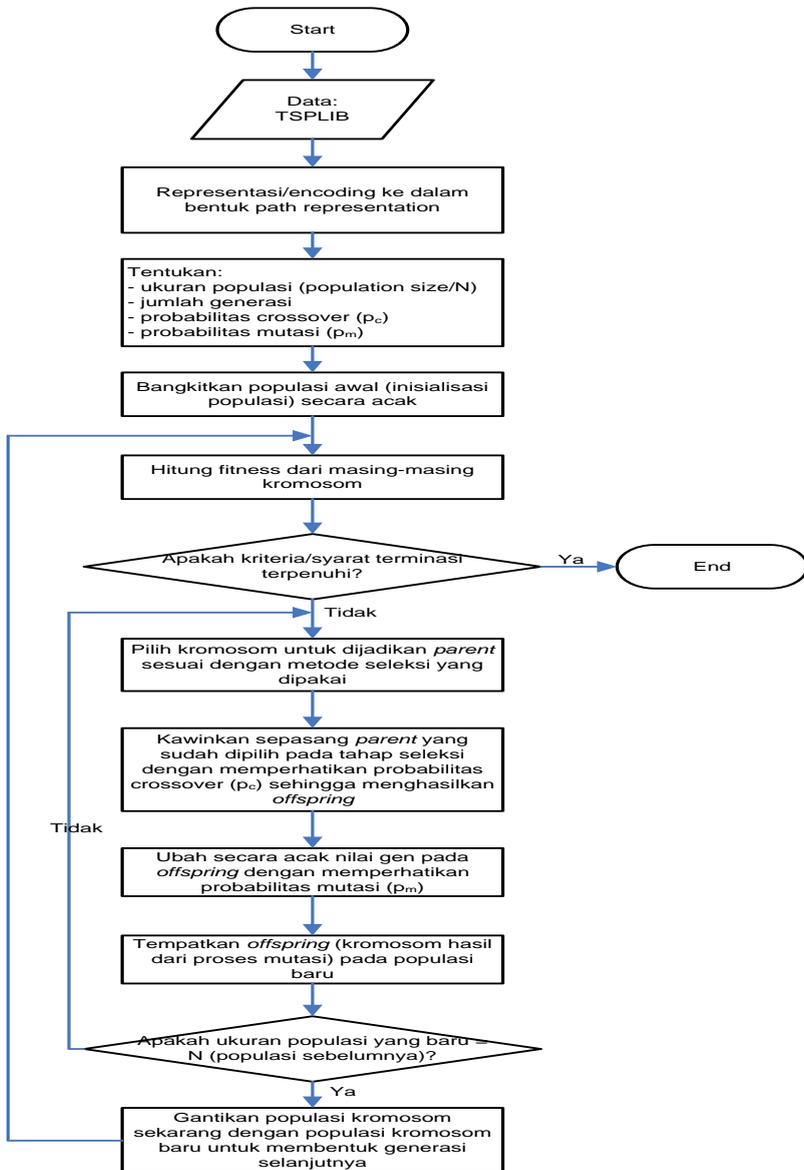
Adapun prosedur kerja dari penelitian ini dapat dilihat secara keseluruhan pada Gambar 2 di bawah ini



Gambar 2. Metode Penelitian

DASAR ALGORITMA GENETIKA

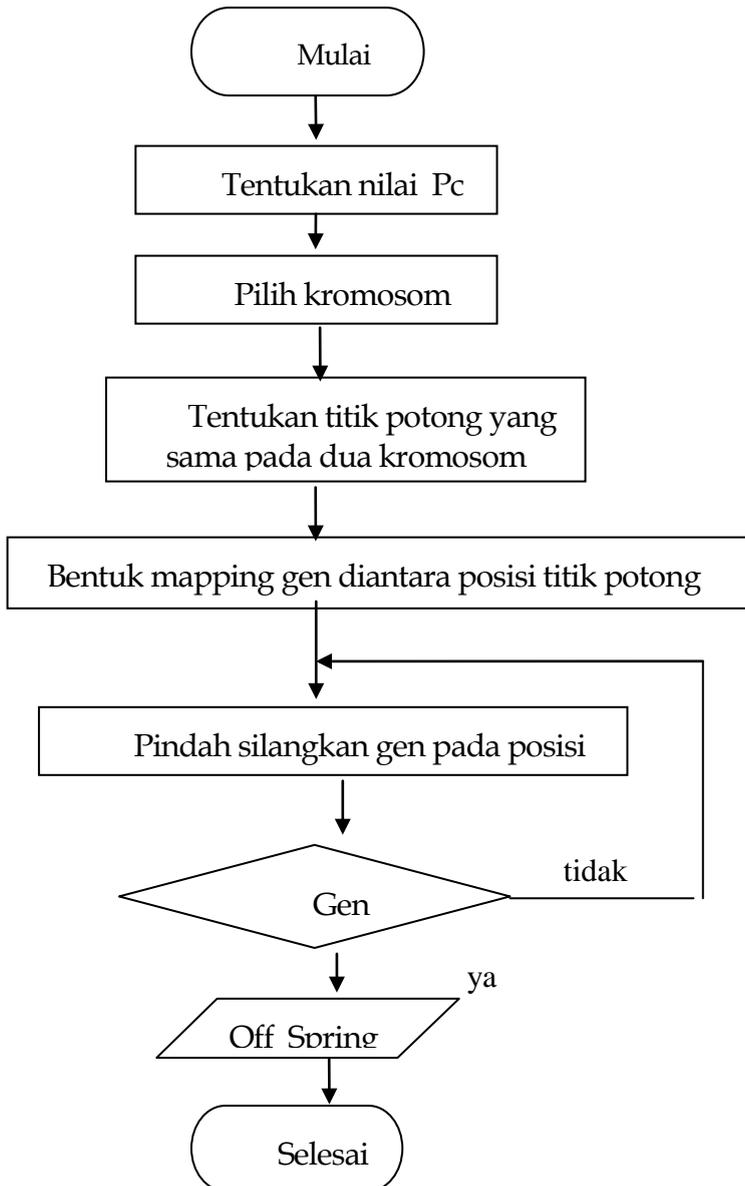
Dalam algoritma genetika terdapat beberapa proses atau tahapan yang harus dilakukan. Pada Gambar 3 diperlihatkan proses yang terdapat pada algoritma genetika



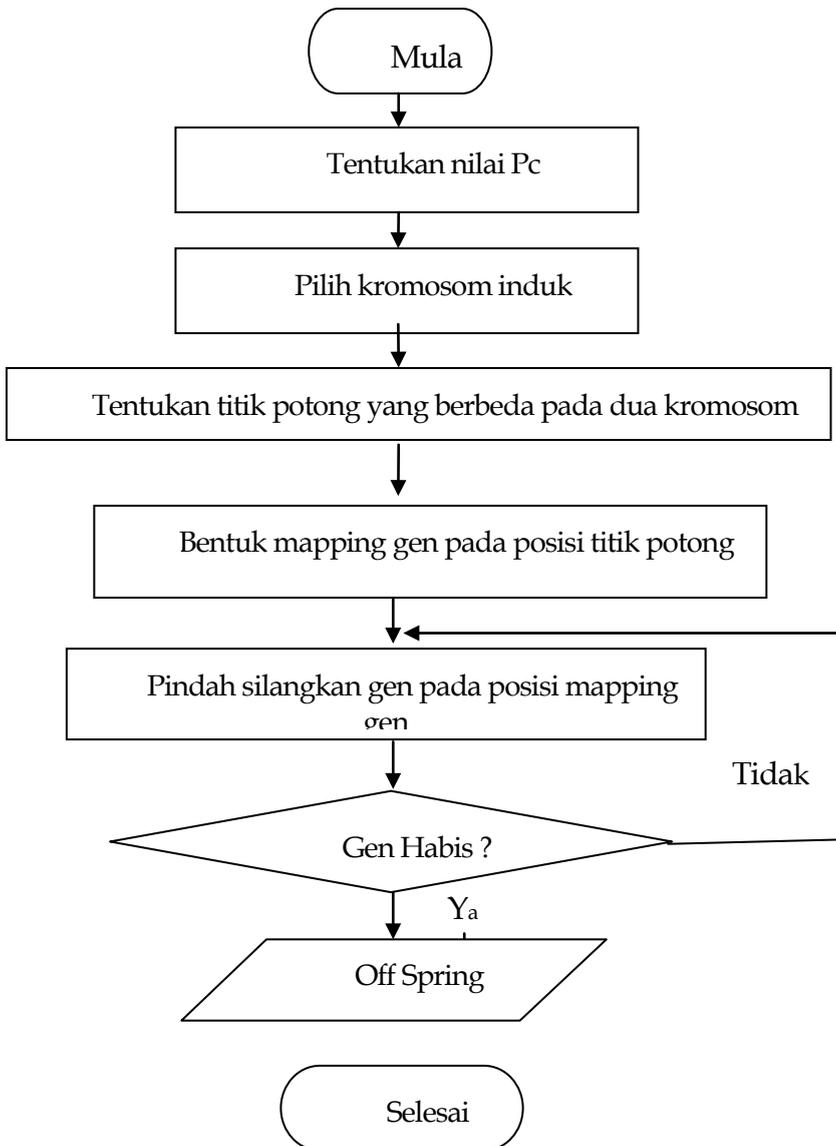
Gambar 3 Dasar Algoritma Genetika

Pada algoritma genetika terdapat proses crossover dimana pada proses ini terjadi pertukaran gen antara kromosom induk. Pada penelitian ini penulis pengaruh menganalisis mapping dari ketiga bentuk variasi PMX. Berikut ini Flowchart Partially Mapped Crossover (PMX) Umum,

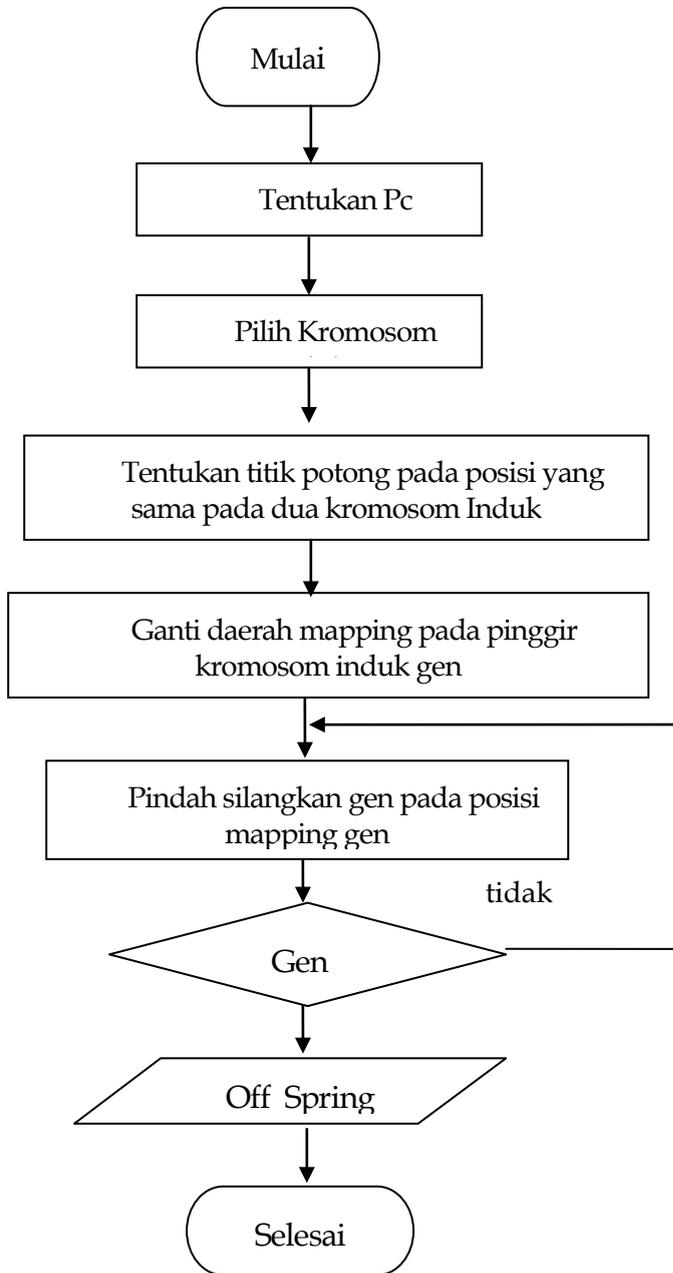
PMX Variasi I dan PMX Variasi II dapat dilihat pada Gambar 4, 5 dan 6 dibawah ini.



Gambar 4 Flowchart *Partially Mapped Crossover (PMX) Umum*



Gambar 5. Flowchart Partially Mapped Crossover (PMX) Variasi I



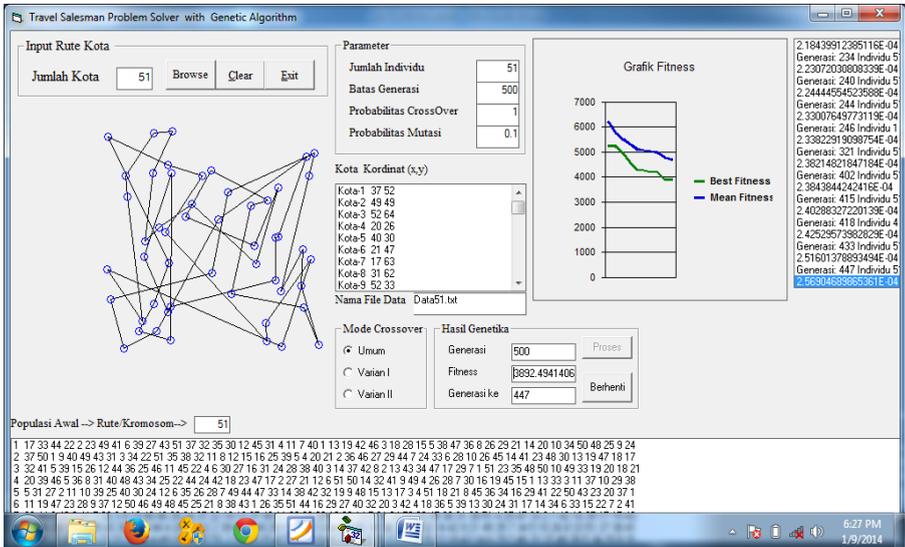
Gambar 6. Flowchart Partially Mapped Crossover (PMX) Variasi II

PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

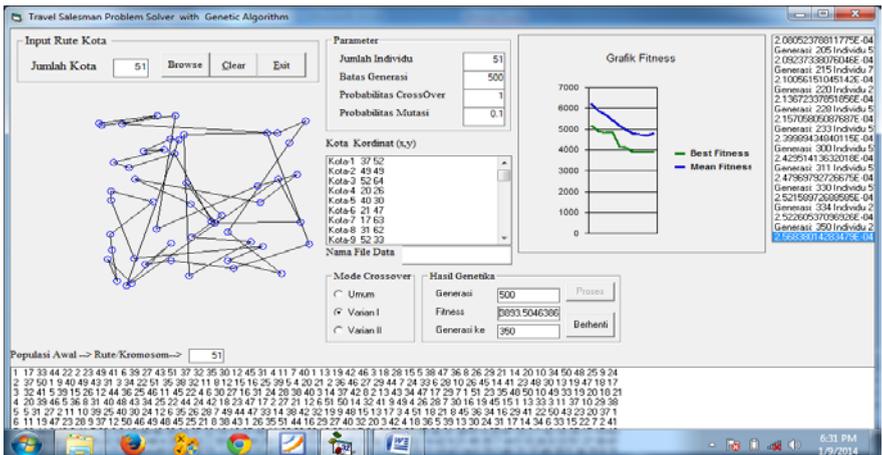
Pada penelitian ini akan ditampilkan hasil dari variasi *partially mapped crossover*(PMX) pada algoritma genetika. Sehingga nanti akan dilihat hasil best fitness yang didapatkan oleh 3 variasi PMX yang berbeda. Pengujian akan dilakukan dengan menggunakan data eil51 dan eil76 dengan menggunakan 3 parameter yaitu probabilitas crossover, generasi, dan probabilitas mutasi. Hasil yang diperoleh pada penelitian ini adalah berupa best fitness dimana pada penelitian ini menggunakan metode crossover PMX dengan 3 variasi yaitu PMX bentuk umum, PMX I, dan PMX II dengan nilai probabilitas crossover 0,25 0,50 dan 1.

Berdasarkan hasil percobaan dengan menggunakan data eil51 data eil76 pada probabilitas crossover 0,25 0, dan 1 diperoleh hasil bahwa PMX variasi I dengan variasi titik potong kromosom secara acak dengan posisi mapping terletak diantara 2 titik potong acak memperoleh best fitness yang paling baik dibandingkan dengan PMX variasi II yang titik potong nya terletak pada posisi yang sama tetapi daerah mapping nya terletak pada tepi kromosom dan jika dibandingkan dengan PMX variasi umum. Variasi pada titik potong yang dilakukan secara acak dapat mempengaruhi mapping gen pada proses crossover sehingga gen yang dihasilkan lebih bervariasi dan mempengaruhi pencapaian best fitness pada proses genetika.

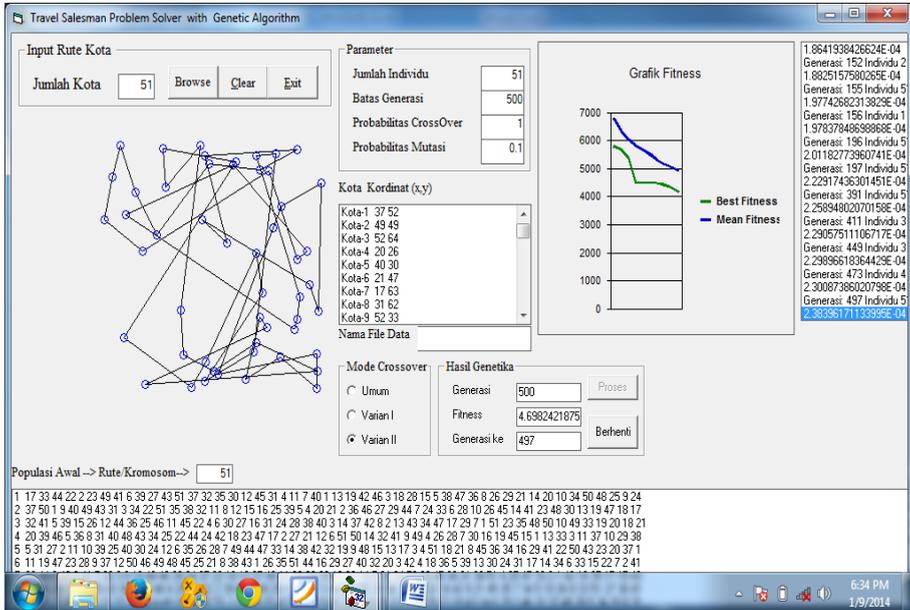
Untuk hasil pengujian dengan menggunakan data eil51 dapat dilihat pada Gambar 7 diperlihatkan bahwa pada best fitness pada PMX umum yaitu $2.56904689865361E-04$ pada generasi ke 447 dengan rute optimal sebesar 3892.494140625, kemudian pada Gambar 8 diperlihatkan best fitness PMX Variasi I sebesar $2.56858014283479E-04$ pada generasi ke 350 dengan rute 3893.50463867188 sedangkan pada Gambar 9 PMX Variasi II dengan best fitness sebesar $2.38396171133995E-04$ pada generasi ke 497 dengan rute optimal 4194.6982421874. Besarnya best fitness berbanding terbalik dengan rute optimal, makin besar best fitness maka makin rendah rute optimal.



Gambar 7. PMX umum (Pc =1)



Gambar 8. PMX variasi1(Pc =1)



Gambar 9. PMX variasi II(Pc = 1)

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mapping pada partially mapped crossover dalam algoritma genetika dapat mempengaruhi pencapaian best fitness pada 2 kromosom karena semakin banyak gen yang dilakukan pemetaan maka semakin bervariasi gen yang dihasilkan. Mapping dengan titik potong acak menghasilkan gen yang lebih bervariasi dibandingkan mapping pada titik potong yang sama dan jika dibandingkan dengan mapping yang dilakukan pada daerah pinggir kromosom.
2. Berdasarkan hasil yang dicapai pada penelitian ini diperoleh bahwa PMX dengan variasi titik potong kromosom yang dilakukan secara acak (variasi I) dapat menghasilkan best fitness yang lebih baik dibandingkan PMX dengan posisi titik potong

yang sama (bentuk umum) dan PMX dengan posisi daerah mapping yang terletak pada pinggir kromosom (variasi II)

SARAN

1. Penelitian ini dapat dikembangkan lagi dengan menambahkan banyaknya generasi sehingga dapat diperoleh perbandingan hasil yang lebih baik.
2. Pada penelitian selanjutnya dapat ditambahkan variasi dari PMX dengan letak mapping dan posisi kromosom yang acak serta penambahan jumlah titik potong yang biasanya dilakukan dengan menggunakan 2 titik potong maka bias ditambahkan dengan 4 titik potong.
3. Penambahan data uji yang lebih bervariasi sehingga didapatkan hasil yang lebih bervariasi.

REFERENSI

- A. Tamilarasi and T. Anantha kumar. (2010). An enhanced genetic algorithm with simulated annealing for job-shop scheduling. *International Journal of Engineering, Science and Technology* Vol. 2, No. 1, 2010, pp. 144-151
- Ahmed, Z., Younas, I., & Zahoor, M (2010). A Novel Genetic Algorithm for GTSP. *International Journal of Computer Theory and Engineering*, Vol.2, No.6, December, 2010 1793-8201
- Al kasassbeh, M., Alabadleh, A., & Al-Ramadeen, T. (2012). Shared Crossover Method for Solving Traveling Salesman Problem. *IJICS* Volume 1, Issue 6, September 2012 PP. 153-158
- Davis, L. (1991). *Handbook of Genetic Algorithms*. New York : Van Nostrand Reinhold.

- Deep, Kusum & Mebrahtu, Hadush. (2011). Combined Mutation Operators of Genetic Algorithm for the Travelling Salesman problem. Department of Mathematics, Indian Institute of Technology, Roorkee, India International Journal of Combinatorial Optimization Problems and Informatics, Vol. 2, No.3, Sep-Dec 2011, pp. 1-23, ISSN: 2007-1558.
- Deep, Kusum & Mebrahtu, Hadush. (2012). Variant of partially mapped crossover for the Travelling Salesman problems. Department of Mathematics, Indian Institute of Technology, Roorkee, India International Journal of Combinatorial Optimization Problems and Informatics, Vol. 3, No. 1. Jan-April 2012, pp. 47-69. ISSN: 2007-1558.
- Gen M., Cheng R., (1997). Genetic Algorithms & Engineering, Jhon Willey and Sons.
- Gen, Mitsuo & Cheng, Runwei. (2000) Genetic Algorithms and Engineering Optimization. Ashikaga, Japan: Institute of Technology.
- Goldberg, D. E. (1989). Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning. Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company, Inc
- Hannawati A., Thiang, Eleazar, 2002, Pencarian Rute Optimum Menggunakan Algoritma Genetika, Jurnal Teknik Elektro Vol.2, No.2, September 2002:78-83.
- Misevičius, Alfonsas & Kilda, Bronislovas. (2005). Comparison Of Crossover Operators For The Quadratic Assignment Problem. Department of Practical Informatics, Computer Department Kaunas University of Technology Kaunas, Lithuania ISSN 1392 - 124X Information Technology And Control, 2005, Vol.34, No.2
- Nasution, K. (2012). Analisis Pemilihan Partially Mapped Crossover Algoritma Genetika pada Penyelesaian Travelling Salesman Problem. Tesis. Medan, Indonesia: Universitas Sumatera Utara

- Samuel L., Toni A. dan Willi Y., 2005, Penerapan Algoritma Genetika Untuk Salesman Problem Dengan Menggunakan Metode Order Crossover dan Insertion Mutation, Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi 2005 (SNATI 2005), Yogyakarta
- Sastry, K. et.al. (2004). Genetic Programming for Multiscale Modeling. Urbana: University of Illinois at Urbana-Champaign. International Journal of Engineering, Science and Technology Vol. 2, No. 1, 2010, pp. 144-151.