

# Penyelesaian CCVRPTW Menggunakan Biased Random Key Genetic Algorithm-Populasi Degradasi

Listy Avri Christiana<sup>1</sup>, Hari Prasetyo<sup>1\*</sup>

**Abstract.** *The article presents the Biased Random Key Genetic Algorithm-Population Degradation (BRKGA-PD) design for completing Capacitated Closed Vehicle Routing Problem with Time Windows (CCVRPTW) on soft drink distributions that have been studied by Sembiring (2008). The goal is to determine some closed routes in meeting consumer demand with time limits and limit the capacity of vehicles used, so the total cost of distribution is minimal. The proposed algorithm adopts the extinction of population size. BRKGA-PD is coded using Matlab programming with the best parameter setting. The resulting solution is a subroute with a minimum of distribution fee. This algorithm is compared with two other methods, namely BRKGA general and heuristic methods. The results of this study can be concluded that the BRKGA-PD method is able to improve the general BRKGA because with a time difference that is not significant can provide cost savings of Rp. 6.857,- and BRKGA-PD is better than heuristic method because it can save more cost Rp. 87.000,-.*

**Keywords.** *BRKGA, CCVRPTW, population degradation, minimum cost.*

**Abstrak.** *Artikel menyajikan rancangan Biased Random Key Genetic Algorithm-Populasi Degradasi (BRKGA-PD) untuk menyelesaikan Capacitated Closed Vehicle Routing Problem with Time Windows (CCVRPTW) pada pendistribusian soft drink yang telah diteliti oleh Sembiring (2008). Tujuannya adalah menentukan beberapa rute tertutup dalam memenuhi permintaan konsumen dengan batasan waktu dan batasan kapasitas kendaraan yang digunakan, sehingga total biaya pendistribusian minimal. Algoritma yang diusulkan mengadopsi kepunahan ukuran populasi. BRKGA-PD dikodekan menggunakan pemrograman Matlab dengan setting parameter terbaik. Solusi yang dihasilkan berupa subrute dengan minimum biaya pendistribusian. Algoritma ini dibandingkan dengan dua metode lain, yaitu BRKGA umum dan metode heuristik. Hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa metode BRKGA-PD mampu memperbaiki BRKGA umum karena dengan perbedaan waktu yang tidak signifikan mampu memberikan penghematan biaya Rp. 6.857,- dan BRKGA-PD lebih baik dibandingkan dengan metode heuristik karena dapat lebih menghemat biaya Rp. 87.000,-.*

**Kata Kunci.** *BRKGA, CCVRPTW, populasi degradasi, biaya minimum.*

## I. PENDAHULUAN

*Vehicle routing problem (VRP)* menjadi permasalahan optimasi yang terdiri cara menentukan rute pendistribusian yang efektif dan efisien. Proses pendistribusian umumnya melibatkan depot tunggal untuk melayani sejumlah *outlet* atau konsumen yang tersebar

pada PRV. Tujuannya adalah menentukan urutan pengiriman (rute) agar semua permintaan konsumen dapat terpenuhi dan total jarak yang ditempuh oleh kendaraan tersebut minimal sehingga biayanya minimal. Permasalahan VRP banyak dijumpai di berbagai hal misalnya pendistribusian produk, pengangkutan sampah, pengantaran koran, dan sebagainya. Tidak semua perusahaan dalam pendistribusian produk, pengangkutan sampah, dan pengantaran koran menggunakan jenis kendaraan yang sama misalnya truk, motor, kapal bahkan pesawat terbang. Selain jenis kendaraan (*vehicle*), tentunya terdapat berbagai hal lain yang menjadi konstrain seperti biaya

---

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jalan Ahmad Yani, Pabelan – Sukoharjo (57162)

\* email: [hari.prasetyo@ums.ac.id](mailto:hari.prasetyo@ums.ac.id)

perjalanan, jangka waktu, dan sebagainya sehingga perlu untuk dipertimbangkan dalam penentuan rutenya (Hendrawan, 2007). Hal ini menunjukkan bahwa VRP merupakan masalah yang sangat penting untuk diselesaikan.

Pendistribusian yang dilakukan menggunakan kendaraan milik perusahaan sendiri yang mengharuskan pendistribusian berawal dan berakhir di depot dinamakan rutenya bersifat tertutup yang disebut dengan *close vehicle routing problem* (CVRP). Beberapa kasus VRP pada penyelesaiannya perlu mempertimbangkan kapasitas yang menjadi kendala dimana proses pendistribusiannya setiap kendaraan yang mengangkut produk tidak boleh melampaui batas dari kapasitas kendaraan yang digunakan untuk mengirimkan produknya ke beberapa *outlet* (Toth & Vigo, 2002). VRP variasi ini dinamakan dengan *capacitated vehicle routing problem* (CVRP). Contoh implementasi CVRP seperti yang terdapat pada pengiriman pupuk urea bersubsidi di daerah Sumenep yang telah diselesaikan menggunakan bantuan *software* LINGO versi 11.0 dengan tipe penyelesaian *Branch and bound* (Awansari & Abusini, 2013). Penelitian tersebut dengan algoritma *branch and bound* membutuhkan waktu yang panjang untuk menyelesaikannya, sehingga kurang baik jika direkomendasikan apalagi untuk jumlah *outlet* konsumen yang semakin banyak. Penelitian lain telah dilakukan Baskoro (2011) yaitu menyelesaikan CVRP dengan algoritma *tabu search* di salah satu distributor LPG.

Penyelesaian kasus VRP selain adanya kendala kapasitas terdapat pula kendala yang mengharuskan setiap konsumen dilayani oleh kendaraan dalam *time frame* tertentu. *Time frame* merupakan batasan waktu yang diberikan perusahaan ataupun konsumen, sehingga kendaraan tidak boleh melampaui kendala waktu yang ditentukan dalam pendistribusian. VRP variasi ini disebut dengan *vehicle routing problem with time*

*windows* (VRPTW). Penelitian berkaitan dengan VRPTW seperti terdapat pada pendistribusian beras bersubsidi yang diselesaikan dengan Algoritma Genetika (Putri, dkk., 2014). Penelitian juga pernah dilakukan oleh Sundarningsih, dkk. (2015) bahwa algoritma genetika dapat diterapkan dalam pencarian rute optimal pada pendistribusian air minum dengan kendala *time windows*. Pada penelitian tersebut algoritma yang diterapkan sudah cukup baik, namun implementasinya dirasa kurang karna jumlah pelanggan yang sedikit dan data konsumen kurang bervariasi.

Pengimplementasian VRP lainnya terdapat variasi lain yang dinamakan *capacitated closed vehicle routing problem with time windows* (CCVRPTW). Salah satunya terdapat pada pendistribusian sayuran dataran tinggi yang bertujuan untuk menentukan rute kendaraan optimal dalam mendistribusikan sayuran kepada konsumen yang tersebar secara geografis dengan keberangkatan dan kembali pada pusat fasilitas (Slamet, dkk., 2014). Pada pendistribusian ini seharusnya perlu memperhatikan faktor kemacetan dan sayuran sampai ke konsumen dengan tepat waktu agar kualitas sayuran tetap terjaga.

VRP merupakan sebuah permasalahan *non-deterministic polynomial-time hard* (NP-Hard) yang berarti masalah pemrograman integer dengan ukuran dari solusi komputasi yang dihasilkan mengalami peningkatan secara penuh ketika jumlah dari *node* meningkat (Garey & Johnson, 1979). *Node* tersebut merepresentasikan konsumen atau *outlet*. Permasalahan VRP ini akan semakin sulit diselesaikan ketika ruang lingkup dari masalah tersebut semakin kompleks.

Permasalahan VRP tidak dapat diselesaikan dengan metode analitik, dikarenakan metode ini akan sulit untuk diturunkan/ dideferensialkan. Selain itu pemilihan metode eksak seperti *branch and bound* serta *branch and cut* dapat menghasilkan solusi yang mendekati optimal akan tetapi dibutuhkan waktu yang lama

untuk menyelesaikan permasalahan VRP (Asteria, 2008). Sementara itu, metode heuristik memberikan suatu cara untuk menyelesaikan permasalahan VRP dengan waktu penyelesaiannya yang lebih cepat dibandingkan dengan solusi eksak namun solusinya tidak optimal (Hendrawan, 2007). Contoh dari metode heuristik antara lain *saving based* dan *matching based* (Ballou & Agarwal, 1998). Hal tersebut tentunya dalam pemilihan solusi (metode atau algoritma) yang tepat untuk memecahkan permasalahan VRP harus mempertimbangkan kualitas dari solusi yang dihasilkan (Goncalves & Resende, 2011). Maka dari itu untuk menyelesaikan permasalahan *NP-Hard* seperti CCVRPTW, peneliti cenderung menggunakan metode metaheuristik untuk mendapatkan solusi yang mendekati optimal dengan waktu yang relatif cepat (Grasas, dkk., 2014).

Pada penelitian ini akan dirancang *biased random key genetic algorithm* (BRKGA) yang efisien dengan perlakuan modifikasi populasi degradasi untuk menyelesaikan *capacitated closed vehicle routing problem with time windows* (CCVRPTW) pada pendistribusian *soft drink* yang telah diteliti oleh Sembiring (2008). Adapun tujuan dalam penelitian ini yaitu membuat model terkait dengan CCVRPTW, merancang BRKGA yang efisien dengan perlakuan modifikasi populasi terdegradasi menggunakan bahasa pemrograman *Matlab*, mengevaluasi hasil performansi dari pengaplikasian *biased random key genetic algorithm* (BRKGA) dengan perlakuan modifikasi populasi degradasi untuk menyelesaikan studi kasus tugas akhir Sembiring (2008) dan membandingkan dengan metode heuristik.

## II. METODOLOGI

Pendistribusian *soft drink* merupakan salah satu permasalahan CCVRPTW yang telah diselesaikan oleh Sembiring (2008) dalam

tugas akhirnya menggunakan metode heuristik. Berbeda dengan VRP pada umumnya, pendistribusian *soft drink* ini setiap kendaraan yang mengangkut permintaan konsumen memiliki batasan kapasitas dalam satuan jumlah krat yang tidak boleh dilampaui pada proses pendistribusiannya. Selain itu terdapat batasan waktu dalam melayani konsumen yang merupakan batas jam kerja perusahaan. Konsumen terdiri dari 45 *outlet* meliputi kantin (lembaga pendidikan & usaha), koperasi, minimarket, swalayan dan rumah makan di sekitar Kota Medan. Proses pendistribusian *soft drink* ini menggunakan kendaraan milik perusahaan sendiri yang mengharuskan pendistribusian dilakukan berawal dan berakhir di depot sehingga rutenya bersifat tertutup (*closed*). Jadi permasalahannya bertujuan untuk menentukan beberapa rute tertutup dalam memenuhi permintaan konsumen dengan batasan waktu dan batasan kapasitas kendaraan yang digunakan sehingga total biaya pendistribusian tersebut minimal.

Kasus CCVRPTW ini secara matematis dapat dimodelkan ke dalam permasalahan optimasi seperti berikut:

Fungsi tujuan:

Meminimalkan biaya pendistribusian

$$\text{Min } Z = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N (C_{ij} \sum_{k=1}^k X_{ijk}) \quad \dots (1)$$

$X_{ijk}$  : apakah kendaraan k melewati rute ij

$C_{ij}$  : ongkos untuk melewati rute ij

$N$  : jumlah outlet

$k$  : jumlah kendaraan

Fungsi Kendala:

Kendala kapasitas kendaraan

$$\sum_{i=1}^N (d_i \sum_{j=0}^N X_{ijk}) \leq W_k \quad \dots (2)$$

$d_i$  : permintaan konsumen di titik i

Kendala waktu

Pada kasus CCVRPTW dalam penyelesaiannya diperlukan *input* data-data sebagai berikut:

1. Lokasi masing-masing *outlet* yang akan dilayani berupa jarak yang diperoleh dari aplikasi *Google maps*.
2. Permintaan rata-rata mingguan konsumen untuk setiap *outlet*-nya.
3. Waktu perjalanan antara setiap *outlet* ke depot dan waktu antar *outlet*.
4. Kapasitas kendaraan yang digunakan yaitu 130 krat.
5. Batasan waktu pendistribusian yaitu 8 jam kerja.

Pada penelitian ini didasari beberapa asumsi untuk menyelesaikan permasalahan CCVRPTW pendistribusian *soft drink*:

1. Permintaan konsumen telah diketahui sebelumnya (konstan).
2. Model transportasi yang digunakan adalah model transportasi tunggal artinya terdapat satu jenis kendaraan yang sama.
3. Waktu setup kendaraan 15 menit.
4. Waktu berhenti rata-rata di setiap *outlet* dinamakan waktu pelayanan yaitu 19 menit yang mencakup penempatan atau parkir kendaraan, proses menurunkan krat permintaan dan mengambil krat yang kosong untuk dimuat kembali ke dalam kendaraan.

Pemilihan metode solusi atau algoritma untuk menyelesaikan masalah optimasi seperti CCVRPTW ini perlu mempertimbangkan kualitas solusi yang dihasilkan. Algoritma atau metode solusi yang dirancang untuk menyelesaikan CCVRPTW pada pendistribusian *softdrink* menggunakan metode metaheuristik yang didasarkan pada *Genetic Algorithm* (GA). GA merupakan algoritma yang efektif dan mudah dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan optimasi kombinatorial dengan teknik pencarian dan teknik optimasi yang berdasarkan pada evolusi alam (Grasas, dkk., 2014). Algoritma ini memberikan solusi optimal atau mendekati optimal dalam menyelesaikan permasalahan optimasi kombinatorial. Setiap solusinya diperoleh

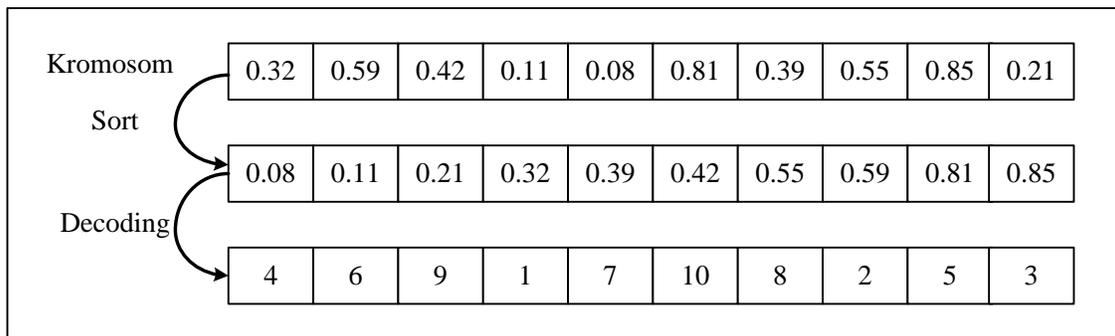
dari *decoding* kromosom masing-masing individu. Kromosom terkait *fitness value* berkorelasi dengan fungsi tujuannya. *Value fitness* ini mampu mengukur kualitas solusi yang dihasilkan. Kromosom setiap individu diwakili oleh  $n$  *random keys* (gen). GA dengan adanya *random keys* dapat disebut *Random Key Genetic Algorithm* (RKGA) yang pertama kalinya diperkenalkan oleh Bean (1994) untuk memecahkan masalah *sequencing*. Goncalves dan Resende (2011) menyebutkan bahwa salah satu varian dari RKGA adalah *Biased Random Key Genetic Algorithm* (BRKGA) yang mampu memberikan fleksibilitas dan kinerjanya dimana dalam penyelesaiannya dilakukan pengkodean dari setiap jenis permasalahannya.

Pada BRKGA terdapat populasi awal yang terdiri dari  $p$  individu yaitu  $p$  *random-keys vectors*. *Random-keys* terdiri dari bilangan riil secara acak dengan interval antara 0 – 1. Populasi merupakan sekumpulan solusi dari permasalahan yang akan diselesaikan dimana terdiri dari sekumpulan individu dan setiap individu (kromosom) didalamnya terdapat gen yang berisi bilangan acak tersebut. Proses ini dalam BRKGA dinamakan pembentukan populasi atau inisialisasi populasi. Kromosom yang terbentuk dengan menerapkan metode *sorting* dilakukan penyortiran terhadap bilangan acak di dalamnya untuk diurutkan dari yang terkecil hingga terbesar. Bilangan acak di dalam gen tersebut lalu diterjemahkan ke dalam solusi setiap jenis permasalahannya. Pada penelitian ini untuk menyelesaikan permasalahan CCVRPTW pendistribusian *soft drink*, dengan menerapkan algoritma ini bilangan acak di dalam gen yang merepresentasikan dari *outlet* yang harus dilayani. Gambar 1 menunjukkan contoh sebuah kromosom yang terdiri dari 10 gen untuk mengilustrasikan dari penjelasan di atas.

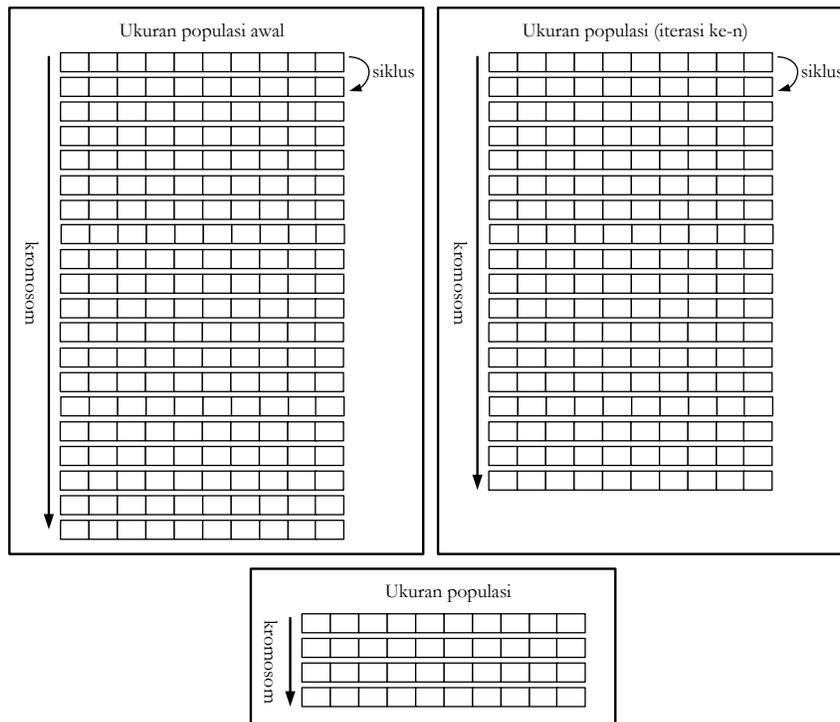
BRKGA pada umumnya, ukuran populasi dibuat sama dalam artian konstan hingga generasi terakhir. Pada penelitian ini menerapkan mekanisme yang berbeda dalam memecahkan permasalahan CCVRPTW pendistribusian *soft drink*. Peneliti bukannya menjaga ukuran populasi konstan tetapi mengadopsi kepunahan populasi (populasi degradasi). Penyelesaiannya menggunakan ukuran populasi yang besar untuk awalnya, kemudian berkurang dalam setiap  $n$  siklus selama dalam iterasi hingga mencapai titik

minimum ukuran populasi yang ditentukan. Pengurangan ukuran populasi menyebabkan konsentrasi yang terbaik dalam pencarian solusi baru. Mekanisme penurunan ukuran populasi dapat dilihat pada Gambar 2.

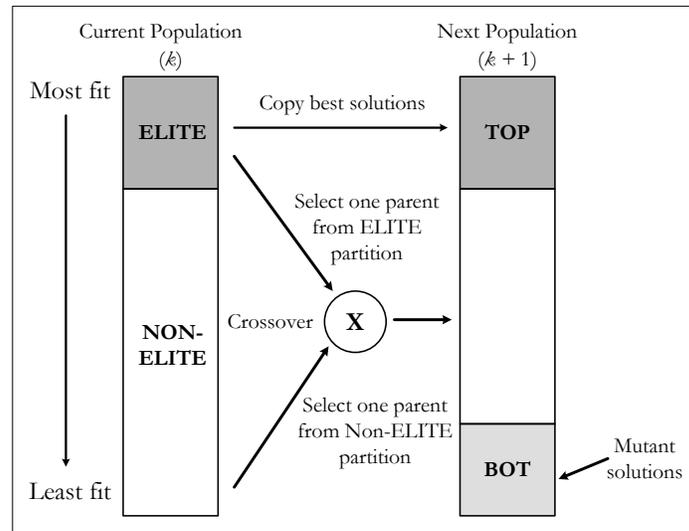
Seperti yang digambarkan diatas menunjukkan mekanisme populasi degradasi yang dicontohkan terdapat suatu populasi dengan ukuran populasi awal 20 diwakili oleh kromosom. Ukuran populasi akan mengalami penurunan setiap 2 siklus selama iterasi yang ditentukan misalnya 30 iterasi.



Gambar 1. Ilustrasi inialisasi populasi



Gambar 2. Mekanisme perubahan ukuran populasi (populasi degradasi)



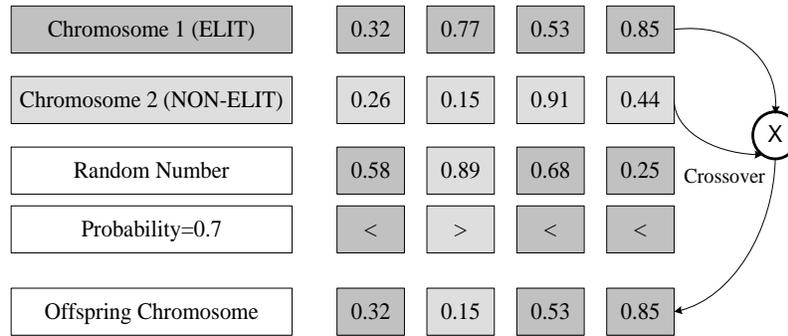
Gambar 3. Dinamika evolusi dari generasi

Pada 2 siklus pertama ukuran populasi mengalami penurunan menjadi 18 kromosom karena degradasi populasi yang ditentukan adalah 2 kromosom sehingga berkurang 2 kromosom. Begitu seterusnya siklus ini berkelanjutan hingga ukuran populasi akan menurun mencapai ukuran populasi minimum yang ditentukan. Ukuran populasi minimum pada gambar tersebut 4 kromosom yang merupakan ukuran populasi akhir untuk mencari solusinya. Berhentinya kondisi ini merupakan telah tercapainya nilai yang diinginkan dalam menghasilkan generasi.

Pada BRKGA-PD prosesnya populasi dikategorikan menjadi dua kelompok yaitu kelompok individu ELIT dengan  $pe$  individu terbaik (sekitar 10% – 20%) dan kelompok individu NON-ELITE dengan  $p - pe$  individu tersisa (dengan  $pe < p - pe$ ). Populasi tersebut selanjutnya berevolusi untuk mendapatkan generasi berikutnya seperti terlihat dalam Gambar 3.

Pada gambar di atas kelompok ELIT dan NON-ELITE diperoleh setelah semua individu diurutkan berdasarkan *fitness* kemudian disesuaikan penempatannya. Nilai *fitness* masing-masing individu dihasilkan dari pengkodean. Kelompok ELIT yang merupakan individu terbaik pada generasi  $k$  disalin seluruhnya untuk menjadi generasi

berikutnya  $k+1$  ke bagian TOP (bagian kanan pada Gambar 3.). Sejumlah  $pm$  individu (mutasi) dihasilkan dengan cara yang sama secara acak seperti individu dari populasi awal ditempatkan di BOT (bagian kanan bawah pada Gambar 3). Proses selanjutnya untuk melengkapi generasi  $k+1$  dilakukan dengan menyilangkan/menggabungkan individu dari kelompok ELIT dan NON-ELIT yang disebut dengan *crossover* untuk memperoleh generasi berikutnya seperti yang terlihat di Gambar 4. *Crossover* ini merupakan proses yang mensimulasikan proses reproduksi antara dua individu (kromosom) untuk menghasilkan individu baru yang disebut *offspring*. Pada *crossover*, probabilitas individu ELIT yang dipilih secara acak ( $1/pe$ ) lebih besar dibandingkan dengan individu NON-ELIT ( $1/(p - pe)$ ). Hal tersebut dimaksudkan agar generasi berikutnya memiliki kemungkinan yang lebih tinggi untuk memiliki karakteristik yang sama dengan individu ELIT. Seorang peneliti yang berasal dari Inggris menyatakan bahwa individu-individu yang memiliki karakteristik bagus (individu ELIT) akan mempunyai kemungkinan untuk bertahan hidup lebih besar sehingga mampu bereproduksi dan menurunkan karakteristik yang sama kepada keturunannya. Sebaliknya individu-individu



Gambar 4. Crossover Process

Tabel 1. Parameter BRKGA (Goncalves & Resende, 2011)

Parameter	Description	Recommended value
$P$	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	$0.10p \leq p_e \leq 0.25p$
$p_m$	size of mutant population	$0.10p \leq p_m \leq 0.30p$
$p_e$	elite allele inheritance probability	$0.5 \leq p_e \leq 0.8$

yang memiliki karakteristik kurang bagus secara perlahan akan tersingkir dari populasi. Teori ini dinamakan “*Theory of Natural Selection*” oleh Charles Darwin pada tahun 1859 (Darwin, 2004).

Gambar 4 menunjukkan proses *crossover* secara acak dengan dua kromosom masing-masing terdiri dari 4 gen. Proses *crossover* dilakukan berdasar pada *uniform crossover parameter* (Spears & De Jong, 1991) yaitu setiap gen yang dipilih dari salah satu orang tua (ELIT) dengan probabilitas tertentu yang didefinisikan oleh pengguna ( $p_e > 0,5$ ). Probabilitas pada Gambar 4 dimisalkan 0,7 yang berarti bahwa keturunan akan mewarisi gen orang tua ELIT 0,7 dan orang tua lainnya 0,3. Penentuan *random number* kemudian dilakukan, jika nilai acak yang muncul kurang dari atau sama dengan 0,7 maka akan mewarisi gen orang tua ELIT selebihnya akan mewarisi gen orang tua NON-ELIT. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa keturunan mewarisi gen orang tua ELIT adalah gen pertama, ketiga dan keempat. Ketika seluruh populasi sudah terpenuhi maka akan dilakukan pengulangan kelompok

baru untuk merangkai generasi berikutnya hingga menghasilkan solusi yang optimal.

Pada BRKGA umumnya terdapat sebuah parameter yang dikontrol meliputi jumlah kromosom/individu dalam populasi ( $p$ ), jumlah solusi ELIT ( $p_e$ ), solusi mutan ( $p_m$ ) dan probabilitas keturunan gen ELIT ( $ep$ ). Parameter ini berlaku dalam perancangan algoritma BRKGA-PD. Tabel 1 menunjukkan parameter yang direkomendasi (Goncalves & Resende, 2011).

Pada penelitian ini maka dirancanglah arsitektur algoritma sebagai dasar untuk pembuatan program. Program dibuat dengan menggunakan *software* Matlab berdasarkan rancangan model dan arsitektur algoritma yang nantinya menghasilkan sebuah *coding* BRKGA-PD. Program yang dibuat dengan parameter yang telah ditentukan kemudian dilakukan pengujian (simulasi) untuk mengetahui hasilnya. Pengujian program dilakukan berulang dengan sejumlah iterasi yang ditentukan agar mendapatkan *setting* parameter terbaik. *Setting* parameter terbaik inilah yang nantinya diterapkan dalam studi kasus agar diperoleh hasil yang optimal kemudian dilakukan analisis untuk

dibandingkan dengan metode heuristik yang terdapat dalam penelitian Sembiring (2008).

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Pengaturan Parameter BRKGA-Populasi Degradasi

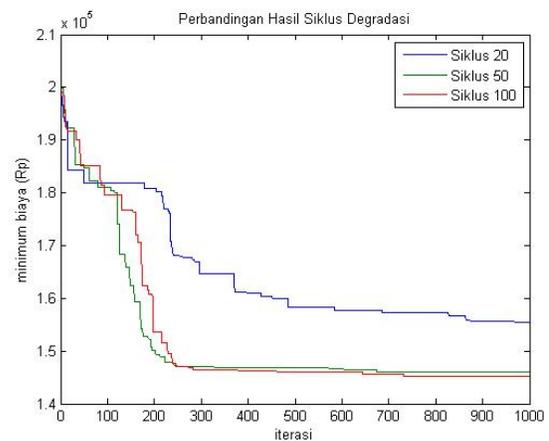
BRKGA-PD dikodekan menggunakan *Matlab* versi 7.11.0.584 (R2010b) 64-bit (Win64) yang dijalankan pada *notebook* dengan spesifikasi Intel® Core™ i5-2450M @ 2.50GHz dan memiliki kapasitas RAM sebesar 4GB. Pada perancangan BRKGA-PD sebelum mendapatkan *setting parameter* terbaik terlebih dahulu menentukan siklus dalam iterasi untuk menurunkan ukuran populasi. Penentuan setiap berapa siklus akan mengalami penurunan ukuran populasi dilakukan 50 kali percobaan untuk setiap variasi siklus yang ditentukan. Pada percobaan terdapat 4 variasi siklus yaitu 20, 50, 100, dan 120. Hasil percobaan ditabelkan pada Tabel 2 yang merupakan hasil minimum biaya kemudian dirata-rata dari setiap variasi siklus yang dihasilkan.

Tabel 2. Hasil siklus populasi degradasi

Siklus	Min biaya rata-rata (Rp)	$\sigma$
20	150618,3551	3253,364
50	145733,9973	2193,299
100	145763,5404	2636,525

Terlihat dalam Tabel 2 menunjukkan hasil minimum biaya yang terkecil dengan standar deviasi terkecil di siklus 50. Penentuan siklusnya dengan bedasar pada ilmu statistik, dilihat dari nilai minimum biaya rata-rata yang terkecil dan standar deviasi yang terkecil. Standar deviasi merupakan selisih antar nilai yang satu dengan yang lainnya yang terdapat dalam percobaan pengulangan. Supaya terlihat jelas perbandingan dari hasil setiap siklusnya dapat digambarkan ke dalam sebuah grafik. Gambar 5 memperlihatkan hasil dari setiap siklusnya yang menunjukkan bahwa hasilnya akan menuju konvergen pada

suatu iterasi. Konvergen yang artinya sebuah nilai menuju titik yang memiliki nilai tidak jauh berbeda dan mampu bertahan dalam beberap iterasi. Pada siklus 20 nilai minimum biaya menuju konvergen di iterasi ke-865, siklus 50 lebih cepat menuju konvergen dibandingkan dengan kedua variasi siklus yang lainnya di iterasi ke-223, dan siklus 100 menuju konvergen di iterasi ke-266. Penentuan siklusnya sehingga terpilihah setiap 50 siklus ukuran populasi akan mengalami degradasi populasi.



Gambar 5. Perbandingan hasil setiap siklus

Perubahan ukuran populasi seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 3, dimana siklus ini *continue* hingga kondisi berhenti. Berhentinya kondisi tersebut ketika telah mencapai nilai yang diinginkan yaitu 50 pada suatu generasi yang menunjukkan ukuran populasinya minimum.

Tabel 3. Perubahan ukuran populasi dalam BRKGA-PD

Ukuran Populasi	Jumlah Generasi	Generasi ke-
400	100	1-50
350	100	51-100
300	100	101-150
250	100	151-200
200	100	201-250
150	100	251-300
100	100	301-350
50	300	351-1000

Tabel 4. Hasil rata-rata minimum biaya pada *setting* parameter

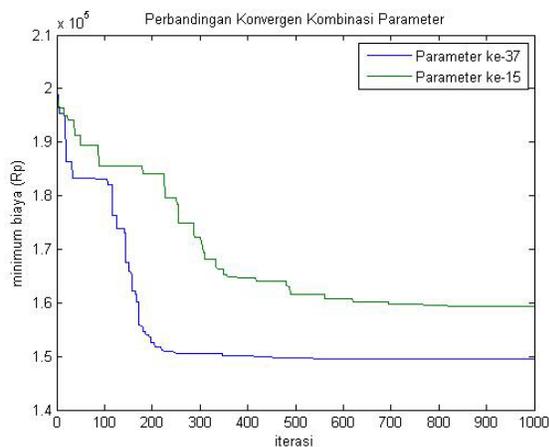
Kombinasi ke-	Parameter				Min Biaya Rata-rata (Rp)	$\sigma$
	$P$	$p_e$	$p_m$	$\rho_e$		
1	400	0,1	0,1	0,5	147310,174	2991,029
2	400	0,1	0,2	0,5	145420,152	3378,337
3	400	0,1	0,3	0,5	147312,400	2747,308
4	400	0,1	0,1	0,6	146355,230	2581,038
5	400	0,1	0,2	0,6	146580,808	3146,636
6	400	0,1	0,3	0,6	146871,660	2840,618
7	400	0,1	0,1	0,7	146325,493	2757,786
8	400	0,1	0,2	0,7	146786,940	2898,242
9	400	0,1	0,3	0,7	147345,405	2570,798
10	400	0,1	0,1	0,8	146368,847	2590,402
11	400	0,1	0,2	0,8	146431,522	2476,401
12	400	0,1	0,3	0,8	147312,400	2747,308
13	400	0,15	0,1	0,5	145447,118	1999,962
14	400	0,15	0,2	0,5	145882,918	2548,167
15	400	0,15	0,3	0,5	148958,507	3662,948
16	400	0,15	0,1	0,6	145918,283	2299,643
17	400	0,15	0,2	0,6	146407,394	2858,129
18	400	0,15	0,3	0,6	148383,139	2671,501
19	400	0,15	0,1	0,7	145436,750	2466,407
20	400	0,15	0,2	0,7	146032,281	2577,471
21	400	0,15	0,3	0,7	148422,326	3378,463
22	400	0,15	0,1	0,8	145640,111	2638,138
23	400	0,15	0,2	0,8	145812,579	2577,576
24	400	0,15	0,3	0,8	147389,877	3422,784
25	400	0,2	0,1	0,5	145293,703	2659,427
26	400	0,2	0,2	0,5	145838,485	2875,425
27	400	0,2	0,3	0,5	153376,327	6227,809
28	400	0,2	0,1	0,6	145525,942	2672,103
29	400	0,2	0,2	0,6	146110,828	2943,725
30	400	0,2	0,3	0,6	152253,922	6306,843
31	400	0,2	0,1	0,7	144978,074	2067,171
32	400	0,2	0,2	0,7	146147,225	2927,581
33	400	0,2	0,3	0,7	153829,375	5918,636
34	400	0,2	0,1	0,8	145312,929	2811,007
35	400	0,2	0,2	0,8	146430,738	2762,098
36	400	0,2	0,3	0,8	152472,735	6352,726
37	400	0,25	0,1	0,5	144463,736	2609,793
38	400	0,25	0,2	0,5	148592,998	3476,601
39	400	0,25	0,3	0,5	163844,811	10441,173
40	400	0,25	0,1	0,6	145044,112	2484,834
41	400	0,25	0,2	0,6	149112,075	4822,782
42	400	0,25	0,3	0,6	164989,022	9438,703
43	400	0,25	0,1	0,7	145151,918	1981,698
44	400	0,25	0,2	0,7	148356,804	3451,702
45	400	0,25	0,3	0,7	164183,861	10773,572
46	400	0,25	0,1	0,8	146035,845	2542,651
47	400	0,25	0,2	0,8	148323,349	3189,721
48	400	0,25	0,3	0,8	161540,565	10618,71

Pada BRKGA-PD setelah menentukan siklus untuk populasi degradasinya kemudian *setting* parameter yang dilakukan meliputi ukuran populasi ( $P$ ), persen elit ( $p_e$ ),

probabilitas ( $\rho_e$ ), dan persen mutasi ( $p_m$ ). Kombinasi parameter yang digunakan sebanyak 48 kombinasi. Setiap parameter diulang sebanyak 50 kali percobaan, ini

dilakukan karena solusi yang dihasilkan bervariasi berdasar pada sifatnya yang random sehingga didapatkan hasil rata-rata minimum biaya, seperti pada Tabel 4.

Berdasarkan hasil percobaan yang telah dilakukan, terlihat dalam Tabel 4 bahwa tidak terjadi perubahan hasil minimum biaya rata-rata yang signifikan. Pada Tabel 4 menunjukkan bahwa hasil minimum biaya rata-rata terkecil terdapat dalam kombinasi parameter ke-37. Selain itu berdasarkan percobaan tersebut untuk mengetahui lebih jelasnya hasil yang diperoleh dilakukan perbandingan 2 hasil parameter untuk melihat perbedaan dari hasilnya. Salah satu diambil secara acak terpilih pada kombinasi ke-21 untuk dibandingkan dengan kombinasi ke-37 yang disajikan ke dalam grafik Gambar 6.



Gambar 6. Grafik konvergen hasil BRKGA-PD

Gambar 6. menunjukkan kemampuan parameter menuju ke konvergen pada suatu iterasi. Pada kombinasi parameter ke-21 terlihat kemampuan menuju konvergen di iterasi ke-689, sedang kombinasi parameter ke-37 kemampuan menuju konvergen lebih cepat yang terletak di iterasi ke-230. *Setting parameter* terbaik sehingga didapatkan di kombinasi parameter ke-37 dengan ukuran populasi ( $P$ ) 400 yang kemudian setiap 50 siklus akan menurun dan hingga menjadi 50, persen elit ( $p_e$ ) 0,25, probabilitas ( $\rho_e$ ) 0,5, persen mutasi ( $p_m$ ) 0,1.

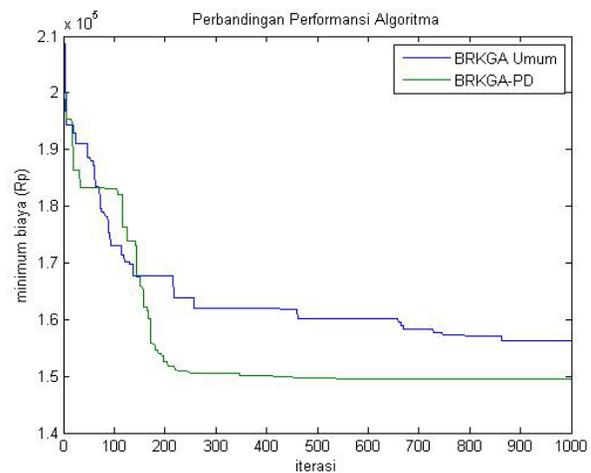
### Performansi Algoritma BRKGA-Populasi Degradasi dan BRKGA Umum

Pada penelitian ini untuk mengetahui hasil performansi dari algoritma BRKGA-PD yang telah dirancang dapat membandingkannya dengan algoritma BRKGA umum. Pada BRKGA umum dilakukan pengaturan parameter sama seperti BRKGA-PD hanya saja ukuran populasinya konstan yaitu 50. Hasil yang didapatkan dari modifikasi populasi degradasi pada algoritma BRKGA dengan perbedaan waktu tidak signifikan mampu memberikan penghematan biaya Rp. 6.857,- dari BRKGA umum. Tabel 5 menyajikan hasil minimum biaya dari algoritma BRKGA-PD dan BRKGA umum.

Tabel 5. Hasil minimum biaya dari algoritma

Algoritma	Biaya (Rp/minggu)
BRKGA Umum	156357
BRKGA-PD	149500

Perbandingan performansi dari algoritma BRKGA-PD dan BRKGA umum untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada grafik Gambar 4. Grafik tersebut menunjukkan bahwa hasil solusinya menuju konvergen pada suatu iterasi. BRKGA-PD terlihat lebih cepat menghasilkan solusi menuju konvergen yaitu pada iterasi ke-230 dengan biaya minimum Rp. 149.500,- dibandingkan dengan BRKGA umum.



Gambar 4. Grafik perbandingan performansi algoritma

Tabel 6. Hasil subrute dari metode BRKGA-PD dengan metode Heuristik

Subrute	Metode Heuristik	Metode BRKGA-PD
	Rute	Rute
1	D – 7 – 8 – 10 – 9 – 6 – 5 – 4 – D	D – 44 – 30 – 40 – 4 – 18 – 32 – 33 – 45 – 26 – D
2	D – 1 – 2 – 3 – 11 – 12 – 45 – 42 – 27 – D	D – 7 – 21 – 2 – 20 – 28 – 34 – D
3	D – 13 – 14 – 15 – 16 – 17 – 19 – 20 – D	D – 35 – 22 – 14 – 36 – 29 – 13 – D
4	D – 18 – 21 – 22 – 23 – 24 – 25 – 26 – 34 – 40 – D	D – 11 – 37 – 31 – 19 – D
5	D – 28 – 31 – 32 – 33 – 35 – 36 – 37 – D	D – 1 – 39 – 15 – 23 – 24 – 3 – 5 – 17 – D
6	D – 34 – 29 – 30 – 38 – 39 – 41 – 43 – 44 – D	D – 10 – 6 – 25 – 41 – 42 – 38 – 8 – 12 – D
7	D – 45 – D	D – 43 – 27 – 9 – D

**Perbandingan BRKGA-PD dengan Metode Heuristik**

Penyelesaian permasalahan CCVRPTW pada pendistribusian *softdrink* sebelumnya telah diteliti oleh Sembiring (2008) dengan metode heuristik. Berdasarkan metode tersebut dihasilkan minimum biaya sebesar Rp. 236.500,-. Algoritma BRKGA-PD mampu menghasilkan minimum biaya yang lebih kecil yaitu Rp. 149.500,- sehingga lebih menghemat Rp. 87.000,-. Selain minimum biaya yang dihasilkan juga terbentuk subrute dari kedua metode tersebut. Pada metode heuristik penyusunan subrute terbentuk melalui 2 tahapan yaitu *divide* (pecah) dan *conqueror* (pengembangan).

Tahap *divide* merupakan pembentukan sub-sub rute dalam artian pengelompokkan outlet kedalam beberapa subrute. Pembentukan subrute ini dilakukan secara manual berdasarkan jarak terdekat. Tahap *conqueror* merupakan tahap pengembangan subrute yang telah terbentuk ditambahkan dengan adanya batasan waktu dan kapasitas. Hasil tersebut kemudian disempurnakan dengan menggunakan *software* QUANT SYSTEM. Tabel 6 menampilkan subrute yang terbentuk dari BRKGA-PD dan metode heuristik.

Pada Tabel 6 terbentuk 7 subrute dengan permasalahan yang sama. Salah satu subrute adalah D – 7 – 8 – 10 – 9 – 6 – 5 – 4 – D. D menunjukkan depot sedangkan angka-angka 7 – 8 – 10 – 9 – 6 – 5 – 4 merupakan *outlet* yang harus dilayani dalam subrutennya.

**IV. SIMPULAN**

Pada penelitian ini telah dihasilkan rancangan BRKGA yang efisien dengan perlakuan modifikasi populasi degradasi untuk menyelesaikan permasalahan CCVRPTW pada pendistribusian *softdrink*. Rancangan BRKGA ini mampu membentuk satu set subrute dan mengurangi biaya dalam proses pendistribusiannya. BRKGA-PD telah berhasil menghasilkan solusi biaya yang lebih minimum dibandingkan dengan metode heuristik oleh Sembiring (2008). Tidak hanya mampu menghasilkan solusi yang lebih baik dari metode heuristik, BRKGA-PD dapat memperbaiki solusi yang dihasilkan dari BRKGA umum. Rancangan algoritma ini dapat diterapkan kedalam permasalahan lainnya yang memiliki karakteristik serupa.

Penerapan BRKGA-PD pada pendistribusian *softdrink* masih ada beberapa hal yang menjadi kelemahan. Pada penelitian ini masalah yang ditangani terkait dengan permasalahan deterministik, disarankan untuk kasus-kasus terkait dengan permasalahan probabilistik agar diteliti lebih lanjut. Selain BRKGA-PD masih banyak modifikasi yang dapat dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan lainnya tidak hanya permasalahan pendistribusian misalnya penjadwalan proyek ataupun tata letak fasilitas. Oleh karena itu, perlu eksploitasi dan eksplorasi penerapan BRKGA lebih lanjut untuk penelitian masa depan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Asteria, C. (2008). *Penentuan Rute Distribusi dengan Algoritma Tabu Search untuk VRP dengan Time Windows*. Tesis. Universitas Indonesia.
- Awansari, S.A.; S. Abusini. (2013). "Implementasi model Capacitated Vehicle Routing problem pada pengiriman pupuk urea bersubsidi". *Jurnal Mahasiswa Matematika*, Vol. 1(5).
- Ballou, R.H.; Agarwal, Y.K. (1998). "A performance comparison of several popular algorithms for vehicle routing and scheduling". *Journal of Business Logistics*, Vol. 9 (1), pp.: 51 – 65.
- Baskoro, S. (2011). *Penerapan Algoritma Tabu Search Untuk Penyelesaian Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) Studi Kasus di PT. Wahyu Jaya*. Skripsi. Diponegoro University. Semarang.
- Bean, J.C. (1994). "Genetic algorithms and random keys for sequencing and optimization". *ORSA Journal on Computing*, Vol. 6, pp.: 154 – 160.
- Darwin, C. (2004). *Britannica Concise Encyclopedia from Encyclopedia Britanica*. Available from: <<http://comise.britannica.com/ebc/article?eu=387589>>.
- Garey M.R.; Johnson, D.S. (1979). *Computers and Intractability: A guide to The Theory of NP-Completeness*. W.H. Freeman & Co. San Francisco.
- Gonçalves, J.F.; Resende, M.G. (2011). "Biased random-key genetic algorithms for combinatorial optimization". *Journal of Heuristics*, Vol. 17, pp.: 487 – 525.
- Grasas, A.; Ramalhinho, H.; Pessoa, L.S.; Resende, M.G.; Caballé, I.; Barba, N. (2014). "On the improvement of blood sample collection at clinical laboratories". *BMC Health Services Research*, Vol. 14, pp.: 12.
- Hendrawan, B.E. (2007). *Implementasi Algoritma Pararel Genetic Algorithm untuk Penyelesaian Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem*. Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- Putri, F.B.; Mahmudy, W.F.; Ratnawati, D.E. (2014). *Penerapan Algoritma Genetik Untuk Vehicle Routing Problem with Time Window (VRPTW) Pada Kasus Optimasi Distribusi Beras Bersubsidi*. Skripsi . Malang: Universitas Brawijaya.
- Sembiring, A. C. (2008). *Penentuan Rute Distribusi Produk yang Optimal dengan Menggunakan Algoritma Heuristik Pada PT. Coca-Cola Bottling Indonesia Medan*. Tugas Akhir. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Slamet, A.S., Siregar, H.H.; Kustiyo, A. (2014). "Vehicle routing problem (VRP) dengan algoritma genetika pada pendistribusian sayuran dataran tinggi". *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, Vol. 24 (1), pp.: 1 – 10.
- Spears, V.M.; De Jong, K.A. (1991). "On The Virtues of Parameterized Uniform Crossover". In *Proceedings of the Fourth International Conference on Genetic Algorithms*, pp.: 230–236.
- Sundarningsih, D.; Mahmudy, W.F.; Sutrisno. (2015). *Penerapan Algoritma Genetika untuk Optimasi Vehicle Routing Problem With Time Window (VRPTW) Studi Kasus Air Minum Kemasan*. Skripsi. Malang: Universitas Brawijaya.
- Toth, P.; Vigo, D. (2002). *An Overview of Vehicle Routing Problem*. In *The Vehicle Routing Problem*. Edited by Toth P, Vigo D. Philadelphia: SIAM, pp.:1 – 26.