View metadata, citation and similar papers at core.ac.uk
brought to you by CORE
provided by UMS Digital Library - Selamat datang di UMS Digital Library

PENDEKATAN *BIASED RANDOM KEY GENETIC ALGORITHM* DENGAN *MULTIPLE-PARENT* UNTUK KASUS *CAPACITATED CLOSED VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH TIME WINDOWS*

Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I pada

Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik

Oleh:

MILATI QOYYIIMAH

D 600 120 063

PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA

2016

HALAMAN PERSETUJUAN

PENDEKATAN *BIASED RANDOM KEY GENETIC ALGORITHM* DENGAN *MULTIPLE-PARENT* UNTUK KASUS *CAPACITATED CLOSED VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH TIME WINDOWS*

PUBLIKASI ILMIAH

oleh:

MILATI QOYYIIMAH

D 600 120 063

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing

Hari Prasetyo, ST, MT, Ph.D

NIK.886

HALAMAN PENGESAHAN

PENDEKATAN *BIASED RANDOM KEY GENETIC ALGORITHM* DENGAN *MULTIPLE-PARENT* UNTUK KASUS *CAPACITATED CLOSED VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH TIME WINDOWS*

OLEH

MILATI QOYYIIMAH

D 600 120 063

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. **Much. Djunaidi, ST, MT** (.....)
   (Anggota I Dewan Penguji)
3. **Eko Setiawan, ST, MT, Ph.D** (.....)
   (Anggota II Dewan Penguji)

Dekan,

Ir. Sri Sunariono, 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

MILATI QOYYIIMAH

D 600 120 063

iii

PENDEKATAN *BIASED RANDOM KEY GENETIC ALGORITHM* DENGAN *MULTIPLE-PARENT* UNTUK KASUS *CAPACITATED CLOSED VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH TIME WINDOWS*

Abstrak

Capacitated Closed Vehicle Routing Problem with Time Windows (CCVRPTW) merupakan permasalahan *Vehicle Routing Problem* (VRP) yang mempertimbangkan kendala kapasitas truk dan jam kerja distributor. Karena CCVRPTW merupakan *NP-Hard problem* maka perancangan algoritma yang efektif dan efisien untuk menyelesaikannya menjadi sangat penting. sehingga Pada penelitian ini dirancang *Biased Random Key Genetic Algorithm* (BRKGA) dengan *multiple parent* untuk menyelesaikan kasus CCVRPTW. BRKGA kemudian dikodekan menggunakan bahasa pemrograman MATLAB dan diimplementasikan untuk menyelesaikan kasus optimisasi pendistribusian *soft drink*. Unjuk kerja dari algoritma yang dirancang kemudian dibandingkan dengan metode heuristik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan serupa. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa: (1) Metode BRKGA yang di rancang lebih baik dari metode heuristik, (2) Metode BRKGA *Multiple-Parent* dapat memperbaiki BRKGA standar, (3) Metode BRKGA *Multiple-Parent* dengan pengambilan orang tua ketiga dari kelompok *non-elite* lebih baik dibandingkan jika diambil dari seluruh populasi.

Kata Kunci: VRP, VRPTW, BRKGA, *Mutiple-Parent*, *Genetic Algorithm*

Abstracts

Capacitated Closed Vehicle Routing Problem with Time Windows (CCVRPTW) is a Vehicle Routing Problem (VRP) which considers truck capacity and distributor's working hours constraints. Since CCVRPTW is a NP-Hard problem, designing an effective and efficient algorithm to solve the problem becomes an important task. In this research, a Biased Random Key Genetic Algorithm (BRKGA) with multiple parent is designed to address the CCVRPTW. The proposed algorithm is then coded in MATLAB and applied to solve an optimization problem for distributing soft drink. The performance of the algorithm is compared to a heuristic that has been used to solve the same problem. The result shows that: (1) the proposed BRKGA with multiple parent outperforms the heuristic in terms of the obtained total distribution cost, (2) the proposed algorithm further improves the performance of the standard BRKGA, and (3) Obtaining the third parent from the non-elite class population yields a better result compared to if it is taken from the whole population.

Keywords: VRP, VRPTW, BRKGA, Mutiple-Parent, Genetic Algorithm

1. PENDAHULUAN

Permasalahan *Vehicle Routing Problem* (VRP) merupakan suatu model permasalahan transportasi yang dapat berupa model *graph*, yang memiliki tujuan untuk menemukan suatu rute menggunakan beberapa kendaraan dalam melakukan pengiriman produk atau jasa ke sejumlah konsumen di beberapa lokasi yang berbeda (Gunawan *et al*., 2012). Pada umumnya VRP terdiri dari satu depot dimana sebuah kendaraan bertugas memenuhi permintaan dari konsumen yang tersebar di wilayah geografis (Harun *et al*., 2014). Permasalahannya yaitu menentukan urutan pengiriman (rute) agar semua permintaan *outlet* atau konsumen dapat terpenuhi dengan total jarak pengiriman minimal.

Pada VRP, kendaraan umumnya berangkat dari depot dan kembali lagi atau berakhir di depot yang biasa disebut disebut sebagai *Closed Vehicle Routing Problem* (Grasas *et al*., 2014). Penyelesaian kasus VRP umumnya kurang memperhatikan kapasitas dari kendaraan yang digunakan atau menganggap kendaraan memiliki kapasitas yang sama (Arvianto *et al*., 2014). Namun, pada kenyataannya tidak sedikit kendaraan yang bertugas tidak boleh membawa produk melebihi dari kapasitasnya untuk melayani konsumen. Apabila setiap kendaraan yang dipakai untuk melayani konsumen mempunyai kapasitas yang terbatas merupakan faktor utama di dalam kasus VRP, maka dapat disebut dengan *Capacitated Vehicle Routing Prolem* (CVRP) (Awansari & Abusini, 2013). Kasus CVRP telah diteliti sebelumnya, diantaranya oleh Awansari & Abusini (2013) yang diselesaikan dengan membuat simulasi model CVRP melalui tipe penyelesaian *Branch and Bound*.

Selain batasan kapasitas, terdapat batasan yang mengharuskan setiap kendaraan dalam melayani konsumen berada dalam suatu *time frame* tertentu. Permasalahan VRP dengan adanya batasan waktu pelayanan biasa disebut dengan *Vehicle Routing Problem with Time Windows* (VRPTW) (Nugraha & Mahmudy, 2015). Amri et al. (2014) telah melakukan penelitian mengenai VRPTW menggunakan suatu metode *Nearest Neighbor*. Selain itu, Harun *et al*. (2014) melakukan penelitian dibidang yang sama CVRPTW pada perusahaan minuman soda dengan menggunakan *Evolution Strategies*.

Pegimplementasian VRP didalam dunia nyata memunculkan banyak variasi. Termasuk campuran variasi antara kapasitas dan waktu yang biasa disebut dengan *Capacitated Closed Vehicle Routing Problem with Time Windows* (CCVRPTW). Faktor utama dalam CCVRPTW yaitu kapasitas dan *time frame* untuk melayani konsumen yang telah ditentukan sebelumnya. Permasalahan CCVRPTW telah diteliti sebelumnya oleh Nurhayati (2013) untuk menyelesaikan permasalahan pendistribusian Aqua galon. Pada penelitian ini peneliti menggunakan dua metode yaitu *Branch and Bound* dan *Clarke and Wright Savings* untuk dibandingkan. Hasil pembandingan

kedua metode tersebut menunjukkan metode *Branch and Bound* lebih baik untuk menyelesaikan permasalahan CCVRPTW.

Vehicle Routing Problem (VRP) *termasuk* kedalam permasalahan *Non-Deterministic Polynomial-Time Hard* (NP-*Hard*) (Grasas *et al*., 2014). Penentuan pemilihan solusi (metode atau algoritma) dalam memecahkan masalah optimasi seperti VRP harus mempertimbangkan kualitas dari solusi berupa biaya dan waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikannya (Goncalves & Resende, 2011b). Permasalahan VRP tidak dapat diselesaikan dengan menggunakan metode analitik (integral diferensial) dikarenakan akan sulit untuk mencari turunanannya maupun integralnya. Metode eksak dapat digunakan untuk mencari suatu solusi yang optimal pada permasalahan VRP. Namun, metode eksak sulit untuk diterapkan pada kasus VRP yang memiliki ruang lingkup besar karena membutuhkan waktu yang lama untuk menyelesaikannya sehingga tidak efisien. Hal tersebut dibuktikan oleh peneliti bernama Carlier & Pinson yang membutuhkan waktu selama 20 tahun untuk menyelesaikan permasalahan *job scheduling* dengan menggunakan metode eksak di tahun 1989 (Goncalves & Resende, 2011a). Oleh karena itu, beberapa peneliti melakukan penelitian dengan menggunakan metode heuristik karena dapat mengahasilkan solusi dengan waktu yang lebih cepat. Seperti yang diterapkan oleh Sembiring (2008) untuk menyelesaikan permasalahan pendistribusian *softdrink*, dan Al'aziz (2012) menyelesaikan permasalahan pengangkutan sampah dikota surakarta. Akan tetapi solusi yang dihasilkan dengan metode heuristik kurang optimal meskipun waktu yang dibutuhkan lebih cepat dari metode eksak. Oleh karena itu, tidak sedikit peneliti yang menggunakan metode metaheuristik karena dapat menghasilkan solusi yang optimal dan waktu yang cepat., diantaranya yaitu Sari & Widodo (2014) yang menyelesaikan permasalahan VRP dengan menggunakan *Ant Colony*. Selain itu, Shahab dan Irawan (2016) menggunakan metode Genetik Algoritma Ganda untuk menyelesaikan permasalahan CVRP.

Oleh karena itu, pada penelitian ini akan menggunakan metode metaheuristik dengan merancang *Biased Random Key Genetic Algorithm* (BRKGA) menggunakan modifikasi *Multiple-Parent* yang efisien untuk menyelesaikan CCVRPTW dengan kasus pendistribusian *soft drink* yang telah diteliti oleh Sembiring (2008). BRKGA dengan modifikasi *Multiple-Parent* menggunakan beberapa orang tua untuk menghasilkan keturunan dengan kombinasi dari beberapa orang tua tersebut. Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah membuat model CCVRPTW, merancang algoritma BRKGA dengan modifikasi *Multiple-Parent* dengan bantuan bahasa pemrograman *Matlab*, dan mengevaluasi hasil performansi dari pengaplikasian BRKGA dengan modifikasi *Multiple-Parent* yang dirancang untuk menyelesaikan studi kasus pada penelitian Sembiring (2008) dan dibandingkan dengan metode heuristik.

2. METODE

Permasalahan, Notasi, dan Asumsi

Pendistribusian pada perusahaan *soft drink* dikota medan yang telah diselesaikan oleh Sembiring (2008) dilakukan untuk memenuhi permintaan konsumen yang tersebar secara geografis. *Outlet* konsumen yang harus dilayani oleh perusahaan sejumlah 45 *outlet*. Pendistribusian yang dilakukan bersifat tertutup dimana sub rute yang terbentuk dimulai dari depot dan kembali lagi ke depot. Namun, permasalahannya yaitu perusahaan belum mempunyai rute-rute pendistribusian produk yang optimal. Permasalahaan ini menjadi sulit menentukan solusi rute dikarenakan semua sub rute yang terbentuk dilayani oleh kendaraan yang membawa produk tidak lebih dari kapasitas kendaraan dalam satuan krat. Selain itu, proses pendistribusian memiliki batasan waktu yang merupakan jam kerja perusahaan. Berdasarkan kendala yang ada, kasus pendistribusian pada perusahaan *soft drink* tersebut termasuk kedalam CCVRPTW.

Penyelesaian kasus CCVRPTW pada perusahaan *soft drink* memerlukan *input* data berupa lokasi masing-masing *outlet* yang akan dilayani sehingga diketahui jarak perjalanan antar *outlet* dalam proses pendistribusian. Data ini diperoleh dengan aplikasi *web* menggunakan *Google Maps* yang dikembangkan oleh peneliti. Waktu perjalanan antara *outlet* ke depot dan waktu perjalanan antar *outlet* diperlukan guna perhitungan waktu perjalanan setiap sub rute dalam memenuhi kendala waktu kerja. Waktu pelayanan dan waktu *loading unloading* disetiap *outlet*. Selain itu, pada penelitian ini terdapat beberapa asumsi yang mendasari untuk memperoleh solusi dari permasalahan CCVRPTW pada perusahaan *soft drink*, yaitu permintaan seluruh konsumen disetiap *outlet* diketahui diawal (konstan), waktu pendistribusian dari depot dan kembali lagi kedepot setiap harinya dianggap sama yaitu 8 jam kerja.. Waktu pelayanan disetiap *outlet* berlangsung selama 19 menit yang meliputi waktu kegiatan parkir kendaraan, penurunan krat permintaan dan pengambilan krat yang kosong untuk diletakkan dikendaraan. Waktu *setup* pendistribusian disetiap sub rute untuk kendaraan selama 15 menit dan menggunakan model transportasi tunggal, artinya terdapat satu jenis kendaraan yang digunakan untuk melakukan pendistribusian yaitu sebuah truk satuan krat sebesar 130 krat. Allowance waktu pada penelitian ini yaitu 20% guna mengantisipasi keadaan yang tidak terduga seperti kendaraan mogok, perjalanan terhambat dikarenakan macet dan lain-lain.

Sesuai dengan karakterstik dari permasalahan CCVRPTW, notasi-notasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

N : Jumlah titik *outlet*

i : Indeks yang menunjukkan titik asal

j : Indeks yang menunjukkan titik tujuan

X_{ij} : Indeks apakah kendaraan melewati rute *i* ke *j*

C_{ij} : Biaya untuk melewati rute *i* ke *j*

d_i : Permintaan *outlet* pada titik *i*

W : Kapasitas kendaraan yang digunakan

k : Jumlah kendaraan yang digunakan

q_i : Waktu pelayanan dan waktu untuk *loading* maupun *unloading* pada *outlet* titik *i*

t_{ij} : Waktu perjalanan dari *i* ke *j*

p : Waktu *setup* kendaraan di depot

T : Kapasitas waktu

S : Jumlah minimal sub rute yang terbentuk

r_l : Urutan sub rute ke *l*; *l* = 1,2,3,.... *S*

n_l : Jumlah *outlet* dalam sebuah sub rute ke-*l*; *l* = 1,2,3,....*S*

Y_{ij} : Indeks apakah perjalanan dari *i* ke *j* dimulai dari $n_l + 1$; Y_{ij} akan bernilai 1 jika $i = n_l + 1$ dan 0 jika sebaliknya

a : *Allowance*

Permasalahan optimisasi pada perusahaan *soft drink* bertujuan untuk menemukan solusi urutan sub rute pendistribusian *soft drink* yang optimal sehingga dapat menghasilkan biaya yang minimal dengan adanya batasan waktu dan kapasitas, tujuan ini dapat dimodelkan seperti pada persamaan 1. Persamaan 2 menunjukkan kendala jumlah sub rute agar jumlah sub rute tidak melebihi jumlah hari kerja yaitu 7 hari. Persamaan 3 menunjukkan kendala kapasitas agar subrute yang terbentuk tidak melebihi dari kapasitas kendaraan yang digunakan. Kendala lain yaitu kendala waktu penditsribusian dengan tujuan sebuah subrute yang terbentuk supaya tidak melebihi waktu kerja yaitu 8 jam kerja dimodelkan dalam persamaan 4. Masing-masing model kendala yang terbentuk hanya untuk sub rute.

$$Min\ Z = \sum_{i=1}^{N+1} \sum_{j \neq i}^{N+1} C_{ij}\, X_{ij} \tag{1}$$

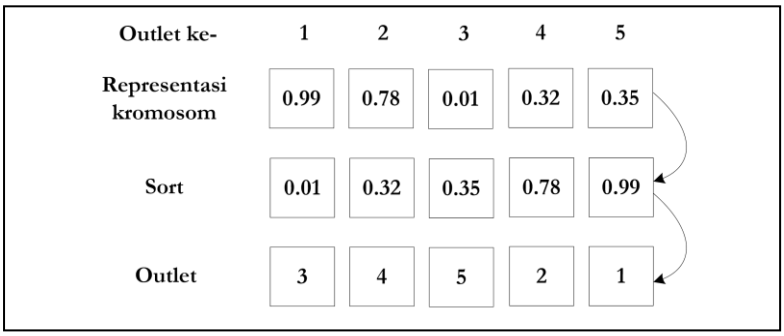
$$S \geq \left\lceil \left(\sum_{i=1}^{N} d_i \right) \Big/ W \right\rceil \tag{2}$$

$$\sum_{i=1}^{n_l+1} \sum_{j \neq i}^{n_l+1} d_i\, X_{ij} \leq W;\ \forall\, r_l\,;\, l = 1,2,3, \ldots S \tag{3}$$

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

Pendekatan Solusi

Pemilihan metode untuk memecahan permasalahan optimasi seperti pendistribusian *soft drink* harus mempertimbangkan kualitas dari solusi yaitu biaya dan solusi yang dihasilkan, serta waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan. Salah satu metode metaheuristik yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan CCVRPTW pada penditsribusian *soft drink* adalah algoritma yang berbasis *Genetic Algorithm. Genetic Algorithm* dengan *Random Key*, atau yang biasa disebut dengan *Random Key Genetic Agorithm* (RKGA) pertama kali diperkenalkan oleh Bean pada tahun 1994 untuk menyelesaikan permasalahan optimisasi (Prasetyo *et al*., 2015). BRKGA memiliki kelebihan yaitu fleksibilitas dalam merepresentasikan berbagai jenis masalah. Goncalves & Resende (2011c) menjelaskan bahwa *Biased Random Key Genetic Algorithm* (BRKGA) merupakan salah satu varian dari *Random Key Genetic Algorithm* (RKGA) dimana memiliki kerangka kerja yang dapat menyelesaikan permasalahan optimasi kombinatorial. Algoritma ini terdiri populasi awal *p* individu, yaitu *p* string (vektor) dari n acak antara 0 sampai 1 (Grasas *et al.*, 2014). Setiap individu memiliki kromosom, dimana setiap kromosom terdiri dari serangkaian gen yang mewakili *outlet* atau konsumen yang akan dilayani. Proses tersebut dalam BRKGA disebut sebagai inisialisasi populasi. Sebuah kromosom atau individu yang terbentuk mengkodekan solusi dengan bilangan random 0 sampai 1 yang nantinya akan diterjemahkan menjadi *outlet*. Proses pengkodean pada BRKGA memiliki peranan penting, salah satunya dapat dilakukan dengan mengurutkan bilangan *random* yang telah terbentuk dalam satu kromosom. Gambar 1 mengilustrasi pengkodean yang digunakan pada penelitian ini.

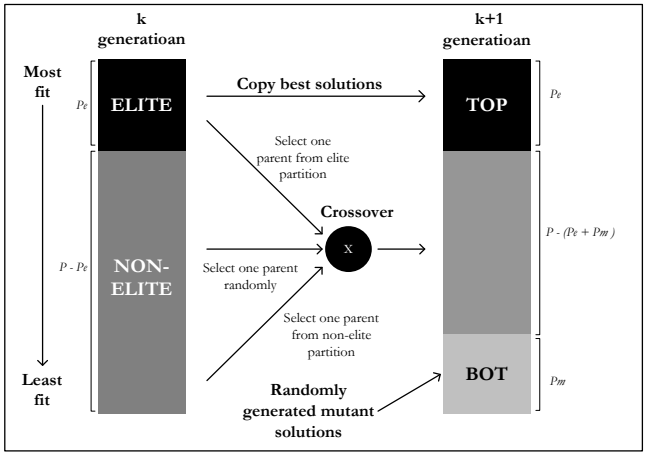


Gambar 1. Ilustrasi proses pengkodean

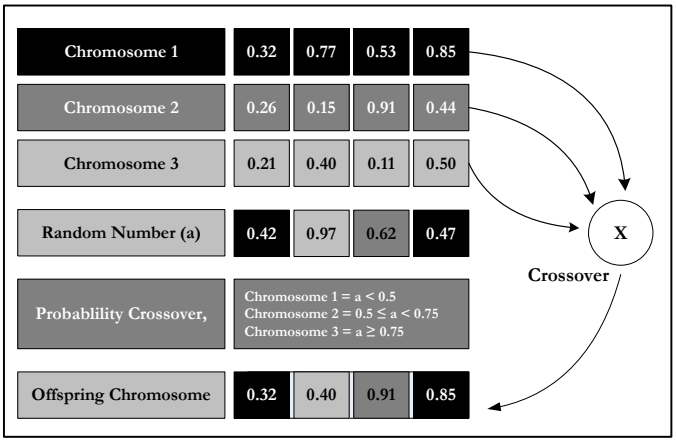
Gambar 1 mengilustrasikan proses pengkodean yang terdiri dari 5 gen dalam satu kromosom. Gen 1-2-3-4-5 mewakili *outlet* ke 1-2-3-4-5, masing-masing gen direpresentasikan dengan bilangan

random yaitu gen pertama (*outlet* ke 1) direpresentasikan dengan 0,99 begitu seterusnya sampai gen ke 5. Proses pengkodean kasus CCVRPTW pada penelitian ini cukup sederhana yaitu dengan mengurutkan nilai-nilai *random* seluruh gen dalam satu individu dari nilai terkecil hingga terbesar. Setelah terbentuk hasil pengurutan akan dilakukan proses *fitness* yaitu menghitung biaya pengurutan gen pada masing-masing individu. Biaya-biaya individu dalam satu populasi akan diurutkan sesuai dengan fungsi tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian yang dilakukan.

Pada BRKGA, sesuai yang dijelaskan oleh Goncalves & Resende (2015) dan Grasas *et al.* (2014) populasi awal *p* kemudian dibagi menjadi dua kelompok yaitu kelompok kecil yang disebut individu ELITE (*pe*) sekitar 10-20%, dan kelompok kedua disebut individu NON-ELITE dengan sisa individu dari *p* - *pe* (*pe* < *p* - *pe*). Selanjutnya, populasi ini berevolusi untuk mendapatkan generasi berikutnya. Gambar 2 menunjukkan dinamika evolusi atau transisi generasi baru. Sebuah BRKGA akan mengalami perkembangan populasi melalui beberapa iterasi yang disebut sebagai generasi. Pada setiap generasi, populasi baru diperoleh dengan menggabungkan unsur-unsur dari populasi saat ini untuk menghasilkan keturunan yang membentuk generasi berikutnya.



Gambar 2. Transisi generasi baru



Gambar 3. Proses *Crossover*

Pada gambar 2, bagian kiri individu ELITE dan NON-ELITE diperoleh setelah semua individu diurutkan berdasarkan nilai *fitness*, beberapa urutan teratas yang sesuai akan dimasukkan ke individu ELITE dan sisanya akan ditempatkan ke individu NON-ELITE. Individu ELITE akan disalin seluruhnya ke generasi berikutnya yang disebut dengan TOP (gambar bagian kanan). Selanjutnya akan dilakukan *crossover* antara individu ELITE dan NON-ELITE untuk memeperoleh generasi selanjutnya. Sisa dari hasil *crossover* pada generasi berikutnya akan diisi dari hasil mutasi yang dihasilkan secara acak yang ditempatkan di BOT. Pemilihan pasangan pada *Biased Random Key Genetic Algorithm* (BRKGA)secara umum dilakukan dengan salah satu orang tua selalu dipilih

secara acak dari kelompok individu ELITE. Probabilitas individu ELITE yang dipilih untuk disilangkan (1/*pe*) lebih besar dibandingkan dengan individu NON-ELITE (1/(*p*-*pe*)).

Proses *crossover* pada BRKGA pada umumnya setiap gen anak dipilih dari salah satu dari dua orang tua dengan menggunakan probabilitas tertentu (didefinisikan oleh pengguna). Kromosom 1 mengacu pada ELITE dan kromosom 2 NON-ELITE. Akan tetapi, pada penelitian ini akan menggunakan lebih dari dua orang tua untuk menghasilkan keturunan dengan menggunakan kombinasi antar orang tua. Penggunaan lebih dari dua orang tua pada proses *crossover* dapat disebut sebagai *multiple-parent*. Pada penelitian ini menggunakan tiga orang tua/kromosom didalam pemilihan gen anak untuk generasi berikutnya.

Modifikasi pada proses *crossover* dengan menggunakan lebih dari dua orang tua biasa atau *multiple-parent* sebelumnya telah dilakukan oleh Goncalves & Resende (2012); Fontes & Goncalves (2013); Lucena *et al*. (2014). Proses *crossover* dengan *multiple-parent* dapat dilakukan dengan dua cara, yang pertama yaitu dengan menggunakan orang tua ketiga dari seluruh populasi baik dari ELITE dan NON-ELITE. Kedua, dapat dilakukan dengan mengambil orang tua ketiga hanya dari NON-ELITE saja. Proses *crossover* dengan menggunakan *multiple-parent* digambarkan dalam Gambar 2 dimana proses *crossover* terdiri dari 3 kromosom dengan masing-masing 4 gen.

Nilai *pe* dalam proses *crossover* dengan *multiple-parent* sampai saat ini belum terdapat parameter, sehingga pada penelitian ini probabilitas *crossover* pada Gambar 3 memiliki arti bahwa keturunannya akan mewarisi gen orang tua 1 (ELITE) sebanyak 0,5, dari orang tua 2 (NON ELITE) sebanyak 0,25 dan dari orang tua 3 sebanyak 0,25. Jika hasilnya kurang dari 0,5 akan mewarisi gen orang tua 1, jika hasilnya lebih dari atau sama dengan 0,5 dan kurang dari 0,75 maka akan mewarisi orang tua 2, dan jika hasilnya lebih dari atau sama dengan 0,75 maka anak akan mewarisi gen orang tua 3. *Random-key* menggunakan bilangan ril antara 0 sampai 1. Contoh Gambar 2 yang menunjukkan keturunannya mewarisi gen orang tua ELITE di pertama dan keempat karena nilai *random-key* kurang dari 0,5. Ketika generasi berikutnya lengkap sampai *p* individu, individu-individu berhasil yang diterjemahkan dalam rute akan dihitung biayanya. Proses ini kemudian diulang hingga diperoleh solusi optimal.

BRKGA memiliki beberapa parameter yang perlu diatur untuk memperoleh solusi yang terbaik. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Goncalves & Resende (2011c) dan survei yang dilakukan oleh Prasetyo *et al*. (2015) pada penerapan BRKGA diberbagai bidang, pengaturan *parameter* BRKGA yang direkomendasikan seperti terlampir di Tabel 1. Pada Tabel 1 kolom b, parameter-parameter yang diatur berupa ukuran populasi (p), ukuran solusi elit (p_e), ukuran solusi mutasi (p_m), dan nilai probabilitas allel yaitu probabilitas keturunan dari orang tua ELIT.

TABEL 1. PARAMETER BRKGA (GONCALVES & RESENDE, 2011C)

Parameter (a)	*Description* (b)	*Recommended value* (c)
p	*Size of population*	$p = ax$, where $1 \leq a \in \mathbb{R}$ *is a constant and x is the length of the chromosome*
p_e	*Size of elite population*	$0.1\ p \leq p_e \leq 0.25\ p$
p_m	*Size of mutant population*	$0.1\ p \leq p_m \leq 0.3\ p$
ρ_e	*Elite allele*	$0.5 \leq \rho_e \leq 0.8$

Penyelesaian program BRKGA untuk CCVRPTW dimulai dengan merancang model *Capacitated Closed Vehice Routing Problem with Time Windows* (CCVRPTW) dan arsitektur algoritma melalui *Focus Group Discussion* (FGD). Adapun model yang dirancang dengan batasan kapasitas dan waktu nantinya akan digunakan untuk merancang sebuah arsitektur algoritma. Pembuatan program berdasarkan hasil dari arsitektur algoritma menggunakan bantuan sebuah *software Matlab* dengan hasil berupa *coding* BRKGA. Pada tahap ini, data-data yang diperlukan akan di input berupa permintaan disetiap *outlet*, jarak antar *outlet*, kapasitas kendaraan yang digunakan dan batas waktu kerja dalam satu hari.

Program yang telah dibuat kemudian akan dilakukan pengujian terhadap hasilnya untuk memperoleh pengaturan parameter terbaik dalam menyelesaikan kasus melalui simulasi. Pengaturan parameter yang akan diuji adalah ukuran populasi, ukuran populasi elit, dan ukuran mutasi. Hasil dari pengaturan parameter terbaik inilah yang akan digunakan dalam menerapkan studi kasus CCVRPTW pada penelitian Sembiring (2008) dengan tujuan mengetahui hasil dari performasi BRKGA. Hasil performansi akan diperoleh melalui analisis hasil perbandingan performansi BRKGA dengan metode algoritma heuristik yang digunakan dalam tugas akhir oleh Sembiring (2008).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaturan Parameter BRKGA

Algoritma BRKGA dikodekan dalam bahasa pemrograman matlab versi 7.11.0.584 (R2010b) 64-bit (win64), dan dijalankan menggunakan *notebook* dengan spesifikasi Intel® Core™ i5-2450M, kecepatan *processor* 2,50 GHz dan kapasitas RAM 4GB. Program dijalankan untuk memperoleh sebuah parameter dengan solusi yang menghasilkan rata-rata biaya terkecil. Parameter terbaik diperoleh melalui percobaan sebanyak 12 kombinasi prameter yang terdiri dari kombinasi antara jumlah populasi, persen elit dan persen mutasi. Pengaturan parameter yang diuji berdasar atas survei yang dilakukan oleh Prasetyo *et al* (2015) pada Tabel 1. Jumlah populasi yang digunakan yaitu 45 populasi, jumlah persen elit sebanyak 0,1, 0,15 dan 0,25, serta jumlah persen mutasi sebanyak 0,1, 0,2 dan 0,3. Masing-masing kombinasi dilakukan pengambilan sampel sebanyak 50 sampel, akan

tetapi untuk mengetahui parameter terbaik masing-masing sampel hanya mengalami pengulangan (iterasi) 700 kali.

Hasil yang diperoleh dari masing-masing sampel pada setiap kombinasi parameter dirata-rata dan dicari standar deviasinya untuk dibandingkan antar kombinasi parameter. Tabel 2 menunjukkan hasil rata rata dari setiap kombinasi parameter. Rata-rata hasil kombinasi parameter di Tabel 2 menggambarkan pengaruh ukuran populasi pada kolom a, persen elit pada kolom b, dan persen mutasi pada kolom c terhadap solusi yang diperoleh. Kombinasi parameter yang digunakan dalam program BRKGA dapat menghasilkan biaya solusi yang berbeda. Kombinasi paramater terbaik ditunjukkan di kombinasi parameter ke 10 pada jumlah populasi 45, jumlah persen elit 0,25 dan jumlah persen mutasi 0,1 dengan rata-rata biaya Rp. 152.591 dan standar deviasi 3.949. Kombinasi parameter yang tidak baik ditunjukkan di kombinasi parameter ke 12 yaitu pada jumlah populasi 45, jumlah persen elit 0,25 dan jumlah persen mutasi 0,25 dengan rata-rata biaya Rp. 178.131 dan standar deviasi 5.161. Hasil dari kedua kombinasi paramater tersebut menunjukkan semakin besar jumlah persen mutasi pada kolom c, hasil perancangan program BRKGA ini menghasilkan solusi yang tidak baik. Sebaliknya, semakin besar nilai persen elit pada kolom b akan menghasilkan solusi yang baik. Hal tersebut ditunjukkan pada hasil kombinasi parameter ke 1 dan ke 10. Kedua kombinasi parameter tersebut sama-sama menggunakan persen mutasi terkecil yaitu 0,1, namun menggunakan persen elit yang berbeda dan hasilnya menunjukkan bahwa solusi lebih baik dengan persen elit yang tinggi yaitu 0,25 di kombinasi parameter ke 10. Meskipun selisih hasil biaya solusi yang dihasilkan dari antar kombinasi parameter tidak signifikan, akan tetapi pengaturan parameter penting dilakukan untuk menemukan solusi dengan biaya yang optimal.

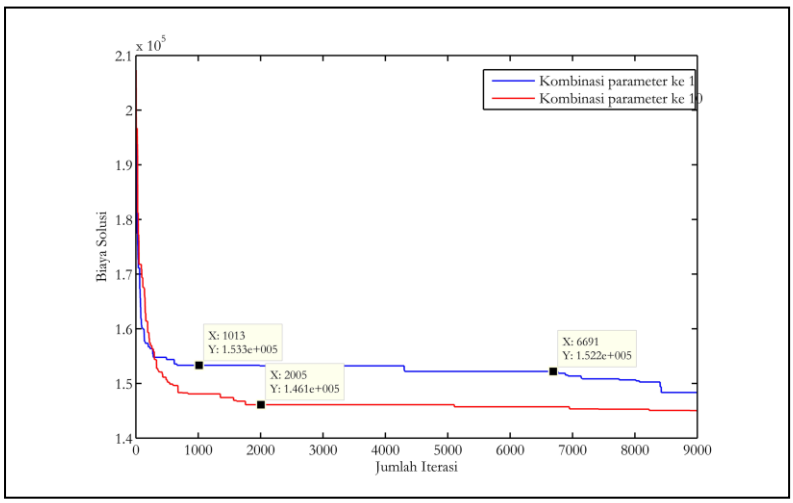
TABEL 2. HASIL PERCOBAAN KOMBINASI PARAMETER

Kombinasi Ke	Parameter			Rata-Rata (Rp)	Standar Deviasi (Rp)	Kombinasi Ke	Parameter			Rata-Rata (Rp)	Standar Deviasi (Rp)
	P (a)	P_e (b)	P_m (c)				P (a)	P_e (b)	P_m (c)		
1	45	0,1	0,1	153751	3685,19	7	45	0,2	0,1	153201	3484,12
2	45	0,1	0,2	155006	3528,96	8	45	0,2	0,2	155680	3381,52
3	45	0,1	0,3	160941	3594,13	9	45	0,2	0,3	168174	6178,91
4	45	0,15	0,1	152964	3573,42	10	45	0,25	0,1	152591	3949,77
5	45	0,15	0,2	155378	3277,07	11	45	0,25	0,2	158367	6029,48
6	45	0,15	0,3	164118	4050,15	12	45	0,25	0,3	178131	5161,08

Kombinasi parameter yang terpilih yaitu kombinasi ke 10 dijalankan kembali dengan pengulangan (iterasi) 9000. Hal tersebut dilakukan dengan tujuan mengetahui titik menuju konvergen yang artinya pada titik tertentu menggambarkan penurunan biaya akan mulai berhenti tanpa adanya perubahan. Sebagai pembanding, akan dijalankan pula kombinasi parameter yang tidak baik yaitu kombinasi ke 1. Pengaturan parameter pada program BRKGA ini ternyata mempengaruhi

pula pada titik konvergen solusi. Hal tersebut digambarkan pada grafik Gambar 4. Dari Grafik dapat diketahui bahwa dengan kombinasi parameter terbaik yaitu kombinasi ke 10 tidak hanya menghasilkan solusi yang lebih baik, melainkan juga lebih dulu menuju titik konvergen yaitu pada titik ke 2000.

Meskipun kombinasi parameter ke 1 lebih dulu menuju titik konvergen yaitu pada titik ke 1000, akan tetapi pada titik ke 6600 masih mengalami penurunan biaya yang ditawarkan cukup signifikan. Sedangkan kombinasi parameter cenderung stabil, meskipun pada titik ke 5000, 7000, dan 8000 masih menunjukkan penurunan biaya, akan tetapi penurunan yang ditawarkan sangat sedikit jika dibandingkan dengan banyaknya jumlah iterasi yang dibutuhkan. Sehingga penurunan yang ditawarkan dapat dikatakan tidak terlalu berpengaruh dalam perubahan biaya hasil solusi. Hasil dari penggunaan parameter yang berbeda baik dari hasil biaya maupun titik konvergen semakin menegaskan bahwa pemilihan atau pengaturan parameter yang sesuai sangat berpengaruh dalam algoritma BRKGA.



Gambar 4. Titik Konvergen BRKGA *Multiple-Parent*

3.2 Unjuk Kerja Algoritma BRKGA *Multiple-Parent* dan BRKGA Standar

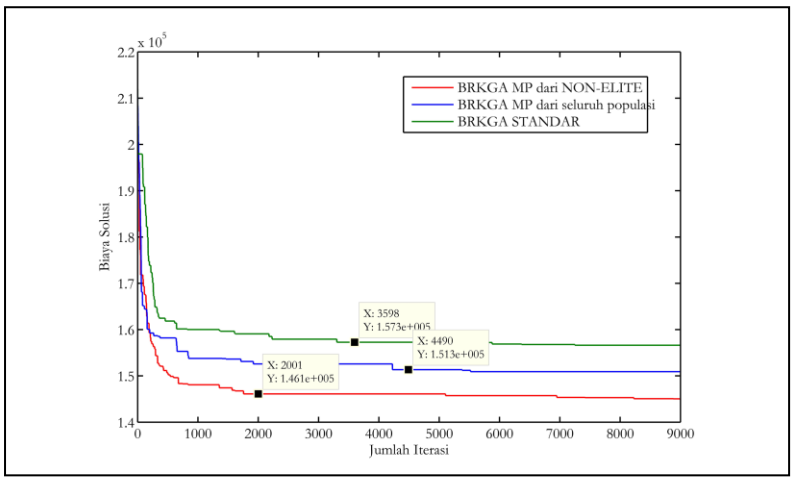
Hasil unjuk kerja algoritma BRKGA *Multiple-Parent* yang telah dirancang pada penelitian ini akan diketahui melalui perbandingan hasil eksperimen dengan algoritma BRKGA standar. Tujuan dari perbandingan unjuk kerja BRKGA *Multiple-Parent* dengan BRKGA standar yaitu untuk menunjukkan bahwa modifikasi BRKGA *Multiple-Parent* dapat memperbaiki hasil BRKGA standar jika dibandingkan dari kualitas solusi yang dihasilkan. Berdasarkan survei pengaplikasian algoritma BRKGA yang dilakukan oleh Prasetyo *et al*. (2015) menunjukkan bahwa rata-rata persen alel atau probabilitas *crossover* yang sering digunakan pada penelitian-penelitan sebelumnya yaitu 0.7. Oleh karena itu, BRKGA standar pada penelitian ini menggunakan probabilitas *crossover* 0.7, yang artinya bahwa peluang keturunan dari *chromosome* (orang tua) elit sebesar 70%.

Pada penelitian ini, modifikasi *Multiple-Parent* pada algoritma BRKGA tidak hanya dilakukan dengan memilih orang tua ketiga dari NON-ELITE, akan tetapi juga menggunakan seluruh populasi dalam pemilihan orangtua ketiga baik ELITE maupun NON-ELITE. Biaya solusi yang dihasilkan oleh BRKGA *Multiple-Parent* dan BRKGA standar dapat dilihat pada Tabel 3. Dengan perbedaan waktu yang tidak signifikan, penggunaan *Multiple-Parent* pada proses *crossover* ternyata mampu memperbaiki program BRKGA standar. Namun, pada penelitian ini pemilihan orang tua ketiga dari seluruh populasi menghasilkan solusi tidak lebih baik dari pemilihan NON-ELITE saja. Biaya solusi yang diperoleh dengan menggunakan pemilihan orang tua ketiga dari seluruh populasi lebih tinggi, yaitu Rp. 150.910 seperti yang terlampir pada Tabel 3 kolom b.

TABEL 3. BIAYA HASIL BRKGA

Metode (a)	Biaya (Rp/minggu) (b)	GAP dengan BRKGA standar (%) (c)
BRKGA standar	153094	-
BRKGA *Mutiple-Parent* dengan semua populasi	150910	1,42
BRKGA *Mutiple-Parent* dengan NON-ELITE	147695	3,52

Sesuai dengan Tabel 3 kolom b, biaya yang dihasilkan oleh BRKGA *Multiple-Parent* yang menggunakan orang tua ketiga dari NON-ELIT memiliki biaya solusi paling baik, yaitu Rp. 147.695. BRKGA ini mampu mengungguli BRKGA standar dengan biaya yang lebih hemat, yaitu sebesar Rp. 5.399. BRKGA dengan menggunakan orang tua ketiga dari seluruh populasi memang tidak lebih baik dari NON-ELITE saja, namun masih dapat memperbaiki BRKGA standar dengan selisih biaya Rp. 2.184 yang ditunjukkan pada Tabel 3 kolom c.



Gambar 5. Titik konvergen BRKGA dan BRKGA *Multiple-Parent*

Unjuk kerja algortima BRKGA umum, BRKGA dengan modifikasi *Multiple-Parent* melalui pemilihan orang tua ketiga dari NON-ELITE dan dari seluruh populasi digambarkan dalam Gambar 5. Grafik pada gambar 5 menunjukkan jumlah iterasi untuk mencapai solusi yang menuju konvergen. BRKGA *Multiple-Parent* dengan pengambilan orang tua ketiga dari NON-ELITE lebih cepat menghasilkan solusi yang menuju konvergen yaitu pada titik 2000, dilanjutkan BRKGA standar

pada titik 3500 dan BRKGA *Multiple-Parent* dengan pengambilan orang tua ketiga dari seluruh populasi pada titik 4400. Diiterasi yang lebih banyak memang ketiga algoritma ini masih mengalami penurunan biaya solusi, akan tetapi penurunan biaya yang dihasilkan tidak begitu banyak bila dibandingkan dengan banyaknya iterasi yang diperlukan. Sebagai contoh, pada grafik Gambar 4 BRKGA *Multiple-Parent* dengan menggunakan orang tua ketiga dari NON-ELITE mulai menuju konvergen pada titik 2000 dan mengalami penurunan biaya kembali di titik 5000. Selisih iterasi yang diperlukan untuk menurunkan biaya yaitu 3000 iterasi, sedangkan biaya diturunkan tidak signifikan. Meskipun BRKGA standar lebih cepat menuju konvergen bila dibandingkan dengan BRKGA *Multiple-Parent* yang menggunakan orang tua dari seluruh populasi, namun BRKGA *Multiple-Parent* ini lebih baik dalam menghasilkan solusi dengan biaya yang lebih minimum.

3.3 Perbandingan BRKGA *Multiple-Parent* dan Heuristik

Permasalahan optimasi pada perusahaan *soft drink* di kota Medan sebelumnya telah diselesaikan oleh Sembiring (2008) menggunakan metode heuristik dengan dua tahap, yaitu *Devide* dan *Conqueror*. Permasalahan CCVRPTW pada perusahaan *softdrink* perlu adanya perbaikan guna memenuhi pelayanan permintaan konsumen dengan tepat dan mengurangi biaya pendistribusian. Metode heuristik yang digunakan oleh Sembiring (2008) tersebut mampu melakukan penghematan biaya pendistribusian terhadap perusahaan. Rute yang berhasil dibuat untuk melakukan penghematan yaitu dengan jumlah sub rute 7 seperti pada Tabel 4 kolom a.

TABEL 4. BIAYA METODE HEURISTIK DAN BRKGA *MULTIPLE-PARENT*

Metode (a)	Biaya (Rp/minggu) (b)	GAP (%) (c)
Heuristik	236500	-
BRKGA *Multiple-Parent*	147695	37,54

TABEL 5. SOLUSI RUTE METODE BRKGA MULTIPLE-PARENT

Heuristik (a)				BRKGA *Multiple-Parent* (b)			
No	Rute	Waktu (Jam)	Kapasitas (Krat)	No	Rute	Waktu (Jam)	Kapasitas (Krat)
1	Depot-8-3-2-4-5-1-Depot	4,32	125	1	Depot-43-14-40-33-32-2-11—Depot	5,11	127
2	Depot-6-12-11-9-7-10-Depot	3,86	126	2	Depot-23-16-18-26-37-34-27-24-Depot	5,57	110
3	Depot-14-16-15-17-18-13-19-21-Depot	6,73	128	3	Depot-39-17-15-28-29-31-44-Depot	5,07	127
4	Depot-39-20-22-23-25-38-26-28-Depot	7,40	129	4	Depot-46-4-45-22-10-20-9-21-38-Depot	5,57	120
5	Depot-32-33-35-34-30-31-29-Depot	7,51	129	5	Depot-6-1-3-25-42-41-30-Depot	5,19	116
6	Depot-41-42-40-37-36-44-24-Depot	8,26	130	6	Depot-36-12-13-35-Depot	3,86	118
7	Depot-27-43-45-Depot	2,72	41	7	Depot-5-8-7-19-Depot	3,72	94

Pada penelitian ini dirancang sebuah program algoritma BRKGA *Mutiple-Parent* untuk permasalahan CCVRPTW dan dievaluasi menggunakan kasus CCVRPTW yang diteliti oleh Sembiring (2008). Hasil yang ditunjukkan dari perancangan program BRKGA *Mutiple-Parent* ternyata mampu menghasilkan solusi dengan biaya yang lebih rendah. Biaya yang dihasilkan dari metode heuristik dan BRKGA *Mutiple-Parent* dapat dilihat pada tabel 4. Hasil biaya solusi di Tabel

4 kolom b menunjukkan bahwa solusi yang diperoleh dengan BRKGA *Mutiple-Parent* mampu menurunkan biaya pendistribusian sebesar Rp. 88.805. Hasil solusi rute yang dihasilkan BRKGA *Multiple-Parent* yaitu 7 sub rute pada Tabel 5 kolom b. Manfaat utama dari penerapan BRKGA *Mutiple-Parent* pada kasus ini dapat meningkatkan kualitas pelayanan yaitu tepenuhinya permintaan konsumen dan tanpa melewati batas waktu kerja selama 8 jam dengan biaya yang minimal karena dari hasil eksperimen BRKGA *Mutiple-Parent* memiliki solusi yang lebih minimal.

4. PENUTUP

Pada penelitian ini telah dihasilkan rancangan program algoritma BRKGA *Multiple-Parent* yang efisien untuk menyelesaikan masalah optimisasi pendistribusian *soft drink* di kota medan. BRKGA telah berhasil menemukan satu set rute untuk mengurangi biaya pendistribusian dalam memenuhi permintan *outlet-outlet* yang tersebar. Pembentukan set rute tersebut dengan memperhatikan waktu kerja dan kapasitas kendaraan yang digunakan, dimana hal tersebut menjadi kendala dalam CCVRPTW perusahaan *softdrink.* Tidak hanya dapat memberikan solusi lebih baik dari metode heuristik, hasil rancangan program BRKGA *Multiple-Parent* dapat memperbaiki hasil dari BRKGA standar. BRKGA *Multiple-Parent* memberikan hasil solusi 3,52% lebih baik dari BRKGA standar. Program BRKGA *Multiple-Parent* yang dirancang mudah untuk diterapkan diberbagai permasalahan CCVRPTW dengan karakteristik yang sama. Demikian pula untuk model yang telah dibuat dapat diadaptasi untuk permasalahan pedistibusian lainnya dengan sedikit perubahan dalam kendala atau fungsi tujuannya.

Penelitian ini memiliki beberapa kelemahan, diantaranya permintaan yang bersifat deterministik sehingga untuk kasus yang probabilistik disarankan untuk diteliti lebih lanjut. Selain itu, diharapkan akan ada penelitian lebih lanjut dengan menggunakan kendaraan tidak hanya satu jenis melainkan lebih.

DAFTAR PUSTAKA

Al'Aziz, M. R., Utomo, B., & Nurhadi, K. (2013). Analisis Sistem Pengangkutan Sampah Kota Surakarta dengan Metode Penyelesaian Vehicle Routing Problem (VRP). *Matriks Teknik Sipil*, *1*(1).

Amri, M., Rahman, A., & Yuniarti, R. (2014). Penyelesaian Vehicle Routing Problem dengan Menggunakan Metode Nearest Neighbor (Studi Kasus: MTP Nganjuk Distributor PT. Coca Cola). *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Sistem Industri*, *2*(1), p36–45.

Arvianto, A., Setiawan, A. H., & Saptadi, S. (2014). Model Vehicle Routing Problem dengan Karakteristik Rute Majemuk, Multiple Time Windows, Multiple Products dan Heterogeneous Fleet untuk Depot Tunggal. *Jurnal Teknik Industri*, *16*(2), 83–94.

Awansari, S. A., & Abusini, S. (2013). Implementasi Model Capacitated Vehicle Routing Problem Pada Pengiriman Pupuk Urea Bersubsidi. *Jurnal Mahasiswa Matematika*, *1*(5), pp–372.

Fontes, D. B. M. M., & Gonçalves, J. F. (2013). A Multi-Population Hybrid Biased Random Key Genetic Algorithm For Hop-Constrained Trees In Nonlinear Cost Flow Networks. *Optimization Letters*, *7*(6), 1303–1324.

Gonçalves, J. F., & Resende, M. G. C. (2011a). A Biased Random-Key Genetic Algorithm For Job-Shop Scheduling. *AT&T Labs Research Technical Report*, *46*, 253–271.

Gonçalves, J. F., & Resende, M. G. C. (2011b). 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. (2011c). Biased Random-Key Genetic Algorithms For Combinatorial Optimization. *Journal of Heuristics*, *17*(5), 487–525.

Gonçalves, J. F., & Resende, M. G. C. (2012). A Parallel Multi-Population Biased Random-Key Genetic Algorithm For A Container Loading Problem. *Computers & Operations Research*, *39*(2), 179–190.

Gonçalves, J. F., & Resende, M. G. C. (2015). A Biased Random-Key Genetic Algorithm For The Unequal Area Facility Layout Problem. *European Journal of Operational Research*, *246*(1), 86–107.

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).

Harun, I. A., Mahmudy, W. F., & Yudistira, N. (2014). Implementasi Evolution Strategies untuk Penyelesaian Vehicle Routing Problem With Time Windows Pada Distribusi Minuman Soda XYZ'. *DORO: Repository Jurnal Mahasiswa PTIIK Universitas Brawijaya*, *4*(1).

Lucena, M. L., Andrade, C. E., Resende, M. G. C., & Miyazawa, F. K. (2014). Some Extensions Of Biased Random-Key Genetic Algorithms. In *Simposio Brasileiro de Pesquisa Operacional XLVI*.

Nugraha, D. C. A., & Mahmudy, W. F. (2015). Optimasi Vehicle Routing Problem With Time Windows Pada Distribusi Katering Menggunakan Algoritma Genetika. *SESINDO 2015*.

Nurhayati, S. (2013). Perbandingan Metode Branch And Bound dengan Metode Clarke And Wright Savings untuk Penyelesaian Masalah Distribusi Aqua Galon Di PT. Tirta Investama Yogyakarta. UNY.

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.

Sari, I. N., & Widodo, A. (2014). Penentuan Rute yang Optimal Pada Distribusi Kacang Menggunakan Ant Colony System (Studi Kasus di PT Qlauworks Indonesia). *Jurnal Mahasiswa Matematika*, *2*(4), pp–271.

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).