

Optimasi *Multiple Travelling Salesman Problem* Pada Pendistribusian Air Minum Menggunakan Algoritme Genetika (Studi Kasus: UD. Tosa Malang)

Sayyidah Karimah¹, Agus Wahyu Widodo², Imam Cholissodin³

Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya
Email: ¹ksayyidah@gmail.com, ²a_wahyu_w@ub.ac.id, ³imamcs@ub.ac.id

Abstrak

Distribusi yang baik merupakan salah satu strategi perusahaan untuk meningkatkan produktivitas perusahaan. Strategi distribusi sangat diperlukan, karena bisnis air minum kemasan mengalami peningkatan setiap tahun. Distributor air minum kemasan memiliki berbagai macam jenis dan merk barang dengan variasi bentuk kemasan yang berbeda. Tujuan pengiriman yang banyak menimbulkan masalah tentang proses distribusi, karena alamat dan jarak yang berbeda membutuhkan waktu lebih untuk sampai pada tempat tujuan. Penelitian ini memiliki tujuan untuk membuat sistem yang dapat membantu proses distribusi barang dengan sales lebih dari satu, permasalahan tersebut disebut dengan *Multiple Travelling Salesman Problem* (M-TSP). Salah satu metode untuk menyelesaikan masalah M-TSP yaitu menggunakan algoritme genetika, sehingga dapat menentukan rute dengan jarak terpendek yang akan dikunjungi setiap sales. Proses algoritme genetika menggunakan representasi permutasi dengan panjang kromosom sesuai banyak pesanan pelanggan dan jumlah pesanan pada setiap sales, setiap gen berupa angka yang merepresentasikan nomor pelanggan dan jumlah pesanan yang harus dikunjungi setiap sales. Hasil pengujian menunjukkan urutan rute yang dihasilkan dari penerapan algoritme genetika lebih baik daripada penerapan yang dilakukan pada distributor dengan selisih total jarak 89.3 km dan selisih nilai fitness 10.656578. Parameter optimal yang diperoleh yaitu dengan menghasilkan ukuran populasi 180, banyak generasi 400 serta kombinasi crossover rate 0.6 dan mutation rate 0.4.

Kata kunci: pendistribusian, air minum, *multiple travelling salesman problem* (M-TSP), algoritme genetika

Abstract

A good distribution is one of the company's strategy to increase the productivity of the company. Distribution strategy is indispensable in bottled drinking water, because bottled water business has increased every year. Distributor of bottled water has a variety of types and brands of goods with different packaging forms. The number of shipping destinations poses many problems in the distribution process, because it takes more time to arrive at different address and distances. This research has a goal to create a system that can help the process of distribution of goods with number of sales more than one, the problem is called Multiple Traveling Salesman Problem (M-TSP). One method to solve M-TSP problem is to use genetic algorithm, so it can determine the route with the shortest distance that will be visited by every sales. The genetic algorithm process uses permutation representations with chromosome length according to many customer orders and the number of orders on each sales, each gene is a number representing the customer number and the number of orders that each salesperson should visit. The test results show that the route sequence generated from the application of the genetic algorithm is better than that applied to the distributor with a total distance of 89.3 km and the fitness difference is 10.656578. The optimal parameters were obtained by generating population size 180, 400 generation and crossover rate 0.6 and mutation rate 0.4.

Keywords: *distribution, drinking water, multiple traveling salesman problem (M-TSP), genetic algorithm*

1. PENDAHULUAN

Bisnis air minum dalam kemasan saat ini mengalami peningkatan setiap tahun. Banyak pengusaha yang berminat pada penjualan tersebut, sehingga membuat setiap perusahaan meningkatkan strategi untuk dapat tetap unggul dan bertahan dalam persaingan secara intensif tersebut. Salah satu strategi perusahaan yaitu pada distribusi produk yang baik. Distribusi dapat mempercepat penyaluran dan pemerataan di berbagai wilayah yang berbeda-beda sehingga dapat meningkatkan produktivitas dari setiap perusahaan.

Penjualan produk air minum dalam kemasan pada distributor memiliki berbagai macam jenis dan merk, selain itu varian dalam bentuk kemasan berbeda-beda. Pendistribusian air minum antara distributor dan konsumen yang jauh kemudian tidak baiknya proses distribusi dapat menyebabkan tingginya biaya distribusi (Munawaroh & Mahmudy, 2015). Keadaan tersebut karena setiap hari distributor melayani konsumen dari berbagai kalangan, mulai dari retail, semi grosir, grosir dan agen. Banyaknya pengiriman barang dan jarak yang berbeda, waktu yang dibutuhkan untuk sampai pada tempat tujuan menjadi terhambat karena jalur yang dilalui selalu berubah-ubah. Proses distribusi yang dilakukan adalah dengan mengirimkan semua pesanan kepada konsumen dalam satu kali pesanan, masalah ini disebut dengan *Travelling Salesman Problem* (TSP).

Pendistribusian yang dilakukan pada distributor air minum menggunakan *sales* lebih dari satu. Tersedianya beberapa *sales* merupakan strategi untuk mempercepat dan membantu meringankan proses pengiriman barang ke alamat dan jarak pelanggan yang berbeda-beda. Terlibatnya lebih dari satu *sales* pada proses distribusi dispesifikasikan termasuk pada masalah M-TSP. Hal tersebut dikarenakan penentuan alternatif urutan rute pada proses pengiriman setiap *sales* selalu berbeda, sehingga merupakan sebuah masalah kompleks karena alamat yang dikunjungi juga pasti berubah. Metode yang dapat menyelesaikan masalah tersebut bermacam-macam, salah satunya adalah algoritme genetika. Algoritme genetika merupakan sebuah metode yang digunakan untuk menyelesaikan masalah dengan model matematika yang kompleks ataupun sulit untuk dibangun (Widodo & Mahmudy, 2010).

Berdasarkan permasalahan yang ada, maka penulis mengusulkan penelitian yaitu “Optimasi *Multiple Travelling Salesman Problem* (M-TSP) Pada Pendistribusian Air Minum Menggunakan Algoritme Genetika”. Penelitian ini diharapkan tidak hanya menyelesaikan masalah yang kompleks, tetapi juga meminimalkan jarak dengan menentukan urutan rute yang optimum untuk setiap pengiriman pada setiap *sales* yang terlibat.

2. DASAR TEORI

2.1 Distribusi

Distribusi merupakan penggambaran dari sebuah saluran pilihan alternatif dan penggambaran situasi pemasaran yang memiliki perbedaan dari berbagai perusahaan dalam suatu struktur strategi. Proses distribusi merupakan sebuah proses dimana terdapat kegiatan untuk menyalurkan dan menyebarkan produk maupun jasa secara merata dari produsen ke konsumen.

Kegiatan distribusi merupakan sebuah perantara maupun jembatan yang menghubungkan kegiatan produksi dengan konsumsi. Barang yang berasal dari produsen bisa sampai ke tangan konsumen memerlukan sebuah lembaga atau pihak yang menjadi perantara, salah satunya adalah distributor.

2.2 Algoritme Genetika

Mendapatkan solusi yang tepat pada suatu masalah terkadang memerlukan formulasi matematika yang kompleks. Berbagai macam solusi optimum mungkin diperoleh, tetapi proses yang dilalui sangat panjang, tidak efektif dan terkadang rumit. Menurut Taha, dikutip dalam (Widodo & Mahmudy, 2010) metode heuristik dapat digunakan untuk mengatasi kasus tersebut. Metode heuristik merupakan sebuah metode untuk mendapatkan solusi yang lebih baik daripada solusi yang didapatkan sebelumnya berdasarkan aturan-aturan empiris atau instuisi. Meskipun tidak selalu menghasilkan solusi yang terbaik, tetapi metode heuristik dapat menghasilkan solusi yang mendekati optimum jika dapat dirancang dengan baik. Algoritme genetika memungkinkan digunakan untuk optimasi pada suatu masalah dengan ruang pencarian yang kompleks dan sangat luas, karena merupakan sebuah algoritme berbasis populasi. Hal tersebut dapat membuat algoritme genetika

mencapai solusi yang melebihi nilai solusi maksimum lokal (Gen & Cheng, 1997).

Algoritme genetika mampu menyelesaikan sebuah permasalahan yang kompleks sehingga menghasilkan solusi yang mendekati optimum dengan dasar fungsi probabilitas. Proses pencarian solusi dalam algoritme genetika adalah diantara sejumlah alternatif titik optimal (Mahmudy, 2015). Algoritme genetika dapat digunakan untuk menyelesaikan berbagai macam kasus, salah satunya adalah pada pencarian rute dengan jarak paling minimum dari satu tempat asal ke beberapa tempat tujuan yang biasa disebut dengan TSP. Dalam kehidupan nyata, untuk menuju ke beberapa tempat tujuan terdapat pembagian ke beberapa orang sehingga proses yang dilakukan menjadi lebih cepat. Terdapat lebih dari satu orang atau sales yang terlibat pada kasus tersebut biasa disebut dengan M-TSP. Kasus ini merupakan cabang dari TSP tetapi terdapat perbedaan pada jumlah sales yang terlibat.

Proses implementasi pada algoritme genetika untuk menyelesaikan suatu masalah dilakukan sesuai dengan beberapa aspek penting, yaitu sebagai berikut:

1. Inisialisasi atau pembuatan himpunan solusi baru yang terdiri atas string kromosom atau representasi kromosom.

Terdapat berbagai macam representasi kromosom, salah satunya yaitu menggunakan representasi permutasi (Mahmudy, 2015). Representasi kromosom permutasi yaitu dengan panjang string kromosom segmen pertama berupa urutan angka dari pengkodean kota yang akan dituju kemudian panjang string kromosom segmen kedua berupa urutan angka dari jumlah pesanan yang di kirim setiap sales. Lebih jelasnya mengenai representasi kromosom permutasi akan diuraikan pada Gambar 1.

Segmen 1								Segmen 2	
3	4	8	1	6	2	7	5	3	5

Gambar 1. Representasi Kromosom Permutasi

2. Proses reproduksi untuk menghasilkan keturunan (offspring) dengan menggunakan operator-operator genetik yaitu pindah silang (crossover) dan mutasi.

Crossover merupakan sebuah proses pindah silang antara dua parent kromosom. Proses ini membentuk sebuah kromosom baru dari hasil penyilangan dua kromosom

yang diperoleh secara acak (Haupt & Haupt, 2004). Dalam proses persilangan dua parent kromosom akan menghasilkan anak kromosom (offspring) atau individu baru.

Banyak dari offspring ditentukan oleh crossover rate (cr). Dengan menghitung berapa offspring yang dihasilkan dari perhitungan cr maka dapat mengetahui berapa kali proses crossover dilakukan. Lebih jelasnya mengenai crossover *one cut point* akan diuraikan pada Gambar 2.

$$Offspring = cr \times PopSize$$

Parent 1 :	2	1	5	3	4	6	9	8	7
Parent 2 :	6	9	1	5	2	8	7	3	4

Titik potong pada urutan gen ke 4

Offspring 1:	2	1	5	3	6	9	8	7	4
Offspring 2:	6	9	1	5	2	3	4	8	7

Gambar 2. Crossover Satu Titik Suatu Kromosom

Mutasi merupakan sebuah proses untuk mengubah nilai dari satu atau beberapa gen didalam sebuah kromosom dan proses pemilihan kromosom dilakukan secara acak (Haupt & Haupt, 2004).

Proses mutasi juga memberikan hasil offspring sama seperti pada proses crossover tetapi dalam mutasi untuk mendapatkan offspring dengan menentukan pada mutation rate (mr). Tujuan dari mr yaitu untuk mengetahui berapa banyak offspring yang dihasilkan sehingga mengetahui berapa proses mutasi yang dibutuhkan. Lebih jelasnya mengenai mutasi *reciprocal exchange mutation* akan diuraikan pada Gambar 3.

$$Offspring = mr \times PopSize$$

5	1	6	4	7	2	9	3	8
5	1	6	9	7	2	4	3	8

Gambar 3. Reciprocal Exchange Mutation

3. Proses evaluasi dimana semua induk (parent) dan anak (child) digabungkan menjadi satu populasi, kemudian menghitung dan mengurutkan nilai fitness setiap individu.

Dalam masalah M-TSP rumus nilai fitness yang digunakan adalah nilai konstanta dibagi dengan total jarak yang telah ditempuh oleh masing-masing sales dengan perhitungan yang dimulai dari tempat asal ke tempat tujuan.

- Setelah terbentuk himpunan solusi baru dilakukan proses seleksi untuk menentukan solusi terbaik.

2.3 Multiple Travelling Salesman Problem (M-TSP)

Permasalahan pencarian rute yang optimum masuk dalam kategori masalah pendistribusian barang. Dalam pencarian rute dengan jarak terpendek biasa disebut TSP. TSP merupakan permasalahan perjalanan seorang sales yang harus mengunjungi n tempat tujuan pengiriman dalam satu kali kunjungan, kemudian kembali lagi ke tempat asal (Suprayogi & Mahmudy, 2015). Saat ini secara umum distributor yang berskala besar tidak hanya mempunyai satu orang sales, dengan pesanan yang berlipat dan terus bertambah, distributor suatu usaha memiliki lebih dari satu sales untuk proses mendistribusikan barang dari perusahaan tersebut. Oleh sebab itu diperlukan sebuah penyelesaian untuk masalah yang kompleks tersebut agar dapat diselesaikan secara efisien. Sebuah pendekatan untuk menyelesaikan masalah tersebut salah satunya adalah dengan M-TSP karena dalam sebuah pendistribusian barang melibatkan lebih dari satu sales.

Pada sebuah perusahaan, pendistribusian dengan melibatkan lebih dari sales memiliki tujuan untuk meringankan proses pendistribusian barang. M-TSP merupakan sebuah masalah optimasi yang merupakan perluasan dari TSP, tetapi terdapat perbedaan yaitu pada jumlah sales yang melakukan kunjungan. Permasalahan ini dijadikan sebuah acuan dalam pencarian rute terpendek dengan jarak paling minimum maupun melakukan penjadwalan dalam berbagai permasalahan optimasi (Saptaningtyas, 2012). Kemungkinan jika semakin banyak sebuah tempat kunjungan dan jumlah sales, maka alternatif solusi yang terbentuk juga semakin banyak.

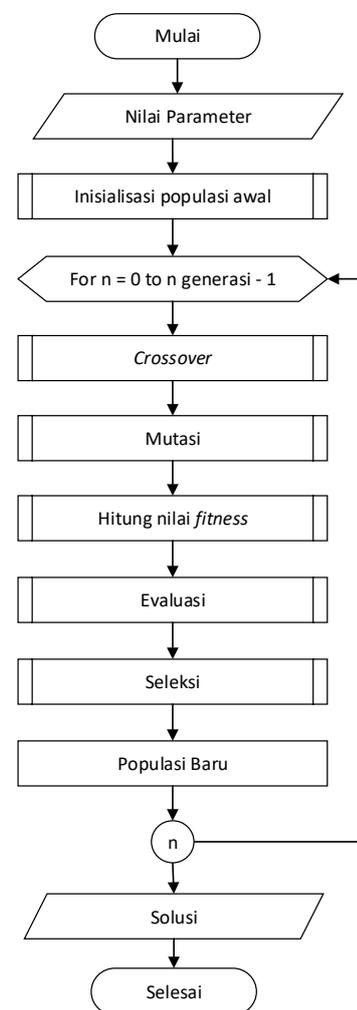
Penyelesaian masalah M-TSP dapat diselesaikan menggunakan beberapa metode yaitu salah satunya algoritme genetika yaitu metode heuristik yang dapat menerima banyak solusi baru yang lebih baik (Sari & Mahmudy, 2015), tetapi juga kadang solusi lebih buruk juga dapat diterima oleh algoritme genetika sehingga solusi dapat terhindar dari konvergensi dini dan nilai maksimum local. Penelitian ini diharapkan menghasilkan sebuah alternatif solusi penyelesaian dalam M-TSP sehingga menjadi sebuah pertimbangan

aktivitas kerja dalam segala bidang usaha yang menerapkan M-TSP. (1)

3. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

3.1 Perancangan Sistem

Permasalahan M-TSP dapat diselesaikan menggunakan algoritme genetika karena dapat memberikan solusi alternatif yang mendekati optimum. Secara umum alur proses optimasi M-TSP pada pendistribusian air minum menggunakan algoritme genetika ditampilkan pada Gambar 4.



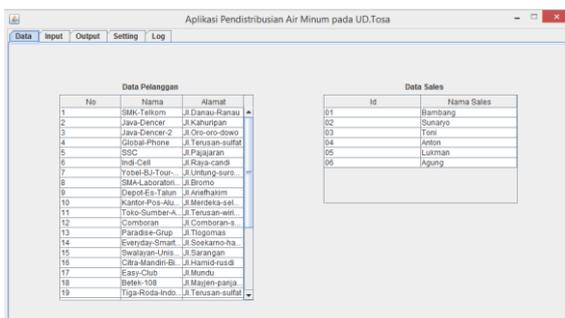
Gambar 4. Alur proses optimasi multiple travelling salesman problem (M-TSP) pada pendistribusian air minum menggunakan algoritme genetika

Berdasarkan Gambar 4. dapat diketahui proses dari pencarian rute dengan jarak paling minimum menggunakan algoritme genetika. Pada awal proses menginisialisasi parameter yang akan digunakan untuk proses sistem.

Parameter yang digunakan dalam proses menyelesaikan masalah terdapat dua pilihan, yaitu parameter distribusi dan parameter algoritme genetika. Kemudian melakukan inialisasi populasi awal, dimana bertujuan untuk membangun populasi awal dengan sejumlah individu yang telah ditentukan saat menginputkan nilai. Selanjutnya proses reproduksi yang terdiri dari dua proses. Proses pertama adalah *crossover* yaitu proses pindah silang dengan melakukan pertukaran antar gen untuk menghasilkan individu baru. Proses kedua adalah mutasi yaitu merupakan proses mengubah gen-gen dalam sebuah individu yang dipilih secara acak untuk menghasilkan individu baru. Proses evaluasi merupakan penggabungan antara individu yang lama dengan individu yang baru (*offspring*) menjadi satu himpunan populasi baru. Kemudian setelah penggabungan, dilakukan perhitungan nilai fitness untuk setiap kromosom. Populasi baru hasil dari penggabungan di seleksi menggunakan metode *elitism* yang mengurutkan nilai fitness tertinggi ke terendah. Individu baru yang memiliki nilai fitness tertinggi memiliki kesempatan untuk menjadi solusi yang mendekati optimum.

3.2 Implementasi Sistem

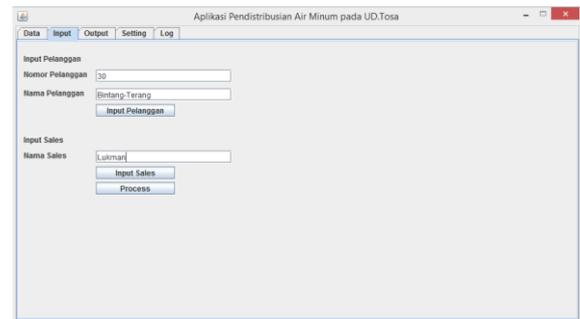
Sistem pendistribusian air minum dalam menyelesaikan M-TSP menggunakan algoritme genetika memiliki beberapa tab. Pada halaman pertama merupakan tab untuk memberikan informasi mengenai data-data yang tersedia pada distributor air minum dalam kemasan. Data tersebut berupa tabel data pelanggan dan tabel data *sales*. Tampilan halaman data dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Antamuka Halaman Data

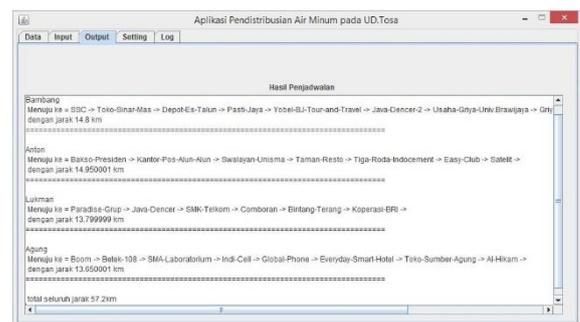
Pada halaman kedua yaitu pada Gambar 6. berupa tab untuk memasukkan data-data yang diperlukan untuk proses perhitungan yang dilakukan oleh user pegawai. Data yang

dimasukkan berupa nomor pelanggan, nama pelanggan dan nama *sales* yang akan melakukan distribusi barang.



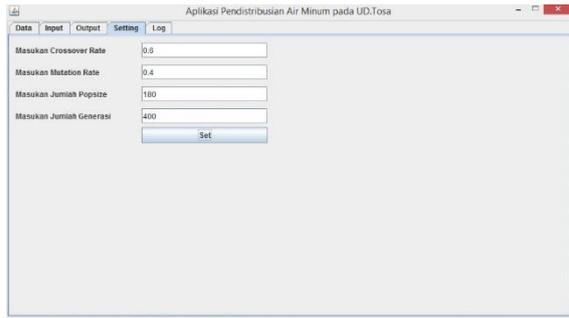
Gambar 6. Antarmuka Halaman Input

Tab berikut merupakan halaman ketiga yang berfungsi untuk menampilkan hasil yang didapatkan, yaitu berupa data pembagian pengiriman barang pada setiap *sales* beserta total jarak yang ditempuh oleh setiap *sales*. Tampilan halaman keluaran atau hasil dapat dilihat pada Gambar 7.



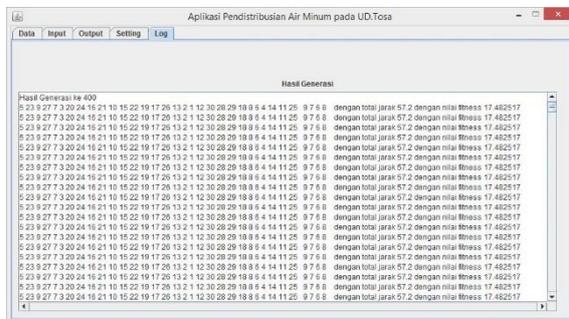
Gambar 7. Antarmuka Halaman Output

Pada tab selanjutnya yaitu halaman keempat dan kelima merupakan halaman untuk admin sistem. Pada halaman keempat yaitu pada Gambar 8. merupakan tab untuk memasukkan nilai parameter yang digunakan untuk proses perhitungan menggunakan algoritme genetika. Dalam tab ini yang perlu dimasukkan yaitu jumlah generasi, jumlah populasi, *crossover rate (cr)*, *mutation rate (mr)*. Data tersebut berfungsi untuk mengetahui nilai parameter yang tepat dalam memberikan solusi yang optimum dengan menggunakan algoritme genetika.



Gambar 8. Antarmuka Halaman Setting

Kemudian yang terakhir adalah halaman kelima yang merupakan tab untuk menampilkan semua hasil perhitungan dari algoritme genetika. Tampilan halaman *log* dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Antarmuka Halaman Log

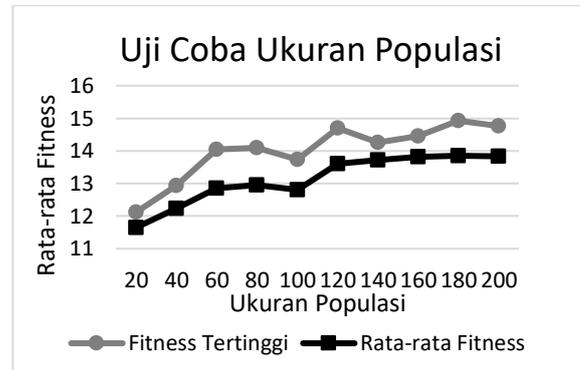
4. PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pengujian mengenai sistem optimasi M-TSP pendistribusian air minum menggunakan algoritme genetika dilakukan melalui beberapa tahap, yaitu untuk uji coba parameter algoritme genetika dan uji coba sistem pendistribusian air minum. Setelah proses pengujian, selanjutnya dilakukan proses pembahasan untuk setiap uji coba yang dilakukan.

4.1 Uji Coba Ukuran Populasi dan Pembahasan Hasil

Pengujian ukuran *popSize* atau populasi dalam penelitian ini memiliki tujuan yaitu untuk mengukur dan melihat pengaruh ukuran populasi terhadap nilai *fitness* yang dihasilkan oleh sistem. Perancangan uji coba pada bab sebelumnya menjelaskan bahwa, didapatkan hasil uji coba ukuran populasi sebanyak 10 kali percobaan dengan menggunakan ukuran populasi kelipatan 20 hingga 200. Setiap ukuran populasi dilakukan sebanyak 10 kali proses percobaan. Pada pengujian ini menggunakan parameter dengan banyak generasi 50, *crossover rate* 0.2 dan *mutation rate* 0.8, menggunakan seleksi elitism, banyak pesanan

30 dan banyak *sales* 4. Hasil uji coba dipaparkan pada Gambar 10.



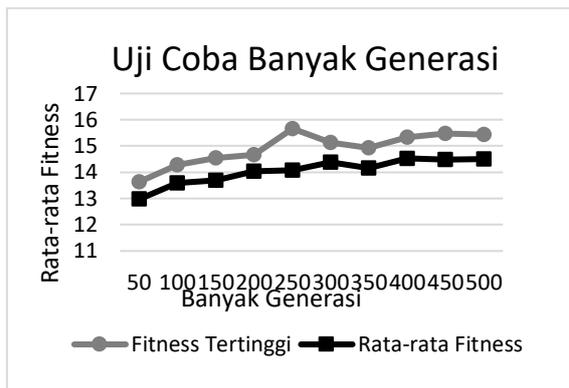
Gambar 10. Hasil Uji Coba Banyak Generasi

Dari hasil grafik pada Gambar 10. ditunjukkan bahwa nilai fitness dengan rata-rata terendah terjadi pada jumlah populasi 20 dengan rata-rata fitness yang dihasilkan adalah 11.6516 dan nilai fitness dengan rata-rata tertinggi terjadi pada jumlah populasi 180 dengan rata-rata fitness yang dihasilkan adalah 13.8512. Dalam percobaan ukuran populasi, grafik menunjukkan rata-rata fitness cenderung mengalami kenaikan. Penurunan terjadi pada ukuran populasi 100 dan 200 terjadi karena sifat dari algoritme genetika dimana kromosom diperoleh secara acak dan memungkinkan jika nilai fitness yang didapatkan pada kromosom yang lebih kecil. Proses reproduksi yang dilakukan juga secara acak dalam pemilihan individu. Ukuran populasi yang sedikit cenderung memiliki nilai fitness yang rendah karena keragaman dari individu-individu hanya sedikit, sehingga parent memiliki kandidat individu dengan keterbatasan variasi. Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil uji coba jumlah populasi (*popSize*) adalah semakin besar ukuran populasi yang digunakan maka solusi yang didapatkan lebih baik dan semakin optimum. Pada kasus dengan pesanan sebanyak 30, dijalankan sebanyak 10 kali proses percobaan dan menggunakan jumlah generasi 50, dengan *crossover rate* 0.2 dan *mutation rate* 0.8, algoritme genetika dapat menghasilkan solusi terbaik pada jumlah populasi 180.

4.2 Uji Coba Banyak Generasi dan Pembahasan Hasil

Pengujian banyak generasi dalam penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh banyak generasi terhadap nilai fitness yang dihasilkan oleh sistem. Perancangan uji coba pada bab sebelumnya menjelaskan bahwa, didapatkan

hasil uji coba banyak generasi sebanyak 10 kali percobaan dengan menggunakan banyak generasi kelipatan 50 hingga 500. Setiap banyak generasi dilakukan sebanyak 10 kali proses percobaan. Pada pengujian ini menggunakan parameter dengan ukuran populasi terbaik pada percobaan sebelumnya yaitu 180, crossover rate 0.2 dan mutation rate 0.8, menggunakan seleksi elitism, banyak pesanan 30 dan banyak sales 4. Hasil uji coba banyak generasi diuraikan pada Gambar 11.

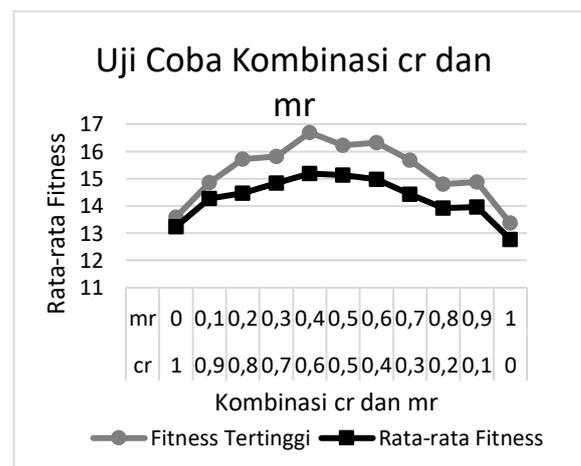


Gambar 11. Hasil Uji Coba Ukuran Populasi

Dari grafik hasil uji coba banyak generasi pada Gambar 11. ditunjukkan bahwa nilai fitness dengan rata-rata terendah berada pada jumlah generasi 50 dengan rata-rata nilai fitness 12.9718 dan nilai fitness dengan rata-rata tertinggi terjadi pada jumlah generasi 400 dengan rata-rata nilai fitness 14.5288. Pada grafik uji coba banyak generasi menunjukkan bahwa grafik cenderung mengalami kenaikan dari sepanjang proses pengujian dan pada graf dengan banyak generasi 400 ke atas menunjukkan keadaan rata-rata fitness yang stabil. Pada banyak generasi 350 mengalami penurunan, terjadinya kenaikan dan kemudian mengalami penurunan pada rata-rata fitness karena sifat dari algoritme genetika dimana kromosom diperoleh secara acak dan memungkinkan jika nilai fitness yang didapatkan pada kromosom yang lebih kecil. Pada kasus dengan pesanan sebanyak 30, dijalankan sebanyak 10 kali proses percobaan, menggunakan popSize sebanyak 180, dengan crossover rate 0.2 dan mutation rate 0.8, algoritme genetika dapat menghasilkan solusi terbaik pada generasi 400.

4.3 Uji Coba Kombinasi Crossover Rate dan Mutation Rate dan Pembahasan Hasil

Pengujian kombinasi antara crossover rate dan mutation rate dalam penelitian ini memiliki tujuan yaitu untuk mengukur dan melihat pengaruh kombinasi parameter cr dan mr terhadap nilai fitness yang dihasilkan oleh sistem. Perancangan uji coba pada bab sebelumnya menjelaskan bahwa, didapatkan hasil uji coba kombinasi cr dan mr sebanyak 11 kali percobaan dengan menggunakan kombinasi cr dan mr mulai 0 hingga 1. Setiap proses uji coba kombinasi dilakukan sebanyak 10 kali percobaan. Pada pengujian ini menggunakan parameter dengan banyak generasi yang menghasilkan rata-rata nilai fitness tertinggi pada pengujian sebelumnya, jumlah ukuran populasi yang menghasilkan rata-rata nilai fitness tertinggi pada percobaan sebelumnya, menggunakan seleksi elitism, banyak pesanan 30 dan banyak sales 4. Hasil uji coba banyak generasi diuraikan pada Gambar 12.



Gambar 12. Hasil Uji Coba Kombinasi Crossover Rate dan Mutation Rate

Dari hasil grafik pada Gambar 12. meunjukkan bahwa nilai fitness dengan rata-rata terendah terdapat pada kombinasi crossover rate 0 dan mutation rate 1 dengan rata-rata fitness yang dihasilkan adalah 12.7805. Sedangkan rata-rata fitness tertinggi terletak pada kombinasi crossover rate 0.6 dan mutation rate 0.4 dengan rata-rata fitness yang dihasilkan adalah 15.1911. Pada grafik uji coba kombinasi cr dan mr menunjukkan bahwa rata-rata fitness rendah cenderung dalam kombinasi cr dan mr yang memiliki nilai tidak seimbang, sedangkan rata-rata fitness tinggi cenderung pada kombinasi cr dan mr yang mendekati nilai seimbang.

Dalam sebuah algoritme genetika penentuan crossover rate dan mutation rate

dapat digunakan untuk menentukan sebuah keseimbangan dalam eksplorasi dan eksploitasi. Kombinasi dari crossover rate yang lebih kecil dan mutation rate yang lebih besar menyebabkan tidak dapat mengeksploitasi daerah pencarian dan tidak dapat belajar dari generasi yang sebelumnya secara efektif. Sedangkan jika crossover rate yang lebih besar dan mutation rate lebih kecil menyebabkan dapat kehilangan kesempatan untuk eksplorasi lebih luas dan terjadi kemungkinan untuk konvergensi dini. Pada uji coba kombinasi cr dan mr menggunakan kombinasi nilai yang jika dijumlah bernilai 1, hal tersebut bertujuan agar populasi memiliki jumlah individu setelah proses reproduksi tetap stabil. Pada kasus dengan pesanan sebanyak 30, dijalankan sebanyak 10 kali proses percobaan dan menggunakan jumlah generasi terbaik pada pengujian generasi sebelumnya yaitu 400, menggunakan ukuran populasi terbaik yaitu 180 sehingga algoritme genetika dapat menghasilkan solusi terbaik pada kombinasi crossover rate 0.6 dan mutation rate 0.4.

4.4 Uji Coba Sistem dan Pembahasan Hasil

Pengujian sistem yang dilakukan yaitu untuk membandingkan hasil solusi mengenai rute dalam pendistribusian yang direkomendasikan oleh sistem dengan hasil yang dilakukan secara langsung pada pendistribusian air minum pada UD. Tosa.

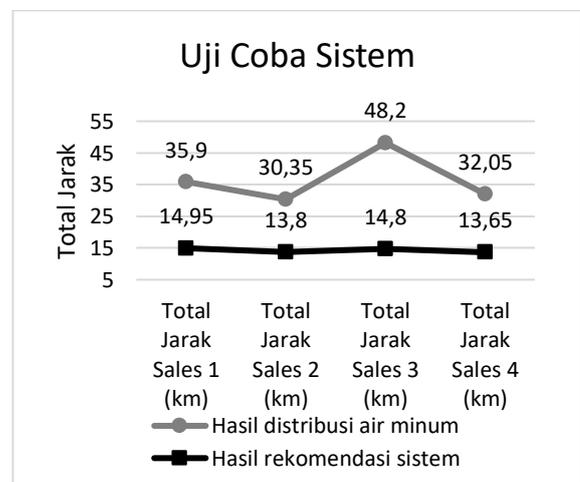
Data yang digunakan pada uji coba sistem berupa urutan rute yang dilakukan secara langsung pada pendistribusian di UD. Tosa dengan beberapa sales yang akan bertugas untuk mengunjungi alamat-alamat tujuan. Pengiriman barang dilakukan berdasarkan urutan pesanan oleh setiap pelanggan, kemudian pesanan tersebut dikumpulkan dan dibagi menjadi beberapa bagian. Bagian tersebut kemudian diberikan kepada setiap sales yang bertugas untuk proses distribusi. Pada uji coba sistem menggunakan data sejumlah 4 sales dengan total banyak pesanan dalam satu hari terdapat 30 pesanan yang berbeda alamat.

Hasil uji coba sistem dan manualisasi yang dilakukan pada UD. Tosa dapat dilihat pada Tabel 1., dimana dijelaskan mengenai perbandingan antara rekomendasi sistem dan manualisasi sistem pengiriman pada UD. Tosa.

Tabel 1. Hasil Perbandingan Rekomendasi Sistem dan Manualisasi

Sales	Sales 1 (km)	Sales 2 (km)	Sales 3 (km)	Sales 4 (km)	Total Jarak	Fitness
Hasil distribusi air minum	35.9	30.35	48.2	32.05	146.5	6.825938
Hasil rekomendasi sistem	14.95	13.8	14.8	13.65	57.2	17.482517
Selisih	20.95	16.55	33.4	18.4	89.3	10.656578

Berdasarkan Tabel 1 dapat diketahui bahwa hasil rekomendasi sistem memberikan solusi yang lebih optimal daripada hasil manualisasi sistem pengiriman yang selalu dilakukan pada UD. Tosa. Hasil perbandingan dari seluruh sales memiliki total jarak 89.3 km. Hasil perbandingan tertinggi pada uji coba diperoleh pada sales 3 yaitu memiliki selisih total jarak 33.4 km. Hasil perbandingan pada selisih tertinggi kedua diperoleh sales 1 yaitu memiliki total jarak 20.95 km, selanjutnya sales 4 dengan selisih total jarak 18.4 km dan selisih terendah pada sales 2 dengan selisih total jarak 16.55 km. Sehingga didapatkan kesimpulan bahwa sistem optimasi *multiple travelling salesman problem* (M-TSP) pada pendistribusian air minum menggunakan algoritme genetika dapat memberikan rekomendasi solusi yang optimal dalam menentukan urutan rute perjalanan dengan jarak paling minimum, dan secara otomatis dapat mempengaruhi biaya dan waktu distribusi menjadi lebih optimal. Grafik hasil uji coba perbandingan kinerja sistem dan manualisasi kasus M-TSP pada pendistribusian air minum dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Hasil Uji Coba Perbandingan Sistem dan Manualisasi

1. KESIMPULAN DAN SARAN

1.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dengan beberapa sub pembahasan, disertai dengan hasil analisis pengujian sistem pada kasus “Optimasi *Multiple Travelling Salesman Problem* (M-TSP) Pada Pendistribusian Air Minum Menggunakan Algoritme Genetika” maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengimplementasian algoritme genetika dalam optimasi M-TSP pada pendistribusian air minum menggunakan perhitungan nilai fitness untuk menghitung nilai minimum total jarak. Teknik reproduksi yang digunakan adalah one cut point crossover dan reciprocal exchange mutation. Pada proses seleksi menggunakan metode elitism selection.
2. Representasi kromosom ditentukan menggunakan representasi permutasi yang mampu menyelesaikan paling efisien dalam permasalahan M-TSP untuk kasus optimasi pendistribusian air minum. Representasi permutasi sesuai dengan permasalahan dikarenakan dalam sebuah pengiriman dibutuhkan urutan pengantaran barang yang memperhatikan rute sesuai jarak terpendek. Dalam setiap kromosom memiliki dua segmen, untuk segmen pertama panjang kromosom berdasarkan banyak pesanan pelanggan yang dimasukkan ke dalam sistem dan segmen kedua panjang kromosom berdasarkan jumlah sales yang akan bertugas dalam pengiriman air minum.
3. Penyelesaian masalah untuk optimasi M-TSP pada pendistribusian air minum dapat dipengaruhi oleh beberapa parameter algoritme genetika yang ditentukan sesuai hasil pengujian, hal tersebut berguna untuk memperoleh solusi yang maksimum. Hasil pengujian terbaik dalam menentukan parameter algoritme genetika yaitu sebagai berikut:
 - a. Semakin besar ukuran populasi yang digunakan maka keragaman dari individu-individu yang terbentuk akan semakin banyak sehingga solusi yang didapatkan lebih baik dan semakin optimum, sedangkan jika ukuran populasi kecil cenderung memiliki keragaman dari individu-individu hanya sedikit, sehingga parent memiliki kandidat individu dengan keterbatasan variasi. Ukuran populasi yang memiliki nilai fitness dengan rata-rata tertinggi yaitu 180 dengan rata-rata fitness 13.8512. Sebaliknya nilai fitness dengan rata-rata terendah terdapat pada ukuran populasi yaitu 20 dengan rata-rata fitness 11.6516.
 - b. Pada proses uji coba banyak generasi cenderung mengalami kenaikan, hingga pada titik tertentu menunjukkan keadaan rata-rata fitness yang stabil atau sudah tercapai konvergensi. Ukuran banyak generasi yang semakin tinggi Banyak generasi yang memiliki nilai fitness dengan rata-rata tertinggi yaitu 400 dengan rata-rata nilai fitness 14.5288. Sebaliknya nilai fitness dengan rata-rata terendah terdapat pada banyak generasi yaitu 50 dengan rata-rata fitness 12.9718.
 - c. Kombinasi dari crossover rate dan mutation rate yang baik dapat menentukan keseimbangan dalam eksplorasi, sehingga crossover rate dan mutation rate tidak memiliki nilai terlalu tinggi maupun terlalu rendah. Kombinasi terbaik pada permasalahan optimasi M-TSP pada pendistribusian air minum yang menghasilkan solusi terbaik dengan rata-rata fitness tertinggi yaitu crossover rate 0.6 dan mutation rate 0.4 dengan rata-rata fitness 15.1911. Sebaliknya kombinasi yang memberikan solusi terburuk dengan rata-rata fitness terendah yaitu crossover rate 0 dan mutation rate 1 dengan rata-rata fitness 12.7805.
4. Pengukuran kualitas solusi diperoleh dari hasil total jarak pada perbandingan sistem pengiriman pada UD. Tosa dengan rekomendasi sistem optimasi M-TSP. Semakin sedikit total jarak solusi yang dihasilkan, semakin baik pula kualitas solusi tersebut. Hasil uji coba perbandingan sistem yang telah dilakukan mendapatkan selisih total jarak sebanyak 89.3 km dan selisih nilai fitness 10.656578. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa rekomendasi solusi yang dihasilkan sistem lebih baik dan lebih optimal dibandingkan dengan sistem pengiriman UD. Tosa. Solusi yang dihasilkan oleh rekomendasi sistem dapat memberikan urutan rute perjalanan dengan jarak paling minimum dan secara

otomatis dapat mempengaruhi biaya dan waktu distribusi menjadi lebih optimal.

1.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dengan beberapa sub pembahasan disertai dengan hasil analisis pengujian sistem, didapatkan saran untuk pengembangan lebih lanjut yaitu sebagai berikut:

1. Penambahan proses pengujian dalam parameter algoritme genetika supaya didapatkan parameter yang lebih baik dan mendapatkan solusi yang lebih optimal.
2. Menambahkan parameter distribusi atau kriteria yang lebih bervariasi selain data pesanan atau pelanggan, data sales dan data jarak sehingga permasalahan pada pendistribusian mendapatkan solusi yang lebih baik.
3. Menggunakan data jarak yang sebenarnya supaya didapatkan penyelesaian masalah optimasi pendistribusian yang sebenarnya.
4. Pada penelitian selanjutnya seharusnya dapat mengoptimasi proses distribusi dengan mempertimbangkan keadaan atau kemacetan jalan raya yang dilewati sehingga waktu distribusi juga lebih optimal.
5. Pada kromosom segmen kedua yaitu jumlah pengiriman setiap sales sebaiknya menggunakan jumlah nilai yang dinamis, sehingga pembagian tugas setiap sales juga lebih optimal.

2. DAFTAR PUSTAKA

- Gen, M. & Cheng, R., 1997. Genetic Algorithms and Engineering Design,. John Wiley & Sons ed. New York: Inc.
- Haupt, R. & Haupt, E. S., 2004. Practical Genetic Algorithms. USA: John Wiley & Sons.
- Mahmudy, W., 2013. Algoritme Evolusi. Program Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer. Universitas Brawijaya, Malang.
- Mahmudy, W. F., 2015. Dasar-Dasar Algoritme Evolusi. Malang: Program Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer.
- Munawaroh, F. & Mahmudy, W. F., 2015. Optimasi Distribusi Pupuk menggunakan Evolution Strategies. Journal of Environmental Engineering & Sustainable Technology, 02(2356-3109), pp. 89-96.
- Saptaningtyas, F. Y., 2012. Multi Traveling Salesman Problem (Mtsp) Dengan Algoritme Genetika Untuk Menentukan Rute Loper Koran Di Agen Surat Kabar. Pythagoras, Volume 7, p. 2.
- Sari, R. N. & Mahmudy, W. F., 2015. Penyelesaian Multiple Travelling Salesperson Problem (M-Tsp) Dengan Algoritme Genetika. Repository Jurnal Mahasiswa PTIIK Universitas Brawijaya, Volume 5, p. 14.
- Suprayogi, D. & Mahmudy, W., 2015. Penerapan Algoritme Genetika Travelling Salesman Problem with Time Window:Studi Kasus Rute Antar Jemput Laundry. Jurnal Buana Informatika, Volume 6, pp. 121-130.
- Widodo, A. W. & Mahmudy, W. F., 2010. Penerapan Algoritme Genetika Pada Sistem Rekomendasi Wisata Kuliner. Jurnal Ilmiah KURSOR, 5(0216-0544), pp. 205-211.