

Optimasi *Vehicle Routing Problem with Time Windows* (VRPTW) Pada Distribusi Kue Menggunakan Algoritma Genetika

Daryono Budi Utomo, Dinah Razan Anshori, Nuri Wahyuningsih
Departemen Matematika, Fakultas Matematika, Komputasi, dan Sains Data, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
daryono.math@gmail.com, dinahrazan@gmail.com, nuri@aktuaria.its.ac.id

Info Artikel

Riwayat Artikel:

Diterima: 21 Oktober 2019
Direvisi: 18 November 2019
Diterbitkan: 15 Januari 2020

Kata Kunci:

Algoritma Genetika
Distribusi kue
Rute Optimal
Vehicle Routing Problem
Time Window

ABSTRAK

Kegiatan distribusi adalah kegiatan tidak bisa lepas dalam dunia industri, terutama yang bergerak dalam bidang produksi. Dalam pendistribusian suatu produk perlu mempertimbangkan beberapa faktor antara lain waktu, jarak tempuh, biaya transportasi, serta rute yang akan dilalui dari satu tempat ke tempat yang lainnya. Pada makalah ini, dibahas bagaimana menentukan jarak terpendek pendistribusian kue industri rumah tangga “Matoh Tenan” ke 26 toko kue yang berbeda dengan menggunakan empat kendaraan. Untuk memudahkan Toko Kue dinyatakan bilangan 1 sampai dengan 26, data jarak antar toko kue menggunakan Google Map. Dalam pendistribusian empat kendaraan mulai dari “Matoh Tenan” sebagai titik awal dan kembali lagi ke titik awal. Metode yang digunakan adalah *Vehicle Routing Problem Time Window* (VRPTW) dan penyelesaiannya menggunakan algoritma genetika. Untuk mendapatkan solusi terbaik digunakan beberapa kombinasi probabilitas *crossover* dan mutasi serta ukuran populasi. Dari hasil pengujian ukuran populasi terbaik adalah 150 populasi, sedangkan untuk kombinasi probabilitas *crossover* dan mutasi adalah 0,2 dan 0,7. Dari nilai-nilai parameter ini didapatkan rute optimal dengan nilai *fitness* sebesar 0,0160. Rute dimulai dari titik awal untuk rute kendaraan 1: 9 ke 3 ke 5 ke 6 ke 10 ke 4 ke 12, rute kendaraan 2: 1 ke 18 ke 24 ke 11 ke 20 ke 23 ke 13, rute kendaraan 3: 26 ke 7 ke 14 ke 25 ke 21 ke 19, rute kendaraan 4: 2 ke 8 ke 22 ke 17 ke 16 ke 15 dan jarak tempuh dari total perjalanan oleh 4 kendaraan yaitu 62,31 km.

Korespondensi:

Daryono Budi Utomo,
Departemen Matematika,
Fakultas Matematika, Komputasi, dan Sains Data,
Kampus ITS Surabaya, Jawa Timur, Indonesia 60111
daryono.math@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Distribusi adalah suatu kegiatan untuk memindahkan produk dari pihak *supplier* ke pihak konsumen dalam suatu rantai pasok (*supply chain*) [1]. Dalam dunia industri, distribusi merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi pendapatan. Dalam pendistribusian suatu produk harus mempertimbangkan beberapa faktor antara lain waktu tempuh dari satu tempat ke tempat yang lain, jarak tempuh dari satu tempat ke tempat yang lain, biaya transportasi, dan rute yang akan dilalui. Penentuan rute terbaik dengan mengoptimalkan sumber daya yang tersedia dapat menekan biaya operasional industri dan juga dapat mengoptimalkan pendistribusian produk dengan tepat waktu. Pendistribusian produk dari sumber ke beberapa tempat tujuan merupakan suatu permasalahan yang cukup kompleks, karena dengan adanya beberapa tempat tujuan pengiriman produk akan menimbulkan beberapa jalur distribusi yang jarak dan waktu tempuh yang semakin panjang dan lama, hal ini akan berimbas pada biaya pengiriman (transportasi) yang cukup besar [2]. Kurang baiknya perencanaan sistem distribusi akan mempengaruhi pemborosan biaya distribusi dan memakan waktu yang lama yang selanjutnya dapat menyebabkan hilangnya kepercayaan konsumen. Oleh karena itu, pendistribusian yang baik dalam menentukan rute, waktu, dan biaya distribusi yang minimum merupakan salah satu hal yang penting pada

industri. Masalah pendistribusian ini dapat digolongkan sebagai *Vehicle Routing Problem* (VRP). VRP mendefinisikan permasalahan penentuan rute distribusi dimana seseorang mendatangi beberapa titik hanya satu kali dari titik awal dan harus kembali ke titik awal pada akhir perjalanannya. Pada VRP mendefinisikan permasalahan rute dimana setiap titik digambarkan sebagai konsumen, dan tiap kendaraan yang dipakai untuk proses pendistribusian dianggap memiliki kapasitas tertentu. Algoritma genetika menawarkan suatu solusi pemecahan masalah yang terbaik, dengan memanfaatkan metode seleksi, crossover, dan mutasi [3]. Dalam makalah ini, digunakan algoritma genetika untuk menyelesaikan permasalahan VRPTW (*Vehicle Routing Problem with Time Window*) yang dapat menghasilkan output optimal dalam kasus pendistribusian kue.

2. DASAR TEORI

2.1. *Vehicle Routing Problem* dan *Vehicle Routing Problem with Time Window*

Vehicle Routing Problem adalah suatu masalah pencarian jalur yang akan dilalui dengan tujuan mencari rute dengan jarak yang paling pendek. *Vehicle Routing Problem with Time Window* merupakan VRP dengan kendala tambahan berupa adanya *time window* pada masing-masing pelanggan. Bentuk model matematis *Vehicle Routing Problem with Time Window* secara umum didefinisikan sebagai berikut[5] :

$$Z_{vrptw} = \text{minimum} \sum_{i,j \in N} c_{ij} + \sum_{i \in N} P_i$$

dengan:

C_{ij} : jarak tempuh dari titik i ke titik j .

P_i : Penalti apabila kendaraan melebihi kapasitas dan *time window*

N : kumpulan titik yang terdiri dari pelanggan

2.2. Algoritma Genetika

Algoritma genetika merupakan algoritma yang memanfaatkan proses seleksi alamiah yang dikenal dengan proses evolusi. Algoritma genetika merepresentasikan suatu solusi permasalahan dalam bentuk kromosom. Terdapat beberapa aspek penting dalam algoritma genetika antara lain definisi fungsi fitness, definisi dan implementasi representasi genetika, serta definisi dan implementasi operasi genetika merupakan tiga aspek pendukung kinerja algoritma genetika [6]. Secara umum siklus dari algoritma genetika adalah :

1. Representasi Kromosom

Representasi kromosom merupakan suatu proses untuk menyelesaikan masalah dimana suatu permasalahan dapat dikodekan ke dalam kromosom[4]. Contoh jenis representasi kromosom adalah penggunaan representasi permutasi dengan node 1 sampai dengan 10 diubah menjadi kromosom dengan urutan 2, 5, 7, 4, 1, 9, 6, 10, 3 dan 8 yang ditunjukkan pada Gambar 1.

Node	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kromosom	2	5	7	4	1	9	6	10	3	8

Gambar 1. Bentuk kromosom pada representasi permutasi

2. Inisialisasi populasi awal

Inisialisasi yaitu membangkitkan individu secara acak yang memiliki susunan *chromosome* yang mewakili solusi dari permasalahan yang ingin dipecahkan. Tempat penampungan individu tersebut disebut populasi[7]. Representasi yang digunakan adalah representasi permutasi yang merupakan bentuk pengkodean yang direpresentasikan dengan angka sebagai gen. Hasil individu yang dibangkitkan didapat susunan kromosom yang optimal. Tabel 1 menunjukkan contoh individu yang dibangkitkan dengan representasi permutasi.

Tabel 1. Contoh individu

Individu ke-	Susunan Kromosom
Individu 1	2 3 4 5 6 1 8 9 7 10
Individu 2	6 1 2 3 4 5 8 7 9 10
Individu 3	4 5 6 1 2 3 7 8 9 10
Individu 4	3 6 1 2 7 8 4 5 9 10
Individu 5	5 6 1 2 3 4 10 7 9 8

3. Nilai *fitness*

Nilai *Fitness* adalah nilai yang dimiliki oleh masing-masing individu untuk menentukan tingkat kesesuaian individu tersebut dengan kriteria atau tujuan (obyektif) permasalahan yang ingin dicapai[9]. Fungsi tujuan untuk sistem optimasi distribusi kue menggunakan Algoritma genetika adalah[8]:

$$\text{Nilai fitness} = \frac{1}{f_x}$$

dengan :

$$f_x : = Z_{vrptw}$$

C_{ij} : jarak tempuh dari titik i ke titik j .

P_i : Penalti apabila kendaraan melebihi kapasitas dan *time window*

N : kumpulan titik yang terdiri dari pelanggan

4. Seleksi

Seleksi merupakan pemilihan individu terbaik yang akan dijadikan *parent* untuk generasi selanjutnya[10]. Seleksi dilakukan untuk memilih individu dari himpunan populasi dan *offspring* yang dipilih untuk melakukan proses genetik pada generasi berikutnya[8]. Ada beberapa metode seleksi diantaranya yaitu:

a. Seleksi *Elitism*

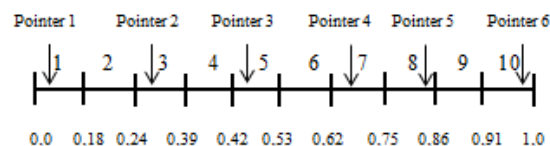
Seleksi *elitism* merupakan seleksi yang dilakukan dengan mengambil nilai *fitness* tertinggi suatu individu[11].

b. Seleksi *Roulette Wheel*

Metode seleksi *roulette wheel* merupakan metode yang paling sederhana dan sering juga dikenal dengan nama *stochastic sampling with replacement*. Diandaikan semua kromosom diletakkan pada sebuah roda roulette, besarnya kemungkinan bagi setiap kromosom adalah tergantung dari nilai *fitness*nya[10].

c. *Stochastic Universal Sampling*

Pada metode ini, individu – individu dipetakan dalam suatu segmen garis secara berurutan sedemikian hingga tiap-tiap segmen individu memiliki ukuran yang sama dengan ukuran *fitness*nya seperti halnya pada seleksi roda *roulette* seperti pada Gambar 2.2. Kemudian diberikan sejumlah pointer sebanyak individu yang ingin diseleksi pada garis tersebut[11]. Pada seleksi ini diperlukan perhitungan total *fitness*, peluang *fitness* tiap individu, dan peluang kumulatif tiap individu.



Gambar 2. Seleksi *Stochastic Universal Sampling*

Langkah-langkah untuk mencari total *fitness*, peluang *fitness* tiap individu, dan peluang kumulatif tiap individu adalah sebagai berikut[12] :

i. Mencari total *fitness* dari seluruh individu

$$\text{Total fitness} = \sum \frac{1}{f(x)}$$

ii. Mencari peluang *fitness* tiap individu (p_i)

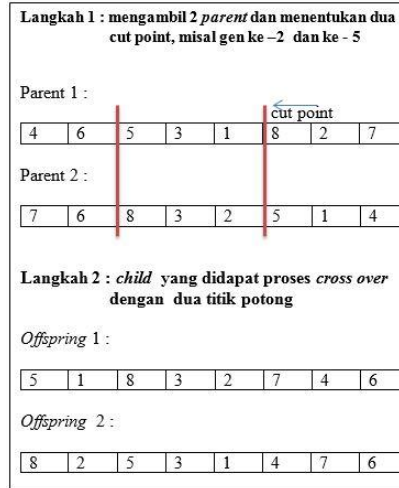
$$p_i = \frac{1}{\text{Total fitness}}$$

iii. Mencari peluang kumulatif tiap individu (q_i)

$$q_i = \sum_{i=1}^N p_i$$

5. Proses reproduksi dengan *crossover* dan mutasi

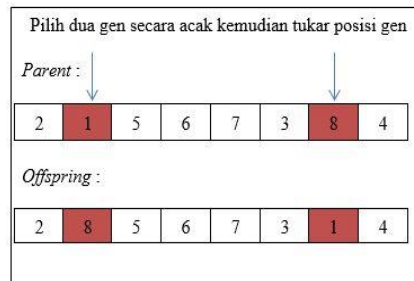
Crossover adalah mekanisme yang dimiliki algoritma genetika dengan menggabungkan dua kromosom sehingga menghasilkan anak kromosom yang mewarisi ciri-ciri dasar dari parent *crossover* bekerja membangkitkan *offspring* baru dengan mengganti sebagian informasi dari parents[7]. *Offspring* yang dihasilkan dari dua titik potong dijelaskan pada Gambar 3.



Gambar 3. *Crossover* pada representasi permutasi

6. Mutasi

Metode mutasi yang biasa digunakan dalam representasi permutasi adalah *reciprocal exchange mutation* dan *insertion mutation*. Metode mutasi dengan *insertion mutation* bekerja dengan memilih dua posisi (*exchange point /XP*) secara random kemudian memotong posisi yang pertama kemudian menyisipkannya setelah posisi yang kedua. Metode *insertion exchange mutation* dijelaskan pada Gambar 4.



Gambar 4. Proses mutasi dengan *insertion mutation*

7. Evaluasi

Pada tahap evaluasi, ukuran populasi akan dipertahankan agar sama dengan ukuran populasi awal. Secara umum terdapat dua tipe penggantian generasi. Tipe pertama, generasi berikutnya adalah semua individu baru atau anak semua (hasil dari proses *crossover* dan mutasi). Tipe kedua, generasi berikutnya adalah individu baru ditambah individu sebelumnya dengan nilai *fitness* yang terbesar. Individu lama akan digantikan dengan individu baru yang memiliki nilai *fitness* lebih baik

3. METODE PENELITIAN

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengumpulkan data distribusi yang meliputi lokasi tujuan distribusi, jarak dari satu lokasi ke lokasi yang lain, waktu yang dibutuhkan dari satu lokasi ke lokasi lain, kapasitas angkut kendaraan, jumlah kendaraan, *time window* tiap lokasi dan data permintaan dari setiap lokasi distribusi.
2. Mengidentifikasi masalah sehingga dapat digunakan algoritma genetika dalam optimasi distribusi dengan menggunakan kendala *time window*.
3. Analisa dan perancangan perangkat lunak pada setiap langkah dengan metode algoritma genetika untuk optimasi VRP dengan kendala *time window* pada distribusi kue.

4. Mengimplementasikan hasil analisis dan perancangan yang telah dilakukan dalam bentuk perangkat lunak menggunakan MATLAB.
5. Mengevaluasi hasil dari sistem yang sudah dibangun dengan bantuan perangkat lunak.
6. Setelah didapatkan solusi yang terbaik, dilakukan penarikan kesimpulan dari hasil pembahasan sebelumnya.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah 26 toko kue dengan waktu buka dan tutup toko (*time windows*). Data jarak antar toko kue dan waktu yang dibutuhkan dalam proses pengiriman barang antar toko kue yang diambil dari *google maps*. Pada penelitian jumlah kendaraan yang dipakai dalam proses distribusi sebanyak 4 motor dengan kapasitas angkut setiap motor adalah 14 box kue sesuai dengan kondisi perusahaan, waktu mulai pendistribusian adalah pukul 06.00 WIB.

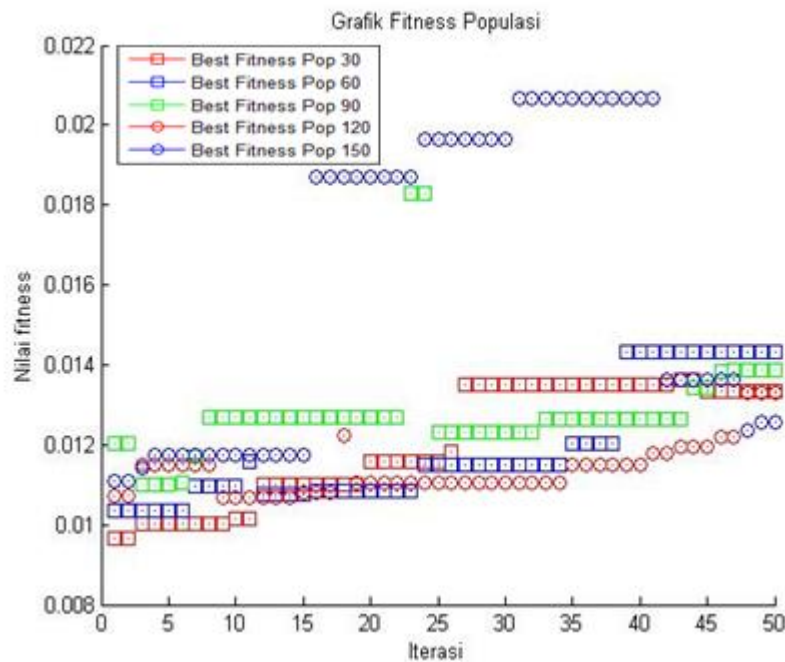
4.2. Pengolahan Data

Pada tahap pengolahan data, data yang diperoleh akan diolah sesuai dengan metode yang digunakan, adapun tahapan pengolahan data adalah sebagai berikut:

1. Menentukan jarak dan waktu perjalanan dari tempat produksi kue ke toko kue dan dari toko kue satu ke toko kue lainnya untuk memudahkan dalam pengolahan data jarak dan waktu antar Distributor dan kue disusun dalam bentuk matriks.
2. Membentuk populasi awal kemudian melakukan seleksi individu, selanjutnya reproduksi dengan melakukan *crossover* dan mutasi sehingga dihasilkan populasi yang baru setelah itu dihitung nilai fitness dari masing-masing individu dan yang terakhir dilakukan evaluasi (penggantian populasi).
3. Membuat implementasi program algoritma genetika.
4. Kemudian melakukan input parameter terhadap program algoritma genetika yang telah dibuat dengan menggunakan nilai parameter-parameter algoritma genetika yang paling baik agar mendapatkan hasil yang terbaik.

4.3. Analisa Uji Coba Ukuran Populasi

Uji coba populasi ini menggunakan ukuran populasi kelipatan 30, mulai dari 30 sampai 150. Pada percobaan ini banyaknya generasi sebesar 50. Kombinasi nilai P_c dan P_m adalah 0,4 dan 0,5. Didapatkan hasil uji coba seperti pada Gambar 5.

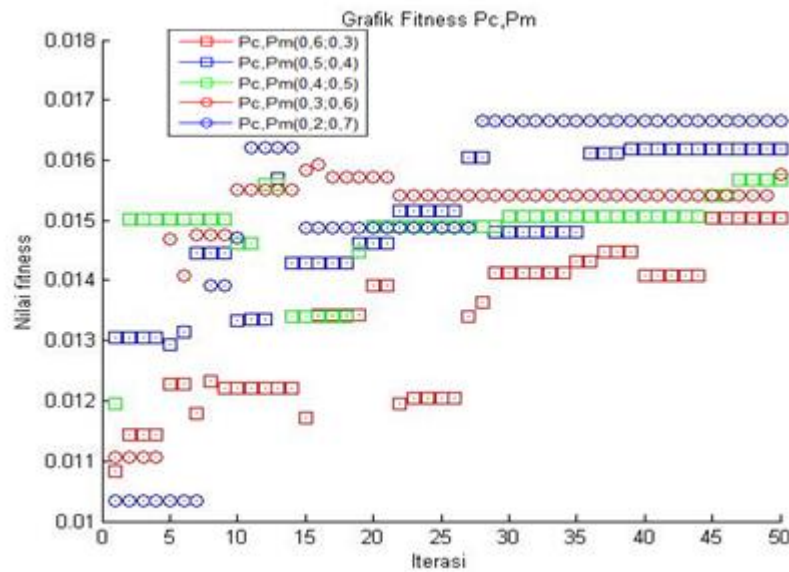


Gambar 5. Grafik Uji Coba Populasi

Pada Gambar 5. rata-rata nilai *fitness* terbesar terjadi pada ukuran populasi 150. Pada ukuran populasi 150 merupakan ukuran populasi yang paling optimal untuk permasalahan VRPTW pada distribusi kue ini. Semakin tinggi ukuran populasi dapat mempengaruhi nilai *fitness* yang dihasilkan, tetapi waktu yang dibutuhkan untuk proses algoritma genetika juga semakin besar apabila semakin banyak ukuran populasinya.

4.4. Analisa Uji Coba Kombinasi Probabilitas Crossover dan Probabilitas Mutasi

Uji coba populasi ini menggunakan kombinasi P_c dan P_m mulai 0,6 : 0,3 sampai 0,2 : 0,7. Pada percobaan ini banyaknya generasi sebesar 50. Ukuran populasi sebesar 150. Didapatkan hasil uji coba seperti pada Gambar 6. Pada Gambar 6. rata-rata nilai *fitness* terbesar terjadi pada kombinasi P_c dan P_m sebesar 0,2 dan 0,7. Semakin besar nilai P_c dan P_m maka kemungkinan individu mengalami proses *crossover* dan mutasi besar dan akan banyak juga individu baru yang dihasilkan. Dengan banyaknya individu baru yang dihasilkan maka nilai *fitness* yang dihasilkan juga bermacam-macam. Sehingga kemungkinan untuk mendapatkan nilai *fitness* yang lebih besar juga akan semakin besar.



Gambar 6. Grafik Uji Coba Kombinasi Probabilitas Crossover dan Probabilitas Mutasi

4.5. Rute Optimal

Rute optimal yang didapatkan adalah rute yang memiliki jarak terpendek, tidak terkena penalti kapasitas yang artinya barang yang diangkut tidak melebihi kapasitas masing-masing kendaraan dan tidak terkena penalti *time windows* yang berarti kendaraan dalam melakukan perjalanan pendistribusian kue sesuai dengan *time windows* yang dimiliki oleh masing-masing pelanggan.

Dengan menggunakan parameter populasi sebesar 150, parameter kombinasi antara probabilitas *crossover* dan probabilitas mutasi masing-masing sebesar 0,2 dan 0,7 dengan nilai *fitness* sebesar 0,0160 didapatkan rute optimal yaitu dari lokasi titik awal kembali ke titik awal dan jarak tempuh dari total perjalanan oleh 4 kendaraan yaitu 62,31 km dalam waktu 175 menit. Rincian rute perjalanan 4 kendaraan diperlihatkan pada Tabel 2, 3, 4 dan 5. Rute perjalanan kendaraan 1. dari Distributor (D) menuju Toko kue 9, 3, 5, 6, 10, 4, 12 dan kembali ke Distributor, total jarak yang dilalui 17,16 km dalam waktu 47 Menit, demikian juga untuk kendaraan 2, 3 dan 4.

Tabel 2. Rute Perjalanan Kendaraan 1

Toko	D	9	3	5	6	10	4	12	D	Jumlah
Jarak (km)	-	3,5	0,5	3,4	1,2	0,26	2,9	3,9	1,5	17,16
Waktu (menit)	-	9	2	8	4	1	8	10	5	47
Permintaan (box)	-	1	3	2	1	1	2	2		12

Tabel 3. Rute Perjalanan Kendaraan 2

Toko	D	1	18	24	11	20	23	13	D	Jumlah
Jarak (km)	-	4,8	2,0	4,4	2,9	1,1	1,9	2,1	1,5	20,7
Waktu (menit)	-	12	3	11	8	6	5	8	4	57
Permintaan (box)	-	1	1	2	2	1	1	2		10

Tabel 4. Rute Perjalanan Kendaraan 3

Toko	D	26	7	14	25	21	19	D	Jumlah
Jarak (km)	-	1,5	2,1	0,5	2,4	1,5	3,3	4,6	15,9
Waktu (menit)	-	4	6	2	7	7	9	12	47
Permintaan (box)	-	3	2	2	2	2	2		13

Tabel 5. Rute Perjalanan Kendaraan 4

Toko	D	2	8	22	17	16	15	D	Jumlah
Jarak (km)	-	1,1	1,9	0,75	2,3	0,5	0,4	1,6	8.55
Waktu (menit)	-	3	6	3	9	1	1	1	24
Permintaan (box)	-	1	1	2	2	2	1		9

5. KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan dapat disimpulkan bahwa:

1. Pengaruh parameter genetika untuk ukuran populasi dan kombinasi p_c dan p_m mempengaruhi hasil optimal penelitian ini. Pada Penelitian ini semakin besar ukuran populasi akan mempengaruhi nilai *fitness* yang dihasilkan akan semakin banyak. Dan untuk kombinasi p_c dan p_m pada penelitian ini semakin tinggi nilai p_c dan p_m maka individu semakin bervariasi yang menyebabkan nilai *fitness* juga akan semakin bervariasi akibat proses persilangan yang terjadi.
2. Dalam penelitian ini, parameter terbaik untuk ukuran populasi adalah 150 populasi dan untuk kombinasi p_c dan p_m adalah p_c sebesar 0,2 dan p_m sebesar 0,7.
3. Hasil perhitungan didapat rute dengan nilai *fitness* sebesar 0,0160, jarak tempuh dari total perjalanan oleh 4 kendaraan yaitu 62,31 km dan biaya yang harus dikeluarkan sebesar Rp. 25.573/hari.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Manajer home industri kue “Matoh Tenan” Sidoarjo yang telah membantu dalam penyediaan data sehingga penelitian ini terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Chopra, S., Meindl, Peter. 2010. *Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operation*. New Jersey: Pearson Education.
- [2] Prana A, Raden. 2007. *Aplikasi Kombinatorial pada Vehicle Routing Problem*. Bandung: Jurusan Teknik Informatika Institut Teknologi Bandung.
- [3] Kusumadewi, S. 2003. *Artificial Intelligence (Teknik dan Aplikasinya)*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [4] Gen, M. and Cheng, R., 2000. *Genetic Algorithms and Engineering Optimization*. New York: John Wiley and Sons Inc.
- [5] Kallehauge, B., Larsen, J. and Madsen, O. 2006. *Lagrangian Duality Applied to The Vehicle Routing Problem with Time Windows*. Computers & Operations Research.
- [6] Nugraha, I. 2008. *Algoritma Genetik untuk Optimasi Penjadwalan Kegiatan Belajar mengajar*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- [7] Mahmudy, F. W. 2013. *Algoritma Evolusi*. Malang: Program Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer Universitas Brawijaya.
- [8] Mahmudy, W.F., Marian, R.M., dan Luong, L.H.S., 2014. *Hybrid Genetic Algorithms for Part Type Selection and Machine Loading Problems with Alternative Production Plans in Flexible Manufacturing System*. ECTI Transactions on Computer and Information Technology (ECTI-CIT).
- [9] Setiawan, K. 2003. *Paradigma Sistem Cerdas*. Surabaya: Banyumedia.
- [10] Wati, A. W. 2011. *Penerapan Algoritma Genetika Dalam Optimasi Model Dan Simulasi Dari Suatu Sistem*. Jurnal Keilmuan Teknik Industri.
- [11] Kusumadewi, S., Purnomo, H. 2005. *Penyelesaian Masalah Optimasi dengan Teknik-Teknik Heuristik*. Yogyakarta. Graha Ilmu.
- [12] Sarwadi, Anjar KSW. 2004. *Algoritma Genetika untuk Penyelesaian Masalah Vehicle Routing*. Jurnal Matematika dan Komputer Universitas Diponegoro.