

# IMPLEMENTASI ALGORITMA GENETIKA DENGAN VARIASI CROSSOVER DALAM PENYELESAIAN *CAPACITATED VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH TIME WINDOWS* (CVRPTW) PADA PENDISTRIBUSIAN AIR MINERAL

## IMPLEMENTATION GENETIC ALGORITHM WITH VARIATION OF CROSSOVER TO SOLVE CVRPTW TO THE DISTRIBUTION OF MINERAL WATER

Oleh: Niken Lisca Aggyta Ayuningrum<sup>1</sup>, Fitriana Yuli Saptaningtyas<sup>2</sup>

Program Studi Matematika, Jurusan Pendidikan Matematika, FMIPA, Universitas Negeri Yogyakarta

<sup>1</sup>[liscaniken@gmail.com](mailto:liscaniken@gmail.com), <sup>2</sup>[anamathuny@gmail.com](mailto:anamathuny@gmail.com)

### Abstrak

Pendistribusian galon air mineral di PT Artha Envirotama (Evita) saat ini masih sering terjadi keterlambatan sehingga diperlukan rute yang optimal. Masalah penentuan rute optimal untuk meminimalkan waktu tempuh setiap kendaraan termasuk dalam *Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows* (CVRPTW) yang dapat diselesaikan dengan algoritma genetika menggunakan *order crossover* dan *cycle crossover*. Proses Algoritma Genetika dimulai dengan membangkitkan populasi awal dengan *random generator*, menghitung nilai *fitness* setiap individu, melakukan seleksi dengan menggunakan metode *Roulette Wheel Selection*, melakukan *crossover* dengan metode *order crossover* dan *cycle crossover*, dan melakukan proses mutasi dengan metode *swapping mutation*. Proses terakhir yaitu menyusun populasi baru serta mengulangi proses seleksi, *crossover*, dan mutasi sampai diperoleh *fitness* terbaik. Berdasarkan penelitian, perhitungan menggunakan metode *order crossover* pada algoritma genetika diperoleh rata-rata waktu tempuh setiap kendaraan 233.4 menit. Hasil yang diperoleh dari perhitungan menggunakan metode *cycle crossover* pada algoritma genetika diperoleh rata-rata waktu tempuh setiap kendaraan 215.2 menit. Berdasarkan uji beda rata-rata dengan Uji *t* diperoleh bahwa terdapat perbedaan rata-rata waktu tempuh dari kedua metode *crossover*.

**Kata Kunci :** Algoritma Genetika, CVRPTW, Pendistribusian Galon Air Mineral

### Abstract

*The distribution of gallons of mineral water at PT Artha Envirotama (Evita) is still delay so that an optimal route is needed. The problem of determining the optimal route to minimize the travel time of each vehicle is included in the Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows (CVRPTW) which can be solved by genetic algorithm using crossover order and crossover cycle. The Genetic Algorithm process begins with generating the initial population with a random generator, calculating the fitness value of each individual, selecting by using the Roulette Wheel Selection method, crossover crossover and crossover cycles, and performing the mutation process using the swapping mutation method. The final process is to compose a new population and repeat the selection, crossover, and mutation process until the best fitness is achieved. Based on the research, the calculation using order crossover method on genetic algorithm obtained the average travel time of each vehicle 233.4 minutes. The results obtained from the calculation using crossover method of genetic algorithm obtained the average travel time of each vehicle 215.2 minutes. Based on the average difference test with t Test obtained that there is difference of the average travel time of both crossover method.*

**Keywords:** Genetic Algorithm, CVRPTW, Mineral Water Gallon Distribution

### PENDAHULUAN

Pengimplementasian algoritma genetika untuk masalah-masalah optimasi menjadi permasalahan yang menarik untuk diteliti, ini dikarenakan algoritma genetika sangat kuat dan merupakan

teknik optimasi yang dapat bekerja pada banyak masalah yang sangat sulit diselesaikan dengan teknik konvensional (Gen dan Cheng, 2010).

Algoritma genetika didasarkan pada prinsip seleksi alam yaitu “siapa yang kuat, dia yang

bertahan". Algoritma genetika pertama kali ditemukan oleh John Holland pada tahun 1960. Bersama murid dan teman-temannya, John Holland mempublikasikan Algoritma Genetika dalam buku yang berjudul *Adaption of Natural and Artificial Systems* pada tahun 1975 (Coley, 1999).

Masalah yang dapat diselesaikan dengan algoritma genetika antara lain *Vehicle Routing Problem* (VRP). VRP didefinisikan sebagai masalah penentuan rute optimal kendaraan untuk pendistribusian barang/jasa ke pelanggan-pelanggan dengan lokasi yang berbeda dengan permintaan yang sudah diketahui, dari satu atau lebih depot yang memenuhi beberapa kendala (Yeun dkk, 2008).

Sudah banyak dilakukan penelitian tentang permasalahan VRP. Metode penyelesaian pada penelitian-penelitian yang telah dilakukan bermacam-macam. Penelitian yang dilakukan dengan menggunakan metode algoritma genetika untuk menyelesaikan permasalahan TSP dengan metode *roulette wheel selection* dalam pendistribusian barang dilakukan oleh Rudi Minaryo (2014). Permasalahan dari penelitian ini adalah optimasi rute pendistribusian barang dengan algoritma genetika. Rute pendistribusian yang diperoleh lebih baik yang ditunjukkan dengan jarak pendistribusian yang lebih pendek.

VRP adalah sebuah cakupan masalah di mana ada sejumlah rute untuk sejumlah kendaraan yang berada pada satu atau lebih depot yang harus ditentukan jumlahnya agar tersebar secara geografis supaya bisa melayani pelanggan-pelanggan yang tersebar. VRP dengan kendala kapasitas dan waktu pelayanan disebut

*Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows* (CVRPTW).

Salah satu contoh permasalahan CVRPTW adalah pendistribusian air mineral dalam kemasan (AMDK). Kemasan AMDK yang beredar berupa gelas, botol, dan galon. AMDK dengan kemasan galon banyak digunakan di rumah maupun di perusahaan. Hal yang penting dalam pendistribusian adalah penentuan rute, jumlah kendaraan, kapasitas kendaraan, dan waktu pelayanan tiap pelanggan.

PT Artha Envirotama yang biasa disebut Evita, sebagai salah satu perusahaan yang bergerak dalam pelayanan ketersediaan air minum memerlukan strategi pendistribusian yang tepat agar dapat mendistribusikan air mineral secara efektif sehingga mampu meminimalkan waktu pendistribusian air mineral ke pelanggan-pelanggannya dan semua pelanggan mendapatkan pelayanan yang baik. Oleh karena itu, distribusi air mineral yang efektif mutlak diperlukan.

Saat ini, pendistribusian galon air mineral oleh Evita ke seluruh pelanggan-pelanggannya masih sering terjadi keterlambatan dan waktu distribusi masih lebih dari batas waktu yang diharapkan, yaitu 480 menit untuk tiap kendaraan. Artinya, setiap kendaraan yang mendistribusikan galon air mineral harus selesai melakukan pendistribusian tidak lebih dari 480 menit. Untuk mengatasi keterlambatan distribusi air mineral ke masing-masing pelanggan agar distribusi dapat selesai tepat waktu, diperlukan rute distribusi yang optimal sehingga galon air mineral lebih cepat sampai pada pelanggan. Oleh karena itu dibutuhkan metode optimasi yang dapat diterapkan untuk menentukan rute

terpendek. Pembahasan dalam skripsi ini akan mencoba menggunakan algoritma genetika dengan *order crossover* dan *cycle crossover* dalam memodelkan rute pendistribusian galon air mineral di Evita dengan kendaraan yang tersedia.

### **CAPACITATED VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH TIME WINDOWS (CVRPTW)**

CVRPTW adalah salah satu jenis VRP yang merupakan kombinasi dari bentuk umum *capacitated vehicle routing problem* (CVRP) dan *vehicle routing problem with time windows* (VRPTW). CVRPTW bertujuan untuk membentuk rute optimal untuk memenuhi permintaan pelanggan yang dilakukan secara *delivery* dengan kendala kapasitas dan waktu pelayanan sehingga diperoleh waktu yang minimum.

Kendala pertama pada CVRPTW adalah kendala kapasitas. Kendala kapasitas yang dimaksud adalah bahwa setiap kendaraan memiliki kapasitas tertentu dan jika kapasitas kendaraan sudah penuh, maka kendaraan tersebut tidak dapat melayani pelanggan selanjutnya. Kendala berikutnya adalah kendala *time windows*. *Time windows* didefinisikan sebagai interval waktu pelayanan.

Masalah CVRPTW dapat direpresentasikan sebagai suatu graf berarah  $G = (V, E)$  dengan  $V = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$  adalah himpunan titik,  $v_i$  menyatakan depot yaitu tempat kendaraan memulai dan mengakhiri rute perjalanan.  $E = \{(v_i, v_j) | v_i, v_j \in V, i \neq j\}$  adalah himpunan rusuk atau garis berarah yang

menghubungkan dua titik yaitu ruas jalan penghubung antar pelanggan ataupun antara depot dengan pelanggan (Laporte, 1992).

Asumsi dalam permasalahan pendistribusian galon air mineral di Evita adalah :

1. Tiap lokasi pelanggan hanya dikunjungi satu kali, dan lokasi pelanggan diasumsikan sebagai titik
2. Waktu tempuh setiap antar titik adalah simetris, sehingga  $t_{ij} = t_{ji}$
3. Kendaraan yang digunakan adalah sebanyak 5 buah mobil ( $K$ ) yang terdiri atas 4 jenis mobil.
4. Kapasitas masing-masing jenis kendaraan adalah  $y_1 = y_5 = 156, y_2 = 148, y_3 = 238$ , dan  $y_4 = 324$ , dimana  $y_1, y_2, y_3, y_4$ , dan  $y_5 \in Y_k$
5. Waktu tempuh antara titik distribusi  $i$  dan  $j$ , yaitu  $t_{ij}$  sudah termasuk lama pelayanan di titik distribusi  $i$  dimana lama pelayanannya adalah 30 menit.
6. Batas waktu pelayanan setiap titik yaitu pada pukul 08.00 sampai dengan pukul 16.00, yaitu 480 menit.

Berdasarkan asumsi-asumsi di atas maka model matematika dalam pendistribusian galon air mineral oleh Evita di wilayah Provinsi D.I Yogyakarta untuk meminimalkan waktu distribusi adalah sebagai berikut :

$$\min z = \sum_{i=1}^{25} \sum_{j=1}^{25} \left( t_{ij} \sum_{k=1}^5 x_{ijk} \right)$$

Dengan variabel keputusan sebagai berikut :

1. Variabel  $x_{ijk}, \forall i, j \in N, \forall k \in K, i \neq j$

Variabel  $x_{ijk}$  merepresentasikan ada atau tidaknya perjalanan dari pelanggan ke- $i$  ke pelanggan ke- $j$  oleh kendaraan ke- $k$ .

$$x_{ijk} \begin{cases} 1, & \text{jika ada perjalanan dari konsumen } i \\ & \text{ke pelanggan } j \text{ oleh kendaraan } k \\ 0, & \text{jika tidak ada perjalanan dari konsumen } i \\ & \text{ke konsumen } j \text{ oleh kendaraan } k \end{cases}$$

2. Variabel  $T_{ik}, T_{0k}$ , dan  $s_{ik}, \forall i \in N, \forall k \in K$

Variabel  $T_{ik}$  menyatakan waktu dimulainya pelayanan pada pelanggan ke- $i$  oleh kendaraan ke- $k$ ,  $T_{0k}$  menyatakan waktu saat kendaraan ke- $k$  meninggalkan depot dan kembali ke depot, dan  $s_{ik}$  menyatakan lamanya pelayanan di pelanggan ke- $i$  oleh kendaraan ke- $k$ .

3. Variabel  $Y_{ik}$  dan  $q_j, \forall i, j \in N, \forall k \in K$

Variabel  $Y_{ik}$  menyatakan kapasitas total kendaraan ke- $k$  setelah melayani pelanggan ke- $i$ , sedangkan  $q_j$  menyatakan banyaknya permintaan pelanggan ke- $j$ .

Kendala dari permasalahan CVRPTW adalah sebagai berikut :

- 1) Setiap pelanggan hanya dikunjungi tepat satu kali oleh kendaraan yang sama

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{25} \sum_{k=1}^5 X_{i1k} &= 1 \\ &\vdots \\ \sum_{i=1}^{25} \sum_{k=1}^5 X_{i25k} &= 1 \\ \sum_{j=1}^{25} \sum_{k=1}^5 X_{1jk} &= 1 \\ &\vdots \\ \sum_{j=1}^{25} \sum_{k=1}^5 X_{25jk} &= 1 \end{aligned}$$

- 2) Total jumlah permintaan pelanggan dalam satu rute tidak melebihi kapasitas kendaraan yang melayani rute tersebut. Misalkan terdapat lintasan dari  $i$  ke  $j$  dengan kendaraan  $k$ , maka

$$Y_{ik} + q_j = Y_{jk}, \forall i, j \in N, \forall k \in K$$

$$Y_{jk_1} \leq 156, \forall j \in N, k_1 \in K$$

$$Y_{jk_2} \leq 148, \forall j \in N, k_2 \in K$$

$$Y_{jk_3} \leq 238, \forall j \in N, k_3 \in K$$

$$Y_{jk_4} \leq 324, \forall j \in N, k_4 \in K$$

$$Y_{jk_5} \leq 156, \forall j \in N, k_5 \in K$$

$$Y_{jk} \leq 1022, \forall j \in N, \forall k \in K$$

- 3) Jika ada perjalanan dari pelanggan ke- $i$  ke pelanggan ke- $j$ , maka waktu memulai pelayanan di pelanggan ke- $j$  lebih dari atau sama dengan waktu kendaraan ke- $k$  memulai pelayanan di pelanggan ke- $i$  ditambah waktu tempuh perjalanan dari pelanggan ke- $i$  ke pelanggan ke- $j$ .

$$T_{ik} + s_{ik} + t_{ij} \leq T_{jk}, \forall i, j \in N, \forall k \in K$$

- 4) Waktu kendaraan untuk memulai pelayanan di pelanggan ke- $i$  harus berada pada selang waktu  $[a_i, b_i]$ .

$$08.00 \leq t_{ik} \leq 16.00, \forall i \in N, \forall k \in K.$$

- 5) Kekontinuan rute, artinya kendaraan yang mengunjungi setiap pelanggan, setelah selesai melayani akan meninggalkan pelanggan tersebut.

$$\sum_{i=1}^{25} x_{ijk} - \sum_{i=1}^{25} x_{ijk} = 0, \forall i, j \in N, \forall k \in K$$

6) Variabel keputusan  $x_{ijk}$  merupakan bilangan biner.

$$x_{ijk} \in \{0,1\}, \forall i, j \in N, \forall k \in K$$

## ALGORITMA GENETIKA

Algoritma Genetika pertama kali dikenalkan oleh John Holland pada tahun 1960. Bersama murid dan teman-temannya, John Holland mempublikasikan Algoritma Genetika dalam buku yang berjudul *Adaption of Natural and Artificial System* pada tahun 1975 (Coley, 1999). Algoritma Genetika merupakan algoritma optimisasi yang terinspirasi oleh gen dan seleksi alam. Algoritma ini mengkodekan solusi-solusi yang mungkin ke dalam struktur data dalam bentuk kromosom-kromosom dan mengaplikasikan operasi rekombinasi genetika ke struktur data tersebut (Whitley, 2002).

Algoritma ini dimulai dengan pembentukan himpunan individu yang diwakili oleh kromosom. Himpunan kromosom ini disebut populasi awal. Populasi awal dapat dibentuk secara acak ataupun dengan metode heuristik (Ghoseiri & Ghamndpour, 2009). Sebelum membentuk populasi awal, dibutuhkan representasi solusi ke dalam kromosom.

### 1. Komponen Algoritma Genetika

#### a. Teknik Penyandian ( Pengkodean)

Teknik penyandian adalah proses penyandian gen dari kromosom. Gen merupakan bagian dari kromosom, satu gen biasanya akan mewakili satu variabel. Gen dapat direpresentasikan dalam bentuk bit, bilangan real, daftar aturan, elemen permutasi, elemen program atau representasi lainnya yang dapat

diimplementasikan dalam operator genetika (Satriyanto, 2009).

#### b. Membangkitkan Populasi Awal (*Spanning*)

Membangkitkan populasi awal adalah membangkitkan sejumlah individu secara acak atau melalui prosedur tertentu. Ukuran populasi tergantung pada masalah yang akan dipecahkan dan jenis operator genetika yang akan diimplementasikan. Setelah ukuran populasi ditentukan, kemudian dilakukan inisialisasi terhadap kromosom yang terdapat pada populasi tersebut. Inisialisasi kromosom dilakukan secara acak, namun demikian harus tetap memperhatikan domain solusi dan kendala permasalahan yang ada (Kusumadewi, 2003: 282).

#### c. Mengvaluasi Nilai *Fitness*

Mengevaluasi nilai *fitness* berfungsi untuk mengukur kualitas dari sebuah solusi dan memungkinkan tiap solusi untuk dibandingkan (Michalewicz, 1996: 72). Suatu individu dievaluasi berdasarkan suatu fungsi tertentu sebagai ukuran baik tidaknya individu tersebut. Di dalam evolusi alam, individu yang bernilai *fitness* tinggi yang akan bertahan hidup, sedangkan individu yang bernilai *fitness* rendah akan mati (D.E. Goldberg, 1989). Pada masalah optimasi, fungsi *fitness* yang digunakan adalah

$$F = \frac{1}{p}$$

dengan  $p$  merupakan nilai dari individu, yang artinya semakin kecil nilai  $p$ , maka semakin besar nilai *fitness*nya. Tetapi hal ini akan menjadi masalah jika  $p$  bernilai 0, yang mengakibatkan  $F$  bisa bernilai tak hingga. Untuk mengatasinya,  $p$  perlu ditambah sebuah bilangan sangat kecil sehingga nilai *fitness*nya menjadi

$$F = \frac{1}{(p+a)}$$

dengan  $a$  adalah bilangan yang dianggap sangat kecil (konstanta) dan bervariasi sesuai dengan masalah yang akan diselesaikan (Suyanto, 2005:10).

**d. Seleksi (Selection)**

Seleksi merupakan pemilihan dua buah kromosom untuk dijadikan sebagai induk yang dilakukan secara proporsional sesuai dengan nilai *fitness*-nya (Michalewicz, 1996: 75). Dalam artikel ini digunakan metode *Roulette Wheel Selection*.

**e. Pindah Silang (Crossover)**

Pindah Silang (*crossover*) adalah operator dari algoritma genetika yang melibatkan dua induk untuk membentuk kromosom baru. Pindah silang menghasilkan keturunan baru dalam ruang pencarian yang siap diuji. Operasi ini tidak selalu dilakukan pada setiap individu yang ada. Individu dipilih secara acak untuk dilakukan *crossover* dengan  $P_c$  (*Probabilitas Crossover*) antara 0,6 s/d 0,95. Jika pindah silang tidak dilakukan, maka nilai dari induk akan diturunkan kepada keturunan (Michalewicz, 1996: 78). Metode *crossover* yang digunakan dalam skripsi ini adalah *order crossover* dan *cycle crossover*.

1) *Order Crossover*

*Order Crossover* (OX) membutuhkan urutan sejumlah gen dari suatu kromosom yang akan dilakukan *crossover*, sehingga dilakukan penentuan posisi awal dan akhir gen dari suatu kromosom.

Contoh ilustrasi dari *order crossover*:

Dipunyai 2 bilangan acak, yaitu 2 dan 3.

Posisi awal gen yang akan *dicrossover* = 2

Posisi akhir gen yang akan *dicrossover* = 3

Induk 1 :

A	B	C	D	E
---	---	---	---	---

Induk 2:

C	D	A	E	B
---	---	---	---	---

Anak 1					Anak 2				
	B	C		E		D	A	E	
			B	C	E			D	A
E	D	A	B	C	E	B	C	D	A

2) *Cycle Crossover*

Pada metode ini akan dilakukan *cycle* antara dua induk, yang dimulai dari porusuk awal gen kromosom induk 1 dan akan berhenti pada gen yang tidak dilanjutkan *cyclenya*.

Contoh ilustrasi dari *cycle crossover*:

Induk 1:

B	E	C	D	A
---	---	---	---	---

Induk 2↓

C	D	A	E	B
---	---	---	---	---

Pola cycle: B → C → A → B →

Anak 1					Anak 2				
B		C		A	C		A		B
B	D	C	E	A	C	E	A	D	B

**f. Mutasi (Mutation)**

Mutasi merupakan proses untuk mengubah nilai dari satu atau beberapa gen dalam suatu kromosom. Operasi mutasi yang dilakukan pada kromosom dengan tujuan untuk memperoleh kromosom-kromosom baru sebagai kandidat solusi pada generasi mendatang dengan *fitness* yang lebih baik, dan lama-kelamaan menuju

solusi optimum yang diinginkan. Akan tetapi, untuk mencapai hal ini, penekanan *selektif* juga memegang peranan yang penting. Jika dalam proses pemilihan kromosom-kromosom cenderung terus pada kromosom yang memiliki *fitness* yang tinggi saja, konvergensi prematur akan sangat mudah terjadi (Murniati, 2009: 24).

#### g. *Elitism*

*Elitism* merupakan proses untuk menjaga agar individu bernilai *fitness* tertinggi tersebut tidak hilang selama evolusi (Kusumadewi, 2003: 112). Proses seleksi dilakukan secara random sehingga tidak ada jaminan bahwa suatu individu yang bernilai *fitness* tertinggi akan selalu terpilih. Walaupun individu bernilai *fitness* tertinggi terpilih, mungkin saja individu tersebut akan rusak (nilai *fitness*-nya menurun) karena proses pindah silang. Oleh karena itu, untuk menjaga agar individu bernilai *fitness* tertinggi tersebut tidak hilang selama evolusi, maka perlu dibuat satu atau lebih. Proses *elitism* dilakukan dengan menduplikat individu dengan nilai *fitness* terbaik untuk dijadikan individu pertama pada generasi berikutnya.

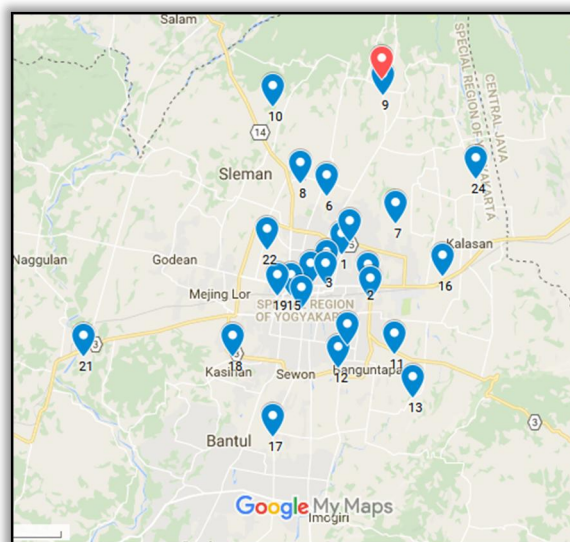
#### h. Pembentukan Populasi Baru

Proses membangkitkan populasi baru bertujuan untuk membentuk populasi baru yang berbeda dengan populasi awal. Pembentukan populasi baru ini didasarkan pada keturunan-keturunan baru hasil mutasi ditambah dengan individu terbaik setelah dipertahankan dengan proses *elitism*. Setelah populasi baru terbentuk, kemudian mengulangi langkah-langkah evaluasi nilai *fitness*, proses seleksi, proses pindah silang, proses mutasi pada populasi baru untuk membentuk populasi baru selanjutnya.

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini digunakan algoritma genetika variasi *crossover*, yaitu *order crossover* dan *cycle crossover* untuk menyelesaikan CVRPTW pada kasus pendistribusian galon air mineral di Evita. Prosedur algoritma genetika untuk optimasi rute pendistribusian galon air mineral di Evita sudah dijelaskan sebelumnya.

Evita memiliki 102 pelanggan yang dalam hal ini direpresentasikan sebagai titik. Titik-titik yang berjarak kurang dari atau sama dengan 6 km kemudian dijadikan 1 titik, sehingga diperoleh 25 titik. Hal inilah yang disebut proses reduksi.



Gambar 1 Peta Pelanggan Evita Setelah Direduksi

Setelah dibentuk model matematika CVRPTW pendistribusian galon air mineral di Evita yang sudah disampaikan sebelumnya, maka kemudian diselesaikan dengan metode algoritma genetika *order crossover* dan *cycle crossover* menggunakan bantuan *software* Matlab.

Pada penelitian ini, dilakukan beberapa kali percobaan dengan menggunakan beberapa nilai ukuran populasi dan jumlah generasi yang

berbeda-beda pada *order crossover* dan *cycle crossover*. Hasil percobaan kedua metode *crossover* disajikan dalam Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1 Hasil Percobaan *Order Crossover*

Percobaan ke-	Ukuran Populasi	Jumlah Generasi	Fitness	Total Waktu (menit)
1	20	200	0.001043	959
2		400	0.001152	868
3		600	0.001206	829
4		800	0.001217	822
5		1000	0.001143	875
6	25	200	0.001033	968
7		400	0.001086	921
8		600	0.001105	905
9		800	0.001085	922
10		1000	0.001112	899
11	30	200	0.001072	933
12		400	0.001134	882
13		600	0.001211	826
14		800	0.001179	848
15		1000	0.001250	800
Rata-Rata				883.8

Tabel 2 Hasil Percobaan *Cycle Crossover*

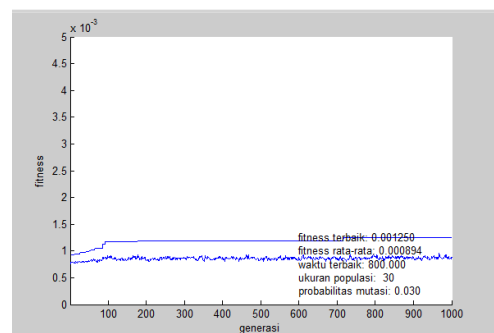
Percobaan ke-	Ukuran Populasi	Jumlah Generasi	Fitness	Total Waktu (menit)
1	20	200	0.001172	853
2		400	0.001263	792
3		600	0.001264	791
4		800	0.001328	753
5		1000	0.001332	751
6	25	200	0.001196	836
7		400	0.001134	882
8		600	0.001200	833
9		800	0.001214	824
10		1000	0.001307	765
11	30	200	0.001218	821
12		400	0.001335	749

13		600	0.001362	734
14		800	0.001328	753
15		1000	0.001332	751
Rata-rata				792.53

Berdasarkan Tabel 1 dan Tabel 2 telah dilakukan uji coba dengan beberapa ukuran populasi *random* yaitu 20, 25, dan 30. Jumlah iterasi yang digunakan yaitu 200, 400, 600, 800, dan 1000. Digunakan parameter dengan nilai yang sama untuk kedua metode pindah silang yaitu *crossover rate* 0.08 dan *mutation rate* 0.03.

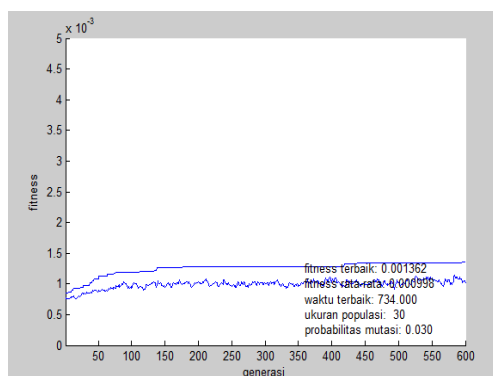
Berdasarkan hasil percobaan untuk metode *order crossover* diperoleh nilai *fitness* terbaik yaitu 0.001250 dengan total waktu tempuhnya 800 menit untuk ukuran populasi 30 pada iterasi ke-1000. Sedangkan untuk metode *cycle crossover* diperoleh nilai *fitness* terbaik yaitu 0.001362 dengan total waktu tempuhnya 734 menit untuk ukuran populasi 30 pada iterasi ke-600. Dari hasil percobaan kedua metode *crossover*, dapat dilihat bahwa metode *cycle crossover* lebih unggul daripada metode *order crossover*.

Grafik dari hasil percobaan yang paling optimal untuk kedua metode adalah sebagai berikut:



Gambar 2 Grafik Metode *Order Crossover*





**Gambar 3** Grafik Metode *Cycle Crossover*

Selanjutnya, setelah diperoleh hasil yang paling optimal dari beberapa percobaan, dilakukan pembagian rute berdasarkan kapasitas kendaraan secara manual untuk metode *order crossover* dan *cycle crossover* yang disajikan pada Tabel 3 dan Tabel 4 berikut:

**Tabel 3** Pembagian Rute Metode *Order Crossover*

Kendaraan ke-	Rute	Waktu (menit)	Kapasitas (galon)
1	0-1-5-23-0	117	149
2	0-7-3-18-25-0	206	146
3	0-20-15-17-4-0	238	237
4	0-13-12-8-22-10-24-9-19-2-11-0	373	274
5	0-21-6-16-14-0	233	149
Rata-Rata		233.4 menit	

**Tabel 4** Pembagian Rute Metode *Cycle Crossover*

Kendaraan ke-	Rute	Waktu (menit)	Kapasitas (galon)
1	0-2-25-22-6-7-22-9-0	258	154
2	0-13-11-0	141	131
3	0-12-20-23-21-4-0	270	213
4	0-3-19-10-8-15-18-17-14-16-0	295	319
5	0-1-5-0	112	138
Rata-Rata		215.2 menit	

Berdasarkan Tabel 3 dan Tabel 4 diperoleh bahwa waktu distribusi untuk setiap kendaraan dengan menggunakan kedua metode *crossover* kurang dari 480 menit, yang artinya tidak melebihi waktu yang diharapkan.

Selanjutnya dilakukan uji beda rata-rata untuk kedua metode *crossover* dengan uji *t* menggunakan SPSS sebagai berikut:

$H_0$  : Tidak ada perbedaan rata-rata waktu tempuh jika menggunakan *order crossover* dengan *cycle crossover*.

$H_1$  : Ada perbedaan rata-rata waktu tempuh jika menggunakan *order crossover* dengan *cycle crossover*

$\alpha$  : 0.05

Kriteria Keputusan :  $H_0$  ditolak jika  $\text{Sig.} < \alpha$

Output hasil Uji *t* dengan menggunakan SPSS adalah sebagai berikut:

Independent Sample Test									
	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2tailed)	Mean difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Waktu Tempuh	.158	.594	5.105	28	0.00	91.267	17.880	54.642	127.98
Equal									
Tempuh			5.105	27.263	0.00	91.267	17.880	54.620	127.91

Setelah melakukan analisis dengan menggunakan SPSS kemudian disimpulkan bahwa nilai Sig. 0,000 lebih kecil dari 0,05 maka artinya  $H_0$  ditolak sehingga  $H_1$  diterima. Jadi hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa ada perbedaan yang signifikan antara rata-rata waktu tempuh jika menggunakan *order crossover* dengan *cycle crossover*.

## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Berdasarkan pembahasan mengenai penyelesaian CVRPTW pada optimasi rute pendistribusian galon air mineral di Evita dengan Algoritma Genetika *order crossover* dan *cycle crossover*, maka dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Model matematika dari masalah CVRPTW pada pendistribusian galon air mineral di Evita adalah:

$$\min z = \sum_{i=1}^{25} \sum_{j=1}^{25} \left( t_{ij} \sum_{k=1}^5 x_{ijk} \right)$$

dengan kendala utama kapasitas kendaraan dan waktu pelayanan.

2. Implementasi algoritma genetika *order crossover* dan *cycle crossover* untuk

menyelesaikan permasalahan optimasi rute pendistribusian dimulai dari teknik pengkodean gen, pembangkitan populasi awal, seleksi, evaluasi nilai *fitness*, *crossover* menggunakan *order crossover* dan *cycle crossover*, mutasi, dan pembentukan populasi baru di mana terdapat proses *elitism* di dalamnya.

3. Metode yang menghasilkan rata-rata waktu distribusi setiap kendaraan lebih minimal dalam pendistribusian galon air mineral di PT Artha Envirotama antara metode Algoritma Genetika menggunakan *order crossover* dengan menggunakan *cycle crossover* adalah metode Algoritma Genetika menggunakan *cycle crossover*.

Berdasarkan perhitungan, algoritma genetika dengan metode *cycle crossover* menghasilkan rata-rata waktu tempuh setiap kendaraan yang lebih baik dibandingkan dengan algoritma genetika dengan metode *order crossover*. Rata-rata waktu tempuh setiap kendaraan yang diperoleh menggunakan *cycle crossover* adalah 215.2 menit sedangkan dengan *order crossover* adalah 233.4 menit.

### Saran

Dalam penelitian skripsi ini, baru dilakukan pembahasan mengenai algoritma genetika dengan metode *order crossover* dan *cycle crossover* sebagai metode penyelesaian CVRPTW, maka perlu dilakukan penyelesaian dengan metode *crossover* yang lain seperti *partial mapped crossover* (PMX), *order based crossover* (OBX), *position based crossover*, *heuristic crossover*, dan lain-lain. Dengan demikian akan terlihat *performance* metode *crossover* mana yang paling mendekati optimal untuk CVRPTW.

Dalam penelitian selanjutnya juga diharapkan penulis memperhatikan analisis biaya yang dikeluarkan dalam proses distribusi. Sehingga solusi yang dihasilkan dapat membantu perusahaan dalam mengurangi biaya distribusi yang harus dikeluarkan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Coley, D. A. (1999). *An Introduction to Genetic Algorithms for Scientists and Engineers*. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
- Dirgantara, A. A. (2015). *Algoritma Genetika Pada Penyelesaian Capacitated Vehicle Routing Problem* (Optimasi Rute Pendistribusian Aqua Galon PT. Tirta Investama). Skripsi: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Fanggidae .A, Lado R.F. (2015). *Algoritma Genetika dan Penerapannya*. Kupang: Teknosain.
- Fitriana, Y.S. (2012). *Multi Travelling Salesman Problem (MTSP) dengan Algoritma Genetika untuk Menentukan Rute Loper Koran di Agen Surat Kabar*. *Phytagoras*, Vol 7, No 2, 55-64
- Gen, M., & Cheng, R. (2000). *Genetic Algorithms & Engineering Optimization*. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Kusumadewi, S. (2003). *Artificial Intelligence (Teknik dan Aplikasinya)*. Yogyakarta: Graha ilmu.
- Laporte, G. (1992). *The Travelling Salesman Problem : An overview of exact and approximate algorithms*. North Holland :
- European Journal of Operational Research 59, 231-247.
- Michalewicz, Z. (1996). *Genetic Algorithms + Data Structure: Evolutionary Programming*. Verlag: Springer.
- Murniati, R. (2009). Penerapan Algoritma Genetika pada *DNA Sequencing by Hibridization*. Depok: Departemen Matematika UI.
- Satriyanto. (2009). Algoritma Genetika. Diakses tanggal 06 Desember 2016 dari <http://entin.lecturer.pens.ac.id/Kecerdasan%20Buatan/Buku/Bab%20%20Algoritma%20Genetika.pdf>.
- Suprayogi. (2003). *Vehicle Routing Problem-Definitions, Variants, and Applications*, *Proceeding Seminar Nasional Perencanaan Sistem Industri 2003*, pp. 209-21.
- Suyanto. (2005). *Algoritma Genetika dalam MATLAB*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Tanujaya, William, dkk. (2011). Penerapan Algoritma Genetika Untuk Penyelesaian Masalah Vehicle Routing di PT. MIF. *Jurnal Widya Teknik*, Vol.10. No.1.
- Toth, P., & Vigo, D. (2002). *The Vehicle Routing Problem*. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics.
- Yeun, L. C., Ismail, W. R., Omar, K., & Zirour, M. (2008). *Vehicle Routing Problem.: Model and Solution*. *Journal of Measurement and Analysis*, 4, Hlm 205-218