

Algoritma genetika pada *split delivery vehicle routing problem* (SDVRP) dan implementasinya

Farid Tri Rahayuningsih¹, Sapti Wahyuningsih², dan Mohammad Yasin³

JURUSAN MATEMATIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI MALANG

E-mail: facrid23@gmail.com

ABSTRAK: *Split Delivery Vehicle Routing Problem* (SDVRP) yaitu perluasan VRP dengan tiap *customer* dapat dilayani lebih dari satu kali yang dikarenakan jumlah permintaan *customer* sama besar atau lebih besar dengan kapasitas dari kendaraan dan dilayani dengan kendaraan yang berbeda untuk meminimalkan biaya pendistribusian. Algoritma genetika adalah suatu jenis struktur pencarian nilai optimal berdasarkan peniruan proses evolusi biologi. Algoritma genetika pada SDVRP terdiri dari enam langkah, yaitu teknik pengkodean, pembangkitan populasi awal, pembentukan rute berdasarkan kendala kapasitas, perhitungan nilai *fitness* kemudian seleksi pindah silang dengan metode *Partial-Mapped Crossover* (PMX) dan mutasi. Untuk mempermudah dalam menyelesaikan SDVRP dengan algoritma genetika maka direpresentasikan dalam program komputer menggunakan *Borland Delphi 7*. Meskipun program sangat membantu mempermudah dalam menghitung jarak minimum pada permasalahan pendistribusian, namun program ini memiliki kelemahan yaitu lama proses perhitungan dipengaruhi oleh banyak populasi dan maksimum generasi yang diberikan.

Kata kunci: *Vehicle Routing Problem* (VRP), *Split Delivery Vehicle Routing Problem* (SDVRP), Algoritma Genetika, *Partial-Mapped Crossover*

ABSTRACT: *Split Delivery Vehicle Routing Problem* (SDVRP) which is VRP enlargement in which every customer allowed to be visited more than once because number of customer demands as big as or bigger than vehicle capacity and it be served with different vehicle to minimize distribution cost. Genetic algorithm is one type of finding structure of optimal value based imitation of biology evolution process. Genetic algorithm to the SDVRP consists of six steps, coding technique, generation of initial population, making of route based capacity obstacle, fitness value assessment then selection, crossover with *Partial-mapped Crossover* (PMX) method and mutation. Then, to ease in solving SDVRP problem with genetic algorithm, thus it is represented in computer program uses *Borland Delphi 7*. Although the program is very helpful to ease in calculating minimum distance to the distribution problem, however, this program has the weakness such as need long time for calculating process which influenced by many populations and the given generation maximum.

Keywords: *Vehicle Routing Problem* (VRP), *Split Delivery Vehicle Routing Problem* (SDVRP), Genetic Algorithm, *Partial-Mapped Crossover*

Dalam dunia bisnis tidak dapat dipungkiri biaya pendistribusian memegang peranan yang sangat penting. Pendistribusian adalah salah satu kegiatan yang tidak memberikan nilai tambah namun dibutuhkan untuk mengantarkan produk dari produsen ke konsumen. Dengan tidak memberikannya nilai tambah sebisa mungkin biaya yang digunakan minimal. Salah satu cara yang

1. Farid Tri Rahayuningsih adalah mahasiswa jurusan Matematika FMIPA Universitas Negeri Malang
2. Sapti Wahyuningsih adalah dosen jurusan Matematika FMIPA Universitas Negeri Malang
3. Mohamad Yasin adalah dosen jurusan Matematika FMIPA Universitas Negeri Malang

digunakan untuk meminimalkan biaya pendistribusi adalah dengan menentukan rute pendistribusian yang optimal untuk menghasilkan biaya yang minimal.

Vehicle Routing Problem (VRP) banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari, contohnya adalah permasalahan pendistribusian di perusahaan, sistem pengangkutan sampah, dan berbagai masalah kehidupan sehari-hari yang lainnya (Yeun, Choong Liong and Zirour, Mourad. 2008). Salah satu terapan dari teori graph yang banyak digunakan untuk menyelesaikan permasalahan pencarian rute optimal adalah *Split Delivery Vehicle Routing Problem* (SDVRP). *Split Delivery Vehicle Routing Problem* yang merupakan perluasan dari *Vehicle Routing Problem* (VRP). *Split Delivery Vehicle Routing Problem* (SDVRP) ini perlu dilakukan jika jumlah permintaan *customer* sama besar atau lebih besar dengan kapasitas dari kendaraan (Archetti, C., Salvendy, M, W, P., Speranza, M, G, 2001). Menurut Mutakhiroh, I., dkk (2007) permasalahan VRP dapat diselesaikan dengan menggunakan metode heuristik. Salah satu metode heuristik yang biasa digunakan adalah metode algoritma genetika. Algoritma genetika adalah suatu jenis struktur pencarian nilai optimal berdasarkan peniruan proses evaluasi biologi (Wilck, Joseph Hubert and Cavalier, Tom M, 2012)

Pada artikel ini akan dibahas algoritma genetika pada *Split Delivery Vehicle Routing Problem* (SDVRP), dengan tahapan-tahapan algoritma genetika yang pertama yaitu pembentukan populasi awal (inisialisasi) dengan permutasi *Josephus*, perhitungan nilai *fitness*, seleksi dengan metode *Roulette Wheel Selection*, pindah silang dengan metode PMX, dan yang terakhir mutasi dengan *Inversion Mutation*. Pemilihan metode *Roulette Wheel*, PMX dan *Inversion Mutation* sebagai metode seleksi, pindah silang dan mutasi karena metode tersebut merupakan metode yang paling sederhana tetapi mampu mewakili semua metode yang ada dan memberikan solusi alternatif yang dapat membantu didapatkannya solusi dari algoritma genetika untuk SDVRP. Parameter yang ada pada algoritma genetika antara lain jumlah generasi, ukuran populasi (*popsize*), probabilitas *crossover* (p_c) dan probabilitas mutasi (p_m).

Seiring kemajuan teknologi maka penyelesaian algoritma genetika pada SDVRP dapat pula diimplementasikan dalam bentuk program komputer. Program komputer akan sangat membantu mempermudah menyelesaikan permasalahan yang berkaitan dengan SDVRP sehingga tidak membutuhkan waktu lama dalam menyelesaikannya. Dalam hal ini, program komputer yang dibuat menggunakan aplikasi *Borland Delphi 7*.

HASIL YANG DIHARAPKAN

1. Mengetahui langkah-langkah algoritma genetika dalam menyelesaikan SDVRP.
2. Mengimplementasikan algoritma genetika ke dalam program komputer yang dibuat dengan *Borland Delphi 7*.
3. Menguji coba program yang dibuat dengan parameter ukuran populasi dan banyak iterasi yang ditentukan. Kemudian, mengidentifikasi pengaruh parameter pada algoritma genetika.

HASIL DAN PEMBAHASAN

- **Split Delivery Vehicle Routing Problem (SDVRP)**

Split Delivery Vehicle Routing Problem (SDVRP) merupakan salah satu perluasan dari *Vehicle Routing Problem (VRP)*. *Split Delivery Vehicle Routing Problem (SDVRP)* adalah perluasan VRP jika tiap *customer* dapat dilayani dengan kendaraan yang berbeda andaikan biayanya berkurang. Perluasan ini perlu jika jumlah permintaan customer sama besar atau lebih besar dengan kapasitas dari kendaraan. Tujuan dari permasalahan ini adalah meminimalkan jumlah kendaraan dan total jarak tempuh tiap kendaraan dengan memperhitungkan jumlah permintaan dari sebarang rute tidak boleh melebihi kapasitas kendaraan (Archetti, C., Salvendy, M, W, P., Speranza, M, G, 2001).

Model matematika dari SDVRP adalah sebagai berikut (Archetti, C & Speranza, M.G. 2006:64):

Fungsi tujuan untuk meminimalkan total jarak tempuh pelayanan

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, i \neq j}^n c_{ij} \sum_{k=1}^m X_{ij}^k$$

Dengan

$$X_{ij}^k = \begin{cases} 1, & \text{jika sisi}(i, j) \text{ melintasi rute } k \\ 0, & \text{untuk yang lain} \end{cases}$$

Dengan batasan-batasan sebagai berikut:

Batasan 1: Setiap permintaan *customer* terpenuhi tanpa melebihi kapasitas kendaraan

$$\sum_{k=1}^m v_{ik} = d_i, \quad \forall i = 2, \dots, n$$

$$\sum_{i=2}^n v_{ik} \leq Q, \quad \forall k = 1, \dots, m$$

Batasan 2: Setiap kendaraan harus meninggalkan *customer* yang telah dikunjungi

$$\sum_{i=1, i \neq p}^n X_{ip}^k - \sum_{j=1, j \neq p}^n X_{pj}^k = 0, \quad \forall k = 1, \dots, m \text{ dan } p = 1, \dots, n$$

$$u_{ik} - u_{jk} + nX_{ij}^k \leq n - 1, \quad \forall i = 2, \dots, n; i \neq j; k = 1, \dots, m$$

Batasan 3: Variabel biner positif, jika permintaan telah diterima *i* pada rute *k*

$$d_i y_{ik} \geq v_{ik}, \quad \forall k = 1, \dots, m; i = 2, \dots, n$$

$$\sum_{j=1, j \neq i}^n X_{ij}^k = y_{ik}, \quad \forall k = 1, \dots, m; i = 2, \dots, n$$

Batasan 4: Setiap rute berawal dan berakhir di depot

$$\sum_{j=2}^n (X_{1j}^k + X_{j1}^k) = 2, \quad \forall k = 1, \dots, m$$

Batasan 5: Setiap customer dikunjungi satu atau lebih dari satu dengan kendaraan yang berbeda

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m X_{ij}^k \geq 1, \quad j = 0, \dots, n$$

Batasan 6: Batas Nilai

$$\begin{aligned} X_{ij}^k &\in \{0,1\}, \quad \forall i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, n; i \neq j; k = 1, \dots, m \\ y_{ik} &\in \{0,1\}, \quad \forall i = 2, \dots, n; k = 1, \dots, m \\ v_{ik} &\geq 0, \quad \forall i = 2, \dots, n; k = 1, \dots, m \end{aligned}$$

Keterangan:

- m : jumlah rute kendaraan
- n : jumlah titik/customer
- Q : kapasitas kendaraan
- c_{ij} : jarak titik i ke titik j
- d_i : permintaan customer i (dimana $d_1 = 0$)

- **Algoritma Genetika pada *Split Delivery Vehicle Routing Problem* (SDVRP)**

Algoritma genetika pada SDVRP terdiri dari enam langkah, yaitu teknik pengkodean, pembangkitan populasi awal, pembentukan rute berdasarkan kendala kapasitas, perhitungan nilai *fitness* kemudian seleksi pindah silang dengan metode *Partial-Mapped Crossover* (PMX) dan mutasi (Kusumadewi, Sri. 2003).

1. Teknik Pengkodean
Teknik pengkodean yang digunakan pada *Split Delivery Vehicle Routing Problem* adalah *permutation encoding*. Pada *permutation encoding*, kromosom-kromosom adalah kumpulan bilangan bulat yang mewakili posisi *customer* atau depot pada suatu rute.
2. Pembentukan populasi
Populasi adalah kumpulan dari beberapa solusi, dan solusi merupakan kumpulan dari beberapa rute. Salah satu cara dalam menghasilkan populasi awal adalah dengan menggunakan Permutasi Josephus. Misalkan ada kota dari 1 sampai 9. Permutasi dari lintasan dapat dilakukan dengan menentukan titik awal dan selang. Misalnya titik awal adalah 6 dan selang adalah 5. Maka lintasan berangkat dari kota 6, selang 5 dari kota 6 adalah kota 2 (dengan asumsi kota 1 sampai 9 membentuk circular list). Kota 2 dihapus dari list. Selang 5 kemudian adalah kota 7. Proses ini diulang hingga semua kota terpilih. Hasil dari permutasi ini adalah 2 – 7 – 3 – 8 – 4 – 9 – 5 – 1 – 6.
3. Pendefinisian nilai *fitness*
Pada SDVRP nilai *fitness* didefinisikan dengan $\frac{1}{\text{total jarak}}$. Dalam hal ini semakin besar nilai *fitness* semakin kecil jarak tempuh pendistribusiannya. Oleh karena itu, rute yang memiliki nilai *fitness* tertinggi akan menjadi rute yang optimal.
4. Seleksi
Pada tahap seleksi digunakan metode *Roulette Wheel Selection*. Cara kerja metode ini adalah sebagai berikut:
 - a. Menghitung nilai *fitness* dari masing-masing rute
 - b. Menghitung total *fitness* semua rute.
 - c. Menghitung probabilitas masing-masing rute.
 - d. Dari probabilitas tersebut, dihitung jatah masing-masing rute pada angka 0 sampai 1.

e. Bangkitkan bilangan random antara 0 sampai 1.

Dari bilangan random yang dihasilkan, ditentukan solusi mana yang akan terpilih dalam proses seleksi.

5. *Crossover*

Pada tahap pindah silang digunakan metode *Partial-Mapped Crossover* dengan langkah-langkah sebagai berikut:

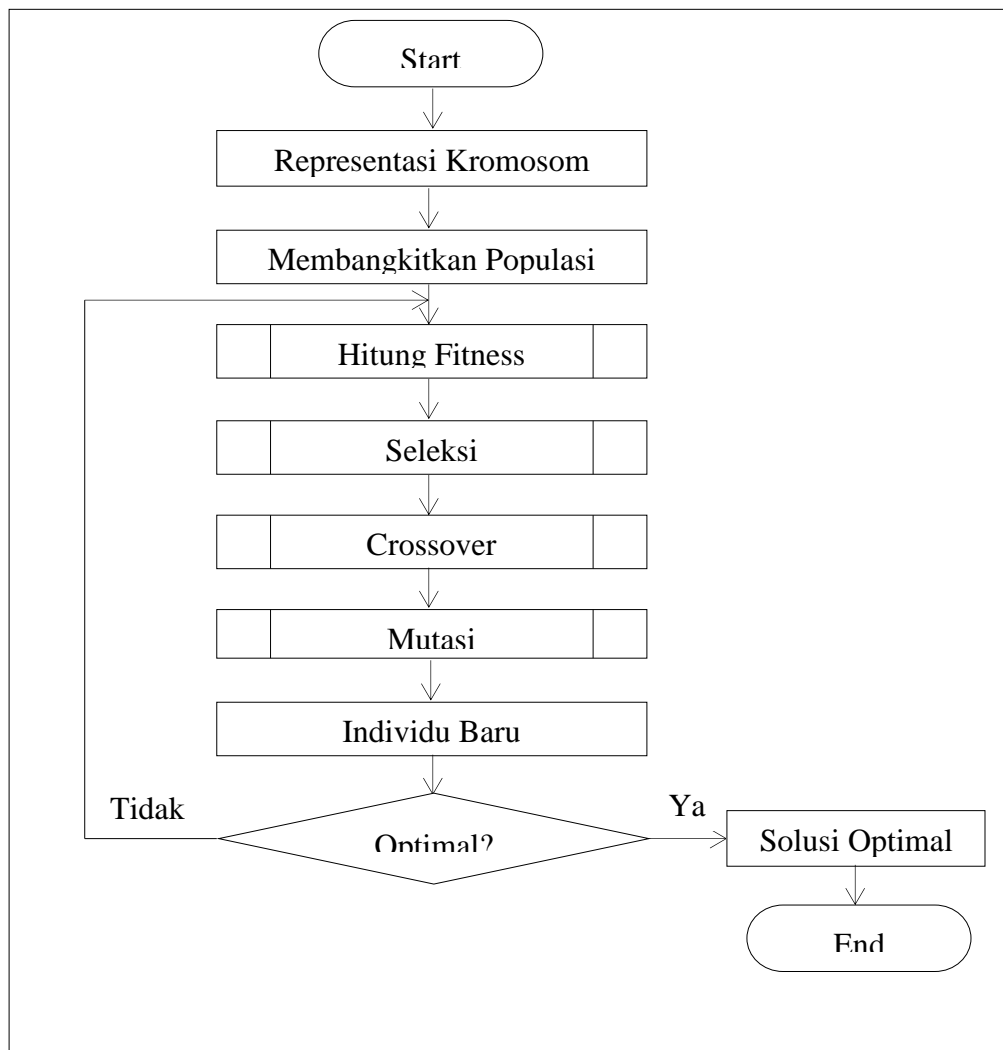
1. Tentukan dua posisi pada solusi dengan aturan acak. *Customer* yang berada dalam dua posisi ini dinamakan daerah pemetaan.
2. Tukar dua daerah pemetaan antar solusi untuk menghasilkan solusi turunan.
3. Tentukan hubungan pemetaan diantara daerah pemetaan.
4. Tentukan solusi baru mengacu pada hubungan pemetaan.

6. *Mutasi*

Metode mutasi yang digunakan adalah *Inversion Mutation*, yaitu memilih dua posisi *customer* dalam solusi secara acak, kemudian menginversikan *customer* diantara dua posisi tersebut.

Keseluruhan proses tersebut akan menghasilkan populasi baru, yang kemudian akan digunakan sebagai populasi awal pada proses iterasi selanjutnya.

Berikut ini adalah *block diagram* dari algoritma genetika pada *Split Delivery Vehicle Routing Problem (SDVRP)*.



- **Contoh Penerapan**

Suatu perusahaan akan melakukan pendistribusian kepada 8 *customer* yang tersebar di berbagai daerah. Kapasitas kendaraan adalah 50. Adapun daftar permintaan tiap *customer* seperti pada Tabel 3.1 berikut

Tabel 1. Permintaan Customer

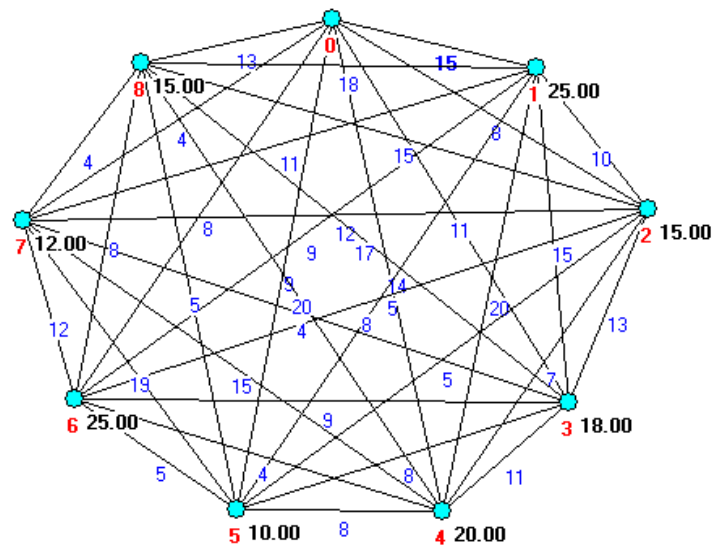
Customer	1	2	3	4	5	6	7	8
Permintaan	25	15	18	20	10	25	12	15

Tabel 2. Jarak Depot ke Customer dan Antar Customer

c_{ij}	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	15	8	11	14	9	8	4	13
1	15	0	10	15	20	5	9	11	18
2	8	10	0	13	7	5	8	12	15
3	11	15	13	0	11	8	9	4	17
4	14	20	7	11	0	8	4	15	20
5	9	5	5	8	8	0	5	19	5
6	8	9	8	9	4	5	0	12	8
7	4	11	12	4	15	19	12	0	4
8	13	18	15	17	20	5	8	4	0

Keterangan:

Untuk kolom pertama dan baris pertama, 0 menyatakan depot dan 1,2,...,8 merupakan customer. Jarak dari 0 (depot) ke customer 1 adalah 15km, jarak dari depot ke customer 2 adalah 8 km, dan seterusnya.



Gambar 1. Representasi Permasalahan dalam Bentuk Graph Komplit

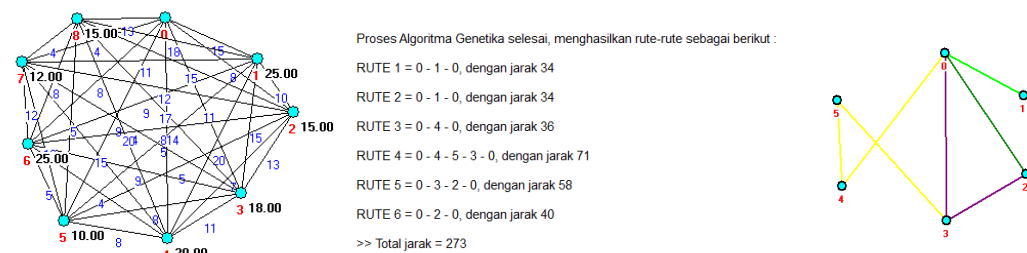
Pada Gambar 1, depot dan *customer* diwakili oleh titik dan jalan yang dilalui dari depot menuju *customer* atau dari suatu *customer* ke *customer* lainnya diwakili oleh sisi.

Dengan probabilitas *crossover* ($p_c = 0,80$), probabilitas *mutasi* ($p_m = 0,01$), maksimum generasi adalah 2 dan ukura populasi 10, diperoleh hasil sebagai berikut:

Rute 1 (r_1): 0 – 2 – 1 – 3 – 0 dengan jarak 44 km
 Rute 2 (r_2): 0 – 3 – 4 – 5 – 6 – 0 dengan jarak 43 km
 Rute 3 (r_3): 0 – 6 – 8 – 7 – 0 dengan jarak 24 km
 Total jarak = $r_1 + r_2 + r_3 = 44 + 43 + 24 = 111$ km.

• Uji Coba Program

Program yang telah dibuat telah diuji coba dengan menggunakan 8, 13, 25, 75 dan 100 titik. Salah satu implementasi program dapat dilihat pada gambar berikut yang diuji coba dengan 8 titik dengan probabilitas *crossover* ($p_c = 0,80$), probabilitas *mutasi* ($p_m = 0,01$), maksimum generasi adalah 2 dan ukuran populasi 10. Dari paling kiri yaitu graph awal dari permasalahan selanjutnya terdapat tampilan hasil setelah dilakukan proses dan visualisasi hasil dari rute yang diperoleh.



Berdasarkan gambar kedua, diperoleh hasil berupa rute yang optimal dari program SDVRP menggunakan algoritma genetika sebagai berikut:

1. Rute 1: 0 – 1 – 0, dengan jarak tempuh 34 km
2. Rute 2: 0 – 1 – 0, dengan jarak tempuh 34 km
3. Rute 3: 0 – 4 – 0, dengan jarak tempuh 36 km
4. Rute 4: 0 – 4 – 5 – 3 – 0, dengan jarak tempuh 71 km
5. Rute 5: 0 – 3 – 2 – 0, dengan jarak tempuh 58 km
6. Rute 6: 0 – 2 – 0, dengan jarak tempuh 40 km

Sehingga diperoleh total jarak tempuhnya adalah 273 km. Selain diuji coba dengan berbagai titik, program yang telah dibuat juga telah diuji coba menggunakan parameter ukuran populasi dan jumlah generasi. Dari uji coba yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan bahwa ukuran/jumlah populasi dan jumlah generasi yang diinputkan tidak selalu mempengaruhi hasil dari perhitungan. Besarnya jumlah populasi tidak menjamin jarak yang diperoleh merupakan jarak minimum. Hal ini disebabkan oleh pembangkitan populasi awal dilakukan secara acak (*random*).

PENUTUP

Kesimpulan

Setelah dilakukan pembahasan mengenai algoritma genetika pada SDVRP dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. *Split Delivery Vehicle Routing Problem* (SDVRP) merupakan salah satu perluasan dari *Vehicle Routing Problem* (VRP) yang mana tiap *customer* dilayani dengan kendaraan berbeda karena jumlah permintaan *customer* yang sama atau lebih besar dari kapasitas kendaraan. Tujuan dari SDVRP adalah meminimalkan jumlah kendaraan dan total jarak tempuh tiap kendaraan. Tahapan-tahapan algoritma genetika diawali dengan inisialisasi, pembentukan

rute, menghitung nilai *fitness*, seleksi dengan *Roulette Wheel Selection*, pindah silang (*crossover*) menggunakan *Partial-Mapped Crossover*. Selanjutnya tahap mutasi dengan metode *Inversion Mutation*. Setelah semua tahap selesai dilalui, algoritma akan bekerja sesuai dengan iterasi yang telah ditentukan dan akan menghasilkan rute yang optimal ketika iterasi berhenti.

2. Algoritma genetika diimplementasikan ke dalam komputer. Penggunaan program dimulai dengan menginputkan *popsiz*e (ukuran populasi), probabilitas *crossover*, probabilitas mutasi, maksimum iterasi dan kapasitas kendaraan pada label yang telah disediakan. Kemudian dilanjutkan dengan menginputkan banyaknya titik, jarak antar *customer* serta permintaan setiap *customer*. *Output* yang dihasilkan pada program tersebut adalah hasil rute dengan jarak yang ditempuh serta gambar rutenya.
3. Program telah diuji coba dengan menggunakan beberapa parameter yaitu jumlah titik (*customer*), *popsiz*e dan maksimum iterasi. Dari uji coba yang telah dilakukan, parameter genetika *popsiz*e dan maksimum iterasi tidak mempengaruhi keoptimalan hasil yang didapatkan. Hal ini disebabkan oleh pembentukan populasi awal dilakukan dengan cara *random*. Dari uji coba disimpulkan juga bahwa, semakin besar nilai iterasi maksimum yang diinputkan maka waktu yang diperlukan untuk memproses hasil juga semakin lama. Semakin besar ukuran populasi (*popsiz*e) dan maksimum iterasi yang diberikan maka akan memberikan calon solusi yang lebih banyak akan tetapi juga akan membutuhkan waktu running yang *relative* lama. Program yang telah dibuat juga telah diuji coba dengan 75 dan 100 titik tanpa mengalami masalah (*error*) sehingga program tersebut dapat digunakan untuk menyelesaikan SDVRP dengan algoritma genetika dalam jumlah titik yang banyak.

Saran

Dalam artikel ini, penulis telah membahas SDVRP menggunakan algoritma genetika, dimungkinkan bagi pembaca untuk mengembangkan artikel yang telah ditulis yaitu dengan menyelesaikan permasalahan SDVRP menggunakan metode lain ataupun algoritma lain salah satunya yaitu algoritma tabu search.

DAFTAR PUSTAKA

- Aldous, Joan M. and Wilson, Robin J. 2004. *Graphs and Applications An Introductory Approach*. Great Britain: Springer.
- Archetti, C., Salvendy, M, W, P., Speranza, M, G. 2001. Worst-Case Analysis for Split Delivery Vehicle Routing Problems. *Transportation Science*, 13(1):64-73, (Online)
- Archetti, C & Speranza, M.G. 2006. A Tabu Search Algorithm for the Split Delivery Vehicle Routing Problem. *Transportation Science*, 40(1). (Online)
- Kusumadewi, Sri. 2003. *Artificial Intelligence (Teknik dan Aplikasinya)*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Mutakhir, I., Saptono, F., Hasanah, N., Wiryadinata, R. 2007. Pemanfaatan Metode Heuristik dalam Pencarian Jalur Terpendek dengan Algoritma

- Semut dan Algoritma Genetika. *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi 2007*, (3): 34-39.
- Wilck, Joseph Hubert, and Cavalier, Tom M. 2012. A Genetic Algorithm for the Split Delivery Vehicle Routing Problem, *American Journal of Operation Research* 2(24): 207-216(Online)
- Yeun, Choong Liong and Zirour, Mourad. 2008. Vehicle Routing Problem: Models and Solution, *Journal Of Quality Measurement and Analysis*, 4(1):205-218, (Online)