

**PERANCANGAN *BIASED RANDOM KEY GENETIC ALGORITHM* DENGAN
MULTIPLE POPULATIONS UNTUK MENYELESAIKAN *CAPACITATED*
*VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH TIME WINDOWS***



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I pada Jurusan Teknik
Industri Fakultas Teknik**

Oleh:

ANANDISTYA LISA PUTRI

D 600 120 067

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2016**

HALAMAN PERSETUJUAN

**PERANCANGAN *BIASED RANDOM KEY GENETIC ALGORITHM* DENGAN
MULTIPLE POPULATIONS UNTUK MENYELESAIKAN *CAPACITATED
VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH TIME WINDOWS***

PUBLIKASI ILMIAH

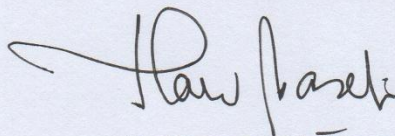
oleh:

ANANDISTYA LISA PUTRI

D 600 120 067

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing



Hari Prasetyo, ST, MT, Ph.D.

NIK.886

HALAMAN PENGESAHAN

PERANCANGAN *BIASED RANDOM KEY GENETIC ALGORITHM* DENGAN
MULTIPLE POPULATIONS UNTUK MENYELESAIKAN *CAPACITATED
VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH TIME WINDOWS*

OLEH

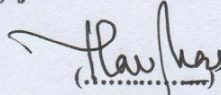
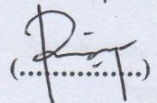
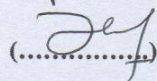
ANANDISTYA LISA PUTRI

D 600 120 067

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik Jurusan Teknik Industri
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Sabtu 13.-08.-2016
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji:

1. Hari Prasetyo, ST, MT, Ph.D
(Ketua Dewan Penguji)
2. Ratnanto Fitriadi, ST, MT
(Anggota I Dewan Penguji)
3. Hafidh Munawir, ST, M.Eng
(Anggota II Dewan Penguji)


(.....)

(.....)

(.....)

Dekan,



Dr. Sri Sunarjono, MT, Ph.D

NIK. 628

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 13 Agustus 2016

Penulis



ANANDISTYA LISA PUTRI

D 600 120 067

PERANCANGAN *BIASED RANDOM KEY GENETIC ALGORITHM* DENGAN *MULTIPLE POPULATIONS* UNTUK MENYELESAIKAN *CAPACITATED VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH TIME WINDOWS*

Abstrak

Penelitian ini membahas mengenai variasi permasalahan *Vehicle Routing Problem* (VRP) dengan penambahan kendala berupa kapasitas alat angkut dan waktu atau *Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows* (CVRPTW). Pendistribusian *soft drink* dari depot ke beberapa pelanggan/*outlet* merupakan permasalahan CVRPTW dimana setiap kendaraan yang digunakan untuk memenuhi permintaan dari setiap pelanggan tidak boleh melebihi dari kapasitas kendaraan yang digunakan serta proses pendistribusian dibatasi oleh waktu pelayanan dan pendistribusian yang berlaku di perusahaan. Tujuan yang ingin dicapai dari pendistribusian ini adalah bagaimana menentukan rute optimal pendistribusian *soft drink* sehingga total biaya transportasinya minimal. Permasalahan CVRPTW termasuk *Non Polynomial Hard (NP-Hard) Problem* maka diperlukan algoritma penyelesaian yang optimal dengan waktu komputasi yang lebih cepat. Pada penelitian ini *Biased Random Key Genetic Algorithm* (BRKGA) dengan *multiple populations* dirancang dan dikodekan dengan MATLAB untuk memecahkan permasalahan CVRPTW pada kasus pendistribusian *soft drink*. Hasil unjuk kerja dari algoritma kemudian dibandingkan dengan metode heuristik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan serupa. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa algoritma BRKGA dengan *multiple populations* dapat menghasilkan total biaya transportasi yang lebih rendah dibandingkan dengan metode heuristik. Selain itu, penggunaan *multiple populations* mampu meningkatkan unjuk kerja algoritma BRKGA standar.

Kata Kunci: BRKGA, CVRPTW, *genetic algorithms*, *multiple populations*, *vehicle routing problem*

Abstract

This research deals with a variation of Vehicle Routing Problem (VRP) by accommodating capacity and time constraints, also known as Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows (CVRPTW). Soft drink distribution from depot to a number of outlets is an example of CTWVRP where every vehicle used to meet all demand from outlets must not exceed the capacity of the truck while the distribution process activity is restricted by the service hours at the distribution company. The main problem of this research is therefore how to determine the route of the truck such that the total transportation cost is minimized without violating the constraints. The CVRPTW is a Non Polynomial Hard (NP-Hard) Problem, therefore an efficient algorithm is needed to solve this problem effectively in a reasonable computation time. This research proposes a Biased Random Key Genetic Algorithm (BRKGA) with multiple populations which is coded in MATLAB for addressing the soft drink distribution. The performance of the proposed algorithm is then compared to a heuristic procedure that is previously used for dealing with the same problem. The result shows that the BRKGA with multiple population yields a lower total transportation cost compared to that of resulted from the heuristic. In addition, the use of multiple populations could further improve the performance of the basic BRKGA.

Key words: BRKGA, CVRPTW, genetic algorithms, multiple populations, vehicle routing problem

1. PENDAHULUAN

Permasalahan pendistribusian produk ke pelanggan termasuk dalam permasalahan VRP. VRP merupakan permasalahan penentuan rute optimal kendaraan dalam pendistribusian barang atau jasa ke pelanggan guna memenuhi permintaan yang telah diketahui, dari satu titik pusat pendistribusian atau lebih yang memenuhi beberapa kendala (Bräysy & Gendreau 2001; Toth & Vigo 2002; Perwitasari 2012). Permasalahan VRP merupakan permasalahan yang penting karena banyak aplikasi VRP yang dapat ditemukan dalam kehidupan sehari-hari (Hendrawan, 2007). Permasalahan VRP juga banyak terjadi dalam bidang industri, antara lain: permasalahan penentuan rute pendistribusian bahan bakar, pendistribusian surat dari kantor pos ke kotak pos, pengangkutan sampah di perumahan oleh truk sampah, pendistribusian surat kabar kepada pelanggan, penentuan rute bus sekolah maupun bus kota, permasalahan pengambilan barang dari pemasok dan lain-lain (Cahyaningsih, 2015; Shahab & Irawan, 2016).

Perkembangan permasalahan dalam pendistribusian membuat munculnya banyak variasi dari VRP. Pada penelitian Slamet *et al.* (2014), dilakukan penelitian mengenai variasi VRP berupa *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) untuk menyelesaikan permasalahan pada pendistribusian sayuran dataran tinggi di Bogor. Metode yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan CVRP menggunakan metode *genetic algorithm* (GA). Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa adanya pengurangan waktu distribusi dan pengurangan jumlah armada. Permasalahan CVRP juga terjadi pada CV. Adi Chandra Sumenep dalam pengiriman pupuk urea bersubsidi yang bertujuan untuk meminimalkan total jarak (Awansari & Abusini, 2013). Permasalahan CVRP tersebut mempertimbangkan kapasitas kendaraan, jarak antar pengecer resmi dan permintaan setiap pengecer. Pada penelitian tersebut, penyelesaian permasalahan CVRP menggunakan metode *Branch and Bound* dengan bantuan *software* LINGO versi 11.0.

Putri *et al.* (2014) telah melakukan penelitian mengenai variasi lain dari VRP dengan penambahan kendala berupa waktu yang disebut *Vehicle Routing Problem with Time Windows* (VRPTW). Permasalahan VRPTW tersebut terjadi dalam penyaluran beras bersubsidi untuk masyarakat yang berpendapatan rendah (raskin) menggunakan metode GA. Permasalahan VRPTW ini tergolong mudah untuk diselesaikan dengan menggunakan metode GA karena hanya terdapat 20 pelanggan yang harus dipenuhi permintaan raskinnya. Akan tetapi, permasalahan VRPTW maupun variasi lain dengan lingkup yang lebih luas akan sulit untuk diselesaikan dengan metode GA.

Permasalahan CVRP dengan penambahan kendala waktu yang disebut *Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows* (CVRPTW) telah diteliti oleh Widyaningrum (2011). Permasalahan tersebut terjadi pada pengiriman barang dari perusahaan ke beberapa retailer. Pengiriman barang ke beberapa retailer tersebut tidak boleh melebihi dari kapasitas kendaraan yang digunakan serta terbatas waktu di setiap retailer yang dituju. Metode yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan CVRPTW ini adalah penggabungan metode *Differential Evolution* (DE) dan GA. Permasalahan pada kasus tersebut sedikit berbeda dengan permasalahan yang diteliti pada penelitian ini karena menggunakan batasan waktu pada outlet tujuannya. Selain itu, menggunakan penggabungan dua metode dirasa akan membutuhkan waktu yang relatif lebih lama untuk menyelesaikan permasalahan CVRPTW.

VRP merupakan permasalahan yang tergolong *Non Polynomial Hard (NP-Hard) Problem* dimana semakin meningkatnya ruang lingkup masalah maka memerlukan komputasi yang semakin banyak dan sulit, sehingga memerlukan metode yang dapat menghasilkan solusi penyelesaian yang optimal dengan waktu komputasi yang lebih cepat (Prana, 2010; Lydia & Suyanto, 2011; Grasa *et al.*, 2014). Metode analitik tidak dapat menyelesaikan permasalahan VRP, sedangkan metode eksak diketahui dapat menyelesaikan permasalahan VRP dalam lingkup yang sederhana. Metode eksak ini melakukan perhitungan setiap solusi yang mungkin untuk mendapatkan solusi yang optimal, namun membutuhkan waktu yang relatif lama sehingga sekarang ini sudah jarang penelitian untuk menyelesaikan permasalahan VRP menggunakan metode eksak. *Branch and Bound* dan *Branch and Cut* merupakan contoh dari metode eksak. Metode lain yang sering digunakan untuk menyelesaikan permasalahan VRP adalah metode heuristik seperti *Saving Based* dan *Matching Based*. Metode heuristik ini dapat menyelesaikan permasalahan dalam waktu yang lebih cepat daripada menggunakan metode eksak meskipun hasil yang didapat kurang mendekati optimal. Oleh karena itu, sekarang ini banyak penelitian yang menggunakan metode metaheuristik untuk menyelesaikan permasalahan VRP karena metode ini dapat menghasilkan solusi yang mendekati optimal dengan waktu penyelesaian yang lebih cepat.

Penelitian mengenai metode metaheuristik untuk menyelesaikan permasalahan VRP telah diteliti sebelumnya oleh Gunawan, Maryati, & Wibowo (2012). Metode metaheuristik merupakan metode yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dengan hasil yang lebih baik dalam waktu penyelesaian yang singkat (Shahab & Irawan, 2016). Penelitian tersebut membahas mengenai penentuan rute pendistribusian barang ke beberapa pelanggan dengan menggunakan metode *Ant Colony Optimization* (ACO). Soenandi, Marpaung, & Ginting (2014) juga telah melakukan penelitian untuk menyelesaikan permasalahan VRP berupa pendistribusian bahan baku

makanan dengan menggunakan perbandingan metode GA, *Particle Swarm Optimization* (PSO), ACO dan *Cross Entropy* (CE). Akan tetapi, pada penelitian ini akan menggunakan metode metaheuristik lain yaitu BRKGA dengan modifikasi *multiple populations* untuk menyelesaikan permasalahan CVRPTW berupa pendistribusian *soft drink* yang telah diselesaikan sebelumnya oleh Sembiring (2008) menggunakan metode heuristik.

2. METODE

2.1 Permasalahan, Notasi dan Asumsi

Permasalahan CVRPTW pada pendistribusian *soft drink* bertujuan untuk menemukan rute pendistribusian *soft drink* dari depot ke beberapa pelanggan yang tersebar secara geografis guna memenuhi permintaan dari setiap pelanggan, sehingga dapat meminimalkan total biaya transportasi. CVRPTW pada pendistribusian *soft drink* ini merupakan variasi dari permasalahan VRP dengan adanya penambahan kendala berupa kapasitas kendaraan dan kendala waktu. Setiap kendaraan yang membawa permintaan untuk setiap pelanggan tidak boleh melebihi kapasitas kendaraan yang digunakannya. Rute pendistribusian *soft drink* termasuk ke dalam jenis VRP dengan rute tertutup karena setiap kendaraan yang digunakan untuk mendistribusikan *soft drink* harus berangkat dan kembali ke depot dengan batasan waktu yang telah ditentukan perusahaan. Permasalahan CVRPTW pada penelitian ini memiliki 45 *outlet* tujuan yang tersebar secara geografis dengan satu depot.

Input data yang diperlukan untuk menyelesaikan permasalahan CVRPTW ini antara lain: data permintaan mingguan *soft drink* dari setiap *outlet* tujuan/pelanggan (dalam satuan krat), lokasi dari semua *outlet* tujuan dan depot, jarak dan waktu perjalanan antar *outlet* tujuan serta antar *outlet* dan depot dimana waktu perjalanan diperoleh dari hasil pembagian antara jarak dan kecepatan rata-rata kendaraan (35 km/jam), biaya perjalanan antar *outlet* tujuan serta antar *outlet* dan depot yang diperoleh dari konversi jarak dibagi kebutuhan bahan bakar dimana setiap 9 km perjalanan membutuhkan 1 liter bahan bakar kemudian dikalikan harga 1 liter bahan bakar (Rp 4.300,00), kapasitas kendaraan yang digunakan untuk mendistribusikan permintaan (130 krat), kapasitas waktu untuk kendaraan berangkat dan kembali ke depot (480 menit/8 jam) dalam satu hari, waktu *set up* kendaraan (15 menit) dan waktu pelayanan setiap *outlet* tujuan (19 menit), waktu *loading* setiap *outlet* yang diperoleh dari permintaan/8 krat dimana kemampuan petugas untuk melakukan proses *loading* adalah 8 krat setiap menit, waktu *unloading* setiap *outlet* yang diperoleh dari permintaan/7 krat dimana kemampuan petugas untuk melakukan proses *unloading* adalah 7 krat setiap menit. Beberapa asumsi yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: data permintaan mingguan setiap *outlet* tujuan diketahui di awal dan dianggap konstan dengan satuan krat, kendaraan yang digunakan untuk mendistribusikan *soft drink* berupa kendaraan tunggal, kendaraan tepat melayani satu kali

setiap *outlet* tujuan, waktu *set up* kendaraan di depot 15 menit dan dianggap konstan untuk setiap harinya, waktu pelayanan pada setiap *outlet* tujuan 19 menit, *allowance* waktu pendistribusian setiap pengiriman sebesar 20%. Berdasarkan karakteristik permasalahan CVRPTW ini maka notasi yang dapat digunakan antara lain:

- N : Jumlah titik/*outlet*
 i : Indeks yang menunjukkan titik asal
 j : Indeks yang menunjukkan titik tujuan
 S : Jumlah minimal sub rute yang terbentuk
 r_l : Urutan sub rute ke- l ; $l=1,2,3,\dots,S$
 n_l : Jumlah *outlet* dalam sub rute ke- l , $l=1,2,3,\dots,S$
 c_{ij} : Biaya/ongkos untuk melewati rute ij
 x_{ij} : Indeks apakah kendaraan melewati rute ij , dimana nilai akan 1 jika i menuju titik j dilewati kendaraan dan 0 jika kendaraan tidak melewati titik ij
 d_i : Jumlah permintaan setiap *outlet* tujuan pada titik i
 W : Kapasitas kendaraan yang digunakan
 q_i : Waktu pelayanan dan waktu *loading/unloading*
 t_{ij} : Waktu perjalanan dari *outlet* i ke titik j
 p : Waktu *set up* kendaraan di depot
 y_{ij} : Indeks apakah kendaraan berangkat dari n_l+1 (depot)
 a : *Allowance* waktu distribusi
 T : Kapasitas waktu distribusi

Fungsi tujuan dalam permasalahan CVRPTW pada penelitian ini yaitu untuk meminimalkan total biaya transportasi yang dapat dirumuskan seperti pada persamaan (1)

$$\min z = \sum_{i=1}^{N+1} \sum_{j \neq i}^{N+1} c_{ij} x_{ij} \quad (1) \text{ dengan kendala}$$

$$S \geq \left\lceil \sum_i^N d_i / W \right\rceil \quad (2)$$

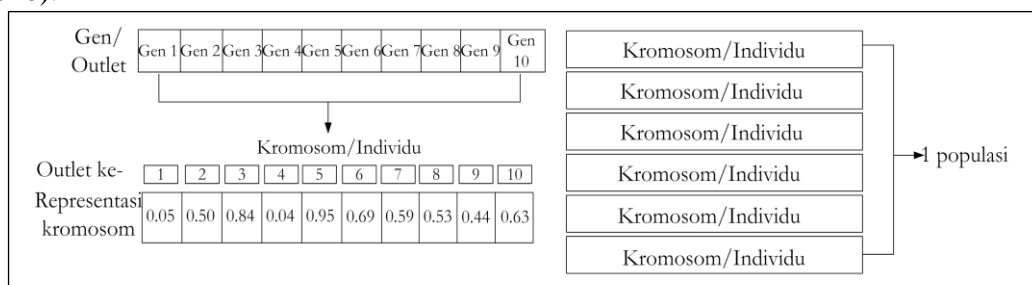
$$\sum_{i=1}^{n_l+1} \sum_{j \neq i}^{n_l+1} d_i x_{ij} \leq W; \forall r_l; l = 1,2,3, \dots, S \quad (3)$$

$$\left(\sum_{i=1}^{n_l+1} \sum_{j \neq i}^{n_l+1} (q_i + t_{ij}) x_{ij} + p x_{ij} y_{ij} \right) (1 + a) \leq T; \forall r_l; l = 1,2,3, \dots, S \quad (4)$$

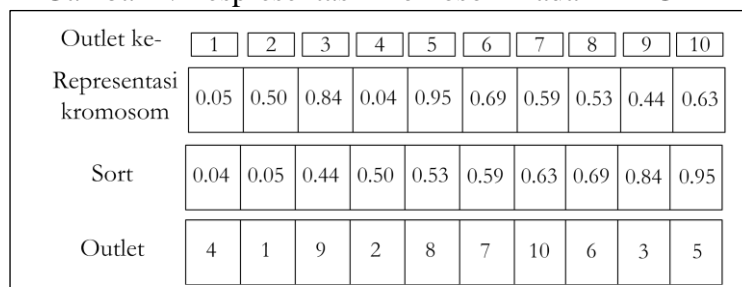
Persamaan (2) menjelaskan mengenai kendala berupa jumlah sub rute yang dihasilkan untuk mendistribusikan permintaan ke pelanggan harus lebih dari jumlah permintaan dibagi kapasitas kendaraan. Persamaan (3) menjelaskan mengenai kendala berupa kapasitas kendaraan yang digunakan. Kendaraan tidak boleh membawa permintaan dengan kapasitas yang melebihi kapasitas kendaraannya. Persamaan (4) menjelaskan kendala berupa kapasitas waktu yang digunakan dalam penelitian ini. Kendaraan yang digunakan untuk mendistribusikan permintaan dari pelanggan harus kembali ke depot sebelum waktu yang telah ditentukan.

2.2 Pendekatan Solusi

Pada penelitian ini akan dibahas mengenai penyelesaian optimisasi dengan menggunakan metode BRKGA. Pemilihan metode atau algoritma yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan optimisasi jenis ini harus mempertimbangkan biaya yang dihasilkan dan waktu untuk menyelesaikannya. Oleh karena itu, metode yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan CVRPTW pada pendistribusian *soft drink* adalah metode metaheuristik berupa BRKGA dengan *multiple populations* seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. BRKGA merupakan variasi dari GA yang digunakan untuk memecahkan permasalahan optimisasi sejak tahun 2000 (Prasetyo *et al.*, 2015). BRKGA juga merupakan variasi dari *Random Key Genetic Algorithm* (RKGA) seperti yang dikemukakan oleh Bean (1994). Representasi kromosom pada RKGA dan BRKGA dinyatakan dalam bilangan *real* yang dihasilkan secara acak dalam interval 0 sampai dengan 1 (Gonçalves & Resende, 2013). Akan tetapi, pemilihan kedua orang tua pada RKGA akan dilakukan secara acak dari populasi yang ada, sedangkan pemilihan orang tua dalam BRKGA dilakukan dengan menggabungkan unsur acak dari partisi elit dan yang lainnya berasal dari acak partisi non-elit (Festa *et al.*, 2010).



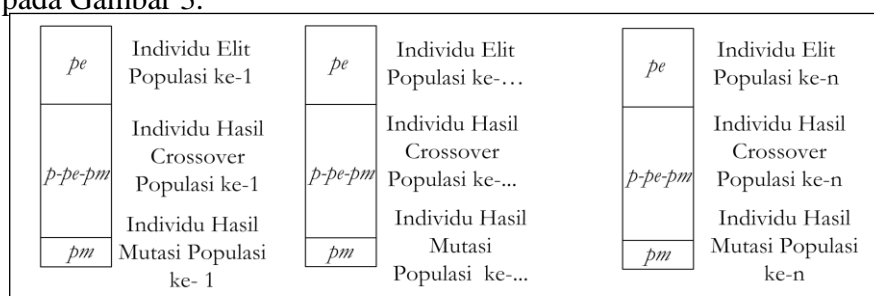
Gambar 1. Respresentasi Kromosom Pada BRKGA



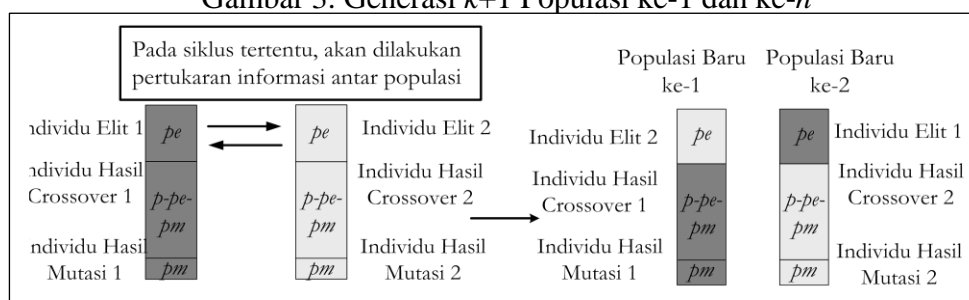
Gambar 2. Contoh Proses *Decoding* Kromosom

BRKGA merupakan metode yang memiliki kerangka kerja untuk memecahkan permasalahan optimisasi kombinatorial yang bersifat umum sehingga dapat diterapkan pada berbagai bidang (Gonçalves & Resende, 2011). Pada BRKGA, populasi awal disebut sebagai p yang didapatkan dari acak bilangan *real* antara 0 dan 1. Kemudian, populasi yang tersusun dari bilangan acak tersebut dalam beberapa iterasi dinamakan sebagai generasi (Gonçalves *et al.*, 2014). Gambar 1 menjelaskan mengenai pembentukan populasi awal yang terdiri dari beberapa individu/kromosom, sedangkan kromosom terdiri dari beberapa gen. Gen merupakan banyaknya *outlet* tujuan yang telah diterjemahkan menjadi acak bilangan *real* antara 0 dan 1 yang disebut sebagai proses *encoding*. Selanjutnya, setelah dilakukannya representasi kromosom akan dilakukan proses *decoding*/penerjemahan bilangan acak menjadi *outlet* tujuan dengan cara pengurutan gen seperti yang terlihat pada Gambar 2.

Pada penelitian ini akan menggunakan metode BRKGA dengan *multiple populations* yang berarti menggunakan strategi dengan cara menjalankan secara bersama-sama dua atau lebih populasi dalam sebuah generasi kemudian akan dilakukan pertukaran informasi antar populasi tersebut (Prasetyo *et al.*, 2015). Pada BRKGA dengan *multiple populations* ini, populasi awal yang terbentuk tidak hanya terdiri dari satu populasi sehingga dapat dinamakan sebagai populasi awal ke-1 (p_1), populasi awal ke-2 (p_2) dan populasi awal ke- n (p_n). Proses pembentukan populasi baru dalam generasi $k+1$ yang didapatkan dari hasil salin individu elit (pe), hasil *crossover* ($p - pe - pm$) dan mutasi acak (pm) tidak hanya dialami oleh populasi ke-1 tetapi juga dialami oleh populasi ke- n seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Generasi $k+1$ Populasi ke-1 dan ke- n

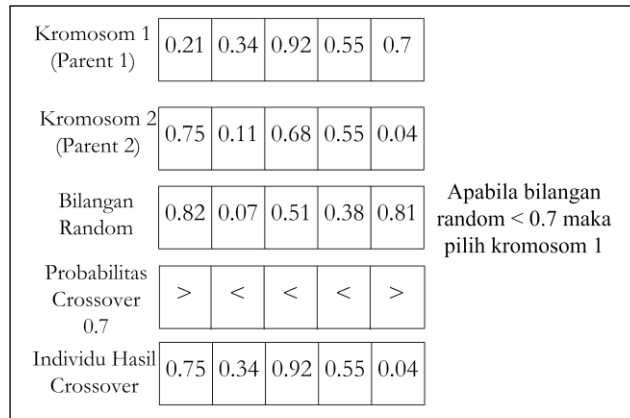


Gambar 4. Pertukaran Dua Kromosom Elit Pada Kedua Populasi

Pada BRKGA dengan *multiple populations*, harus ditentukan terlebih dahulu iterasi berapa akan dilakukan pertukaran informasi antar populasi. Pertukaran informasi yang dilakukan terlalu

sering dapat mengakibatkan proses evolusi yang berlangsung secara alami akan terganggu (Gonçalves & Resende, 2011a). Gambar 4 menjelaskan mengenai pertukaran dua kromosom elit pada populasi ke-1 dan populasi ke-2 sehingga populasi baru ke-1 terdiri dari individu elit ke-2, hasil *crossover* ke-1 dan hasil mutasi ke-1 sedangkan populasi baru ke-2 terdiri dari individu elit ke-1, hasil *crossover* ke-2 dan hasil mutasi ke-2.

Pada persilangan dua kromosom atau yang disebut proses *crosssover*, individu elit memiliki probabilitas ($1/p_e$) yang lebih besar dibandingkan dengan probabilitas dari individu non-elit ($1/(p - p_e)$). Gambar 5 menjelaskan mengenai persilangan kedua orang tua atau disebut sebagai *crossover*. Menurut Spears & De Jong (1995), persilangan ini disebut *uniform crossover parameter* yang berarti bahwa setiap gen yang dipilih dari salah satu orang tua elit dengan probabilitas tertentu didefinisikan oleh pengguna ($p_e > 0,5$). Proses tersebut merupakan persilangan kromosom yang terdiri dari 5 gen. Kromosom pertama merupakan individu elit sedangkan kromosom yang kedua disebut sebagai individu non-elit. Nilai p_e untuk individu elit sebesar 0,7 yang berarti bahwa keturunannya akan mewarisi gen orang tua elit sebesar 0,7, sedangkan untuk orang tua sisanya memiliki nilai $1 - p_e$ yaitu 0,3. Apabila *random number* memiliki nilai kurang dari atau sama dengan 0,7 maka anak hasil persilangan tersebut akan mewarisi gen dari orang tua elitnya (Gonçalves *et al.*, 2014). Proses ini juga dialami oleh populasi ke-2 maupun populasi ke- n pada BRKGA dengan *multiple populations*.



Gambar 5. *Uniform Crossover* dalam BRKGA

TABEL 1. REKOMENDASI *SETTING* PARAMETER (GONÇALVES & RESENDE, 2011)

Parameter	<i>Description</i>	<i>Recommended value</i>
p	<i>size of population</i>	$p = ax$, where $1 \leq a \in \mathbb{R}$ is a constant and x is the length of the chromosome
p_e	<i>size of elite population</i>	$0.10p \leq p_e \leq 0.25p$
p_m	<i>size of mutant population</i>	$0.10p \leq p_m \leq 0.30p$
ρ_e	<i>elite allele inheritance probability</i>	$0.5 \leq \rho_e \leq 0.8$

Pada BRKGA, untuk dapat menghasilkan solusi optimal perlu dilakukan pengaturan parameter kromosom dalam populasi. Tabel 1 ini menunjukkan rekomendasi parameter yang disarankan sesuai dengan penelitian Gonçalves & Resende (2011). Pengaturan parameter kromosom

ini terdiri dari pengaturan ukuran populasi (p), presentase elit (p_e), presentase mutasi (p_m) dan probabilitas elit *crossover* (ρ_e) untuk menghasilkan parameter yang terbaik. Ukuran populasi merupakan banyaknya kromosom dalam satu populasi yang jumlahnya dipengaruhi oleh panjang kromosom, presentase elit merupakan presentase jumlah kromosom elit dalam satu populasi dimana nilai rekomendasi untuk presentase elit antara $0,10p$ sampai $0,25p$, presentase mutasi merupakan presentase jumlah kromosom hasil mutasi dalam satu populasi dengan nilai rekomendasi antara $0,10p$ sampai $0,30p$ serta probabilitas elit *crossover* merupakan peluang dalam proses *crossover* untuk menghasilkan kromosom terbaik dengan nilai rekomendasi antara 0,5 dan 0,8.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaturan Parameter BRKGA dengan *Multiple Population*

Program BRKGA dengan *multiple populations* dilaksanakan menggunakan aplikasi MATLAB dengan versi 7.11.0.583 (R2010b), 64-bit (win64), dijalankan pada notebook dengan spesifikasi Intel® Core™ i5-2450M @ 2.50GHz dan memiliki kapasitas RAM sebesar 4 GB. Pada BRKGA dengan *multiple populations* harus ditentukan terlebih dahulu siklus/kelipatan iterasi untuk dilakukannya pertukaran informasi antar populasi. Oleh karena itu, sebelum dilakukannya pengaturan parameter maka telah dilakukan terlebih dahulu percobaan untuk mencari siklus terbaik. Siklus terbaik ini yang nantinya akan digunakan untuk mencari parameter terbaik dalam BRKGA dengan *multiple populations*. Percobaan tersebut dilakukan sebanyak 4 kali menggunakan siklus 5, 20, 100 dan 500 yang dijalankan menggunakan salah satu parameter. Program tersebut dijalankan dan diulang sebanyak 50 kali dengan iterasi 700 untuk menghasilkan rata-rata biaya dan standar deviasi. Pada percobaan untuk mencari siklus terbaik ini, parameter yang peneliti gunakan terdiri dari ukuran populasi sebesar 60 dimana masing-masing populasi menggunakan 30 ukuran populasi, presentase elit sebesar 0,1, presentasi mutasi sebesar 0,25 dan probabilitas elit *crossover* sebesar 0,5. Pada percobaan ini telah diketahui bahwa percobaan yang menggunakan siklus 20 dapat menghasilkan rata-rata biaya dan standar deviasi yang terendah daripada penggunaan siklus 5, 100 dan 500 seperti yang tertera pada Tabel 2. Oleh karena itu, siklus 20 adalah siklus terbaik yang dapat digunakan dalam pertukaran informasi antar populasi dalam BRKGA dengan *multiple populations*.

TABEL 2. RATA-RATA BIAYA DAN STANDAR DEVIASI PADA PENCARIAN SIKLUS TERBAIK

Siklus	Rata-Rata (Rp)	Standar Deviasi (Rp)
5	154549,96	3426,54
20	153314,85	3275,39
100	154801,14	3337,84
500	154957,11	3499,9

Pada Tabel 2 menunjukkan rata-rata total biaya dan standar deviasi yang dihasilkan menggunakan siklus 5, 20, 100 dan 500. Berdasarkan Tabel 2 tersebut dapat diketahui bahwa rata-rata total biaya dan standar deviasi yang dihasilkan pada siklus 20 memiliki nilai yang lebih rendah

daripada penggunaan siklus yang lain. Oleh karena itu, pertukaran informasi berupa pertukaran kromosom elit dari kedua populasi dilakukan pada siklus 20. Hal tersebut sesuai dengan penelitian Gonçalves & Resende (2011a) yang menyatakan bahwa pertukaran yang terjadi terlalu sering akan mengakibatkan terjadinya gangguan pada proses evolusi seperti yang telah dijelaskan pada penelitiannya. Pertukaran yang terjadi jika terlalu jarang, juga tidak akan menghasilkan solusi yang optimal. Oleh karena itu, pertukaran kromosom elit pada kedua populasi akan dilakukan setiap siklus ke-20.

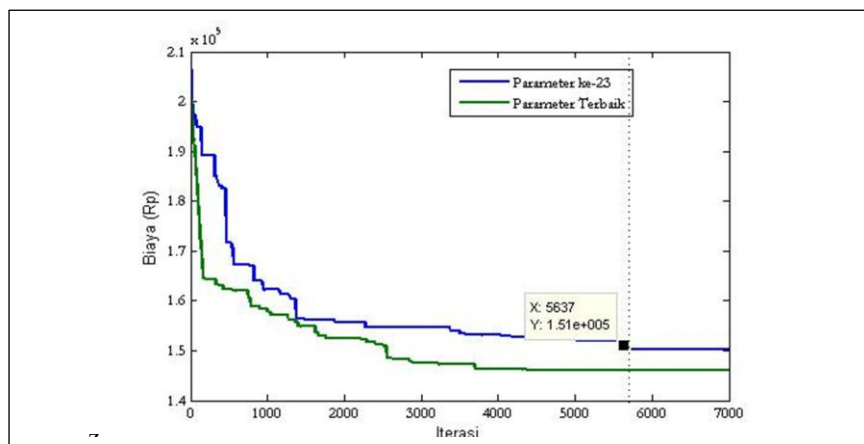
TABEL 3. HASIL RATA-RATA BIAYA BERDASARKAN PENGATURAN PARAMETER

Parameter Ke-	Parameter				Hasil Rata-Rata (Rp)	Standar Deviasi (Rp)	Parameter Ke-	Parameter				Hasil Rata-Rata (Rp)	Standar Deviasi (Rp)
	p	pe	ρ_e	pm				P	pe	ρ_e	pm		
1	30	0.1	0.5	0.1	157045,1	4128,1	25	30	0.2	0.5	0.1	155036,6	3518,9
2	30	0.1	0.5	0.2	156403,6	4439,3	26	30	0.2	0.5	0.2	155448,3	2941,4
3	30	0.1	0.5	0.3	157570,7	4112,5	27	30	0.2	0.5	0.3	156727,5	3349,4
4	30	0.1	0.6	0.1	157546,0	3603,9	28	30	0.2	0.6	0.1	156340,0	2990,4
5	30	0.1	0.6	0.2	156854,1	3480,4	29	30	0.2	0.6	0.2	156185,2	3283,1
6	30	0.1	0.6	0.3	160620,4	3531,5	30	30	0.2	0.6	0.3	162940,1	7244,8
7	30	0.1	0.7	0.1	158620,8	4046,8	31	30	0.2	0.7	0.1	156615,4	2672,5
8	30	0.1	0.7	0.2	158548,2	4362,2	32	30	0.2	0.7	0.2	164654,5	8782,9
9	30	0.1	0.7	0.3	166098,2	6791,3	33	30	0.2	0.7	0.3	185916,1	4050,6
10	30	0.1	0.8	0.1	160979,6	3962,0	34	30	0.2	0.8	0.1	160901,1	5797,5
11	30	0.1	0.8	0.2	171677,8	9630,3	35	30	0.2	0.8	0.2	187158,3	3124,6
12	30	0.1	0.8	0.3	185307,9	4318,7	36	30	0.2	0.8	0.3	188524,9	2859,6
13	30	0.15	0.5	0.1	155524,9	4125,1	37	30	0.25	0.5	0.1	154794,8	3894,6
14	30	0.15	0.5	0.2	155662,0	3490,9	38	30	0.25	0.5	0.2	155031,0	3271,6
15	30	0.15	0.5	0.3	157044,0	3540,3	39	30	0.25	0.5	0.3	159671,9	4961,2
16	30	0.15	0.6	0.1	156137,3	3220,5	40	30	0.25	0.6	0.1	154750,0	3142,4
17	30	0.15	0.6	0.2	156135,3	3575,2	41	30	0.25	0.6	0.2	158899,0	4379,0
18	30	0.15	0.6	0.3	160430,4	5257,9	42	30	0.25	0.6	0.3	181408,3	6738,6
19	30	0.15	0.7	0.1	157048,4	3708,5	43	30	0.25	0.7	0.1	156312,8	2989,0
20	30	0.15	0.7	0.2	161300,3	7761,6	44	30	0.25	0.7	0.2	177128,7	9346,3
21	30	0.15	0.7	0.3	180893,4	6619,6	45	30	0.25	0.7	0.3	188022,4	2417,8
22	30	0.15	0.8	0.1	159662,7	5101,2	46	30	0.25	0.8	0.1	174001,2	9610,3
23	30	0.15	0.8	0.2	183562,5	5089,0	47	30	0.25	0.8	0.2	188256,6	2285,3
24	30	0.15	0.8	0.3	188448,0	2366,7	48	30	0.25	0.8	0.3	189381,7	2655,3

Pada penelitian ini terdapat 48 kombinasi parameter yang digunakan dalam BRKGA dengan *multiple populations*, dimana parameter tersebut terdiri dari ukuran populasi, presentase elit, presentase mutasi dan probabilitas elit *crossover* seperti yang telah disajikan pada Tabel 1. Setiap parameter tersebut dijalankan dan diulang sebanyak 50 kali dengan iterasi 700 sehingga menghasilkan rata-rata total biaya dan standar deviasi seperti yang disajikan pada Tabel 3. Berdasarkan hasil rata-rata total biaya dan standar deviasi yang tersaji pada Tabel 3 dapat diketahui bahwa parameter yang memiliki rata-rata total biaya terendah dan standar deviasi yang tidak terlalu besar adalah parameter ke-40 dengan rata-rata total biaya yang dihasilkan adalah sebesar Rp 154.750,00 dengan standar deviasi yang dihasilkan sebesar Rp 3.142,00. Parameter ke-40 tersebut disebut sebagai parameter terbaik dengan ukuran populasi (p) sebesar 60 yang terbagi menjadi 2 populasi dimana masing-masing populasi menggunakan ukuran populasi sebesar 30, presentase elit (pe) sebesar 0,1, presentase mutasi (pm) sebesar 0,25 dan probabilitas elit *crossover* (ρ_e) sebesar 0,6. Setelah menemukan pengaturan parameter yang terbaik, kemudian program dijalankan kembali

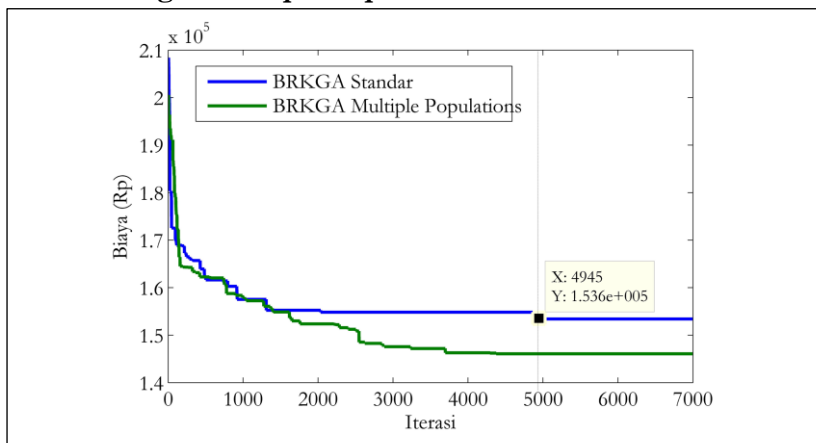
dengan iterasi 7000 untuk mengetahui BRKGA dengan *multiple populations* menuju konvergen pada titik berapa.

Gambar 6 menunjukkan perbandingan grafik biaya yang dihasilkan dari BRKGA dengan *multiple populations* dari parameter terbaik dengan parameter lain yaitu parameter ke-23 dengan ukuran populasi (p) sebesar 60 yang terbagi menjadi 2 populasi dimana masing-masing populasi menggunakan ukuran populasi sebesar 30, presentase elit (p_e) sebesar 0,15, presentase mutasi (p_m) sebesar 0,2 dan probabilitas elit *crossover* (ρ_e) sebesar 0,8. Berdasarkan Gambar 6 dapat diketahui bahwa parameter terbaik mampu menghasilkan biaya akhir yang lebih rendah daripada yang dihasilkan oleh parameter ke-23. Selain itu, dapat diketahui pula bahwa BRKGA dengan *multiple populations* dengan parameter terbaik dapat lebih dulu mencapai titik konvergen pada iterasi ke-3697 daripada parameter ke-23 dengan titik konvergen pada iterasi ke-5637.



Gambar 6. Perbandingan Titik Konvergen dengan Parameter yang Berbeda

3.2 Unjuk Kerja BRKGA dengan *Multiple Populations* dan BRKGA Standar



Gambar 7. Perbandingan BRKGA *Multiple Populations* dan Standar

Unjuk kerja dari BRKGA dengan *multiple populations* dengan BRKGA standar dapat digambarkan seperti pada Gambar 7. Pada Gambar 7 menunjukkan hasil perbandingan biaya dari keduanya. BRKGA dengan *multiple populations* diketahui menghasilkan biaya yang lebih rendah daripada

yang dihasilkan oleh BRKGA standar dengan waktu penyelesaian program yang tidak terlalu signifikan terhadap BRKGA standar. Pada Gambar 7 terlihat bahwa titik konvergen pada BRKGA standar terletak pada iterasi ke-4945 menuju ke titik-7000 dengan total biaya yang dihasilkan lebih tinggi daripada total biaya yang dihasilkan menggunakan BRKGA dengan *multiple populations*. Perbandingan biaya yang dihasilkan oleh BRKGA dengan *multiple populations* dan BRKGA standar dapat dilihat pada Tabel 4.

TABEL 4. SOLUSI BIAYA DARI BRKGA DENGAN *MULTIPLE POPULATION* DAN BRKGA STANDAR

Metode (a)	Rata-rata Biaya (Rp) (b)	Biaya Minimum (Rp) (c)	Selisih (d)	
			Biaya (Rp)	%
BRKGA Standar	156031.2757	153419.2222	-	-
BRKGA <i>Multiple Populations</i>	150773.4841	146090.1111	7329.1111	4.7

Tabel 4 kolom (a) menjelaskan mengenai perbandingan yang dilakukan pada BRKGA standar dengan BRKGA *multiple populations*. Hasil rata-rata biaya yang dihasilkan berdasarkan *running program* menggunakan parameter terbaik dengan jumlah iterasi 7000 untuk BRKGA standar dan *multiple populations* dapat terlihat pada Tabel 4 kolom (b). BRKGA standar menghasilkan rata-rata biaya sebesar Rp 156.031,00 sedangkan BRKGA dengan *multiple populations* menghasilkan rata-rata biaya yang lebih rendah yaitu sebesar Rp 150.773,00. Kolom (c) menunjukkan biaya minimum yang dihasilkan dari BRKGA standar sebesar Rp 153.419,00 sedangkan biaya minimum yang dihasilkan dari BRKGA dengan *multiple populations* diketahui lebih rendah yaitu sebesar Rp 146.090,00 dan selisih biaya minimum antara keduanya adalah Rp 7.329,00 dengan presentase penghematan sebesar 4.7% seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4 kolom (d).

3.3 Unjuk Kerja BRKGA dengan *Multiple Populations* dengan Metode Heuristik

Permasalahan CVRPTW pada pendistribusian *soft drink* telah diselesaikan sebelumnya oleh Sembiring (2008) menggunakan metode heuristik. Metode heuristik yang digunakan terdiri dari dua tahapan berupa tahapan *divide* (pecah) yaitu pembentukan sub rute secara manual dengan pendekatan rute terpendek yang selanjutnya perbaikan urutan sub rute dilakukan menggunakan *Quant System* dan tahapan kedua berupa *conqueror* (kembang) yaitu pembentukan sub rute mempertimbangkan waktu tempuh dan kapasitas alat angkutnya. Meskipun permasalahan CVRPTW pada pendistribusian *soft drink* tersebut telah dapat diselesaikan menggunakan metode heuristik, tetapi langkah yang ditempuh masih menggunakan perhitungan manual sehingga solusi yang dihasilkan kurang optimal. Total biaya transportasi yang dihasilkan untuk mendistribusikan *soft drink* selama satu minggu menggunakan metode heuristik sebesar Rp 236.500,00, sedangkan biaya

transportasi yang dihasilkan menggunakan metode BRKGA dengan *multiple populations* sebesar Rp 146.090,00.

Tabel 5 menunjukkan hasil sub rute yang terbentuk berdasarkan metode BRKGA dengan *multiple populations* dan metode heuristik yang telah dihasilkan pada penelitian sebelumnya. Berdasarkan Tabel 5 dapat diketahui bahwa penggunaan metode BRKGA dengan *multiple populations* dapat menghasilkan sub rute dengan total jarak sebesar 319,5 km dan total waktu untuk mendistribusikan *soft drink* selama 34,27 jam, sedangkan metode heuristik menghasilkan total jarak sebesar 396,5 km dengan total waktu yang dibutuhkan untuk mendistribusikan *soft drink* selama 40,81 jam. Selain itu, permintaan pada sub rute ke-7 dapat dimasukkan ke dalam sub rute ke-1 dimana kendaraan harus melakukan dua kali keberangkatan karena kapasitas kendaraan tidak memenuhi jika permintaan pada sub rute ke-1 dan sub rute ke-7 dilakukan penggabungan. Jika keberangkatan dilakukan dua kali dari depot, penggabungan tersebut dapat dilakukan karena waktu pendistribusian dari sub rute ke-1 dan sub rute ke-7 kurang dari kapasitas waktu yang tersedia di perusahaan.

TABEL 5. HASIL SUB RUTE PENDISTRIBUSIAN *SOFT DRINK*

Rute	Sub Rute dari BRKGA <i>Multiple Populations</i>	Permintaan (krat)	Waktu (jam)	Jarak (km)	Sub Rute dari Metode	Permintaan (krat)	Waktu (jam)	Jarak (km)
					Heuristik			
I	Depot-31-29-26-17-38-3-Depot	130	4,83	45,3	Depot-8-3-2-4-5-1-Depot	125	4,33	43,7
II	Depot-21-18-16-7-9-15-28-27-19-Depot	124	6,24	56,2	Depot-6-12-11-9-7-10-Depot	126	3,86	50,7
III	Depot-43-44-25-23-22-24-39-45-6-Depot	127	5,75	39,6	Depot-14-16-15-17-18-13-19-21-Depot	128	6,73	56
IV	Depot-5-35-12-14-41-33-Depot	130	4,97	49,3	Depot-39-20-22-23-25-38-26-28-Depot	129	7,40	52,5
V	Depot-36-40-42-8-4-Depot	126	4,50	47,4	Depot-32-33-35-34-30-31-29-Depot	129	7,51	68
VI	Depot-30-10-20-32-37-34-1-Depot	120	5,01	44,9	Depot-41-42-40-37-36-44-24-Depot	130	8,26	78,8
VII	Depot-13-2-11-Depot	51	2,97	36,8	Depot-27-43-45-Depot	41	2,72	46,8
	Total	808	34,27	319,5	Total	808	40,81	396,5

Tabel 6 menunjukkan perbandingan total biaya transportasi yang dihasilkan dari BRKGA dengan *multiple populations* dan metode heuristik. Berdasarkan Tabel 6 terlihat bahwa total biaya transportasi, total jarak dan total waktu pendistribusian yang dihasilkan dari penggunaan metode BRKGA dengan *multiple populations* lebih rendah daripada total biaya transportasi, total jarak dan total waktu pendistribusian yang dihasilkan menggunakan metode heuristik. Total biaya transportasi yang dihasilkan menggunakan metode heuristik pada penelitian Sembiring (2008) sebenarnya juga telah menghasilkan penghematan sebesar Rp 111.800,00 dari total biaya transportasi yang sesungguhnya pada perusahaan *soft drink* tersebut.

TABEL 6. PERBANDINGAN BIAYA TRANSPORTASI DAN TOTAL JARAK

	<i>Multiple Populations</i> (Rp)	Metode Heuristik (Rp)	Selisih	
			Rp	%
Total Biaya Transportasi (Rp)	146090	236500	90410	38,2
Total Jarak (km)	319,5	396,5	77	19,4
Total Waktu (jam)	34,27	40,81	6,54	16,0

4. PENUTUP

Pada penelitian ini telah dihasilkan rancangan program algoritma BRKGA dengan *multiple populations* untuk menyelesaikan permasalahan CVRPTW pada studi kasus pendistribusian *soft drink* yang sebelumnya telah dilakukan oleh Sembiring *et al.* (2008). Parameter terbaik yang dihasilkan terdiri dari $p=60$ yang terbagi menjadi dua populasi dengan $p_1=30$ dan $p_2=30$, $p_e=0,25$, $p_m=0,1$ dan $\rho_e=0,6$. Berdasarkan parameter yang terbaik tersebut, dapat diketahui bahwa algoritma BRKGA dengan *multiple populations* ini telah dapat memodifikasi BRKGA standar dengan penghematan biaya sebesar Rp 7.329,00. BRKGA dengan *multiple populations* ini dapat menghemat biaya transportasi sebesar Rp 90.410,00 dari biaya transportasi yang dihasilkan menggunakan metode heuristik yang telah dilakukan pada penelitian yang lain.

Penelitian ini dapat digunakan untuk menemukan rute optimal pendistribusian barang atau jasa yang lainnya, tidak hanya untuk menemukan rute optimal pendistribusian *soft drink*. Algoritma ini juga dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan CVRPTW lain yang memiliki karakteristik yang sama, tetapi perlu dilakukan sedikit perubahan dalam fungsi kendala atau fungsi tujuannya. Selain itu, penelitian ini dapat dikembangkan dengan penambahan modifikasi lain seperti *local search*, BRKGA dengan *multiple parent*, BRKGA dengan populasi terdegradasi maupun BRKGA dengan *gender*.

DAFTAR PUSTAKA

- Awansari, S. A., & Abusini, S. (2013). Implementasi Model Capacitated Vehicle Routing Problem Pada Pengiriman Pupuk Urea Bersubsidi. *Jurnal Mahasiswa Matematika*, 1(5), pp–372.
- Bräysy, O., & Gendreau, M. (2001). Metaheuristics for The Vehicle Routing Problem With Time Windows. *Report STF42 A*, 1025.
- Cahyaningsih, W. K. (2015). Penyelesaian Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) Menggunakan Algoritma Sweep untuk Optimasi Rute Distribusi Surat Kabar Kedaulatan Rakyat. UNY.
- Festa, P., Gonçalves, J. F., Resende, M. G. C., & Silva, R. M. A. (2010). Automatic Tuning of GRASP with Path-Relinking Heuristics with A Biased Random-Key Genetic Algorithm. In *Experimental Algorithms* (pp. 338–349). Springer.
- Gonçalves, J. F., & Resende, M. G. C. (2011a). A Parallel Multi-Population Genetic Algorithm for A Constrained Two-Dimensional Orthogonal Packing Problem. *Journal of Combinatorial Optimization*, 22(2), 180–201.
- Gonçalves, J. F., & Resende, M. G. C. (2011b). Biased Random-Key Genetic Algorithms for Combinatorial Optimization. *Journal of Heuristics*, 17(5), 487–525.
- Gonçalves, J. F., & Resende, M. G. C. (2013). A Biased Random Key Genetic Algorithm for 2D and 3D Bin Packing Problems. *International Journal Of Production Economics*, 145(2), 500–510.
- Gonçalves, J. F., Resende, M. G. C., & Toso, R. F. (2014). An Experimental Comparison of Biased

- and Unbiased Random-Key Genetic Algorithms. *Pesquisa Operacional*, 34(2), 143–164.
- Grasas, A., Ramalhinho, H., Pessoa, L. S., Resende, M. G. C., Caballé, I., & Barba, N. (2014). On The Improvement of Blood Sample Collection at Clinical Laboratories. *BMC Health Services Research*, 14(1), 1.
- Gunawan, G., Maryati, I., & Wibowo, H. K. (2012). Optimasi Penentuan Rute Kendaraan Pada Sistem Distribusi Barang dengan Ant Colony Optimization. *Semantik*, 2(1).
- Hendrawan, B. E. (2007). Implementasi Algoritma Paralel Genetic Algorithm untuk Penyelesaian Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem. Tugas Sarjana. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Lydia¹, P. R., & Suyanto, R. N. D. (2011). Capacitated Vehicle Routing Problem Time Windows (CVRPTW) Menggunakan Algoritma Harmony Search.
- Perwitasari, E. W. (2012). Penentuan Rute Pengambilan Sampah di Kota Merauke dengan Kombinasi Metode Eksak dan Metode Heuristic. *Mustek Anim HA*, 1(2), 106–110.
- Prana, R. (2010). Aplikasi Kombinatorial pada Vehicle Routing Problem. Bandung.
- Prasetyo, H., Fauza, G., Amer, Y., & Lee, S. H. (2015). Survey on Applications of Biased-Random Key Genetic Algorithms for Solving Optimization Problems. In *Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), 2015 IEEE International Conference on* (pp. 863–870). IEEE.
- Putri, F. B., Mahmudy, W. F., & Ratnawati, D. E. (2014). Penerapan Algoritma Genetik untuk Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW) pada Kasus Optimasi Distribusi Beras Bersubsidi. *Skripsi FILKOM. Malang*.
- Sembiring, C. A. (2008). Penentuan Rute Distribusi Produk yang Optimal dengan Menggunakan Algoritma Heuristik pada PT. Coca Cola Bottling Indonesia Medan. Medan.
- Shahab, M. L., & Irawan, M. I. (2016). Algoritma Genetika Ganda untuk Capacitated Vehicle Routing Problem. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 4(2).
- Slamet, A. S., Siregar, H. H., & TIP, A. K. (2014). Vehicle Routing Problem (VRP) dengan Algoritma Genetika pada Pendistribusian Sayuran Dataran Tinggi. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 24(1).
- Soenandi, I. A., Marpaung, B., & Ginting, M. (2014). Optimasi Vehicle Routing Problem (VRP) dengan Pendekatan Metaheuristik (Studi Kasus Distribusi Bahan Baku Makanan). *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 2(2).
- Spears, W. M., & De Jong, K. D. (1995). *On the virtues of parameterized uniform crossover*. DTIC Document.
- Toth, P., & Vigo, D. (2002). Models, Relaxations and Exact Approaches for The Capacitated Vehicle Routing Problem. *Discrete Applied Mathematics*, 123(1), 487–512.
- Widyaningrum, N. O. (2011). Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows (CVRPTW) Menggunakan Differential Evolution dan Algoritma Genetika Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows (CVRPTW) Using Differential Evolution and Genetic Algorithm.