PENERAPAN METODE ALGORITMA GENETIK UNTUK MEMECAHKAN MASALAH PENENTUAN RUTE KENDARAAN BERKENDALA KAPASITAS

Wijaya Satria [1] Manahan P Siallagan S. Si, M. T[1] Santi Novani, S.Si[1]
1 Jurusan Teknik Informatika, FT UNIKOM, e-mail : .....

JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS KOMPUTER INDONESIA
2004

ABSTRAK

Masalah penentuan rute sering di jumpai dalam kejadian sehari-hari, baik penentuan rute transportasi untuk orang atau kendaraan. Beberapa contoh dapat disebutkan antara lain adalah penentuan rute bis sekolah, rute pengumpulan surat dari kotak surat, rute kunjungan dokter, rute *salesman* dan sebagainya.

Dalam tugas akhir ini akan dibahas salah satu masalah penentuan rute yang dikenal sebagai masalah penentuan rute kendaraan (*Vehicle Routing Problem*, VRP) khususnya masalah penentuan rute kendaraan berkendala kapasitas (*Capacitated Vehicle Routing Problem*, CVRP). Hal ini dilakukan karena hasil yang didapatkan dari penentuan rute tersebut memiliki pengaruh yang besar terhadap perusahaan atau lembaga yang berkepentingan.

Tugas akhir ini mengimplementasikan cara pendekatan Algoritma Genetik yang merupakan salah satu algoritma pencarian umum. Pendekatan ini meniru prinsip evolusi alam sebagai metode untuk memecahkan masalah optimasi parameter. Pada algoritma genetik, obyek masalah terus diperbaiki dengan proses genetik seperti terjadinya evolusi alam, yang terus diperbaiki terus-menerus. Algoritma genetik diajukan dengan harapan diperolehnya suatu cara penyelesaian masalah penentuan rute kendaraan berkendala kapasitas yang lebih baik. Sebagai algoritma pembanding algoritma *sweep* disertakan disini untuk melihat performansi dari algoritma genetik tersebut .

Hasil akhir pengujian pada beberapa data set penelitian, menunjukkan bahwa algoritma genetik pada persoalan penentuan rute kendaraan berkendala kapasitas ini dapat memperoleh solusi yang cukup baik. Walaupun hasilnya masih cukup jauh dari solusi optimal. Algoritma genetik ini dapat diajukan sebagai salah satu alternatif pemecahan dalam persoalan penentuan rute kendaran berkendala kapasitas.

Kata kunci : Algoritma genetik, Algoritma Sweep, VRP, *Vehicle Routing Problem*, CVRP, *Capacitated Vehicle Routing Problem*.

ABSTRACT

Routing problem is a common matter for people nowadays, in deciding transportation route for people or vehicles. Several examples which can be decribe are schoolbus problem, mail delivery routing problem, doctor visit routing, salesman routing problem , etc.

This final project will be discuss about one of routing which is known as Vehicle Routing Problem (VRP), especially Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP). This problem were discuss because of its great influence for the people, company or any asscociation involve.

This final project use genetic algorithm approach which is common is general searching algorithm. This approach is using nature evolution principle as the method of solving the parameter of optimation problem. In genetic algorithm, the problem are continously improve by genetic process like in nature evolution. The genetic algorithm were used by the writer in order to make a better capacitated vehicle routing problem. As a comparator, the writer use sweep algorithm to see the performance of the genetic algorithm.

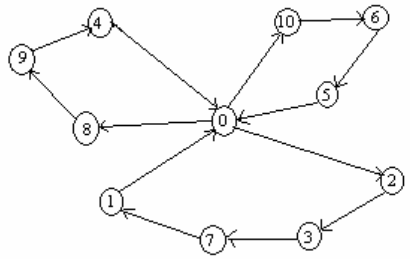
The result shows that the genetic algorithm in capacitated vehicle routing problem could serve as a good solution. Eventhough the result this far haven't got the optimal problem, this genetic algorithm can be of alternative solution in capacitated vehicle routing problem.

Keywords : Genetic Algorithm, Sweep Algorithm, VRP, Vehicle Routing Problem, CVRP, Capacitated Vehicle Routing Problem.

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Masalah penentuan rute sering di jumpai dalam kejadian sehari-hari. Salah satu diantara sekian banyak persoalan penentuan rute tersebut dikenal sebagai masalah penentuan rute kendaraan (*Vehicle Routing Problem*, yang selanjutnya disingkat sebagai VRP). VRP adalah suatu permasalahan distribusi dengan kendaraan pengangkut yang diawali dari suatu titik pusat tertentu (disebut depot), yang harus mengunjungi – selama periode tertentu – pelanggan-pelanggan yang tersebar secara geografis, untuk memenuhi kebutuhan pelanggan-pelanggan tersebut. Representasi graf dari salah satu solusi VRP dapat dilihat pada gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1 : Representasi graf solusi VRP

Versi paling umum dari VRP adalah (*Capacitated Vehicle Routing Problem* -CVRP), yang dapat dideskripsikan sebagai berikut: ada sebuah depot utama, yang menggunakan sejumlah kendaran pengiriman bebas, dengan kapasitas pengiriman identik, untuk melayani permintaan sejumlah pelanggan. Tentukan kumpulan rute dengan biaya rute minimum dengan semua pelanggan dilayani. Semua rute dimulai dan berakhir didepot dan setiap pelanggan pada setiap rute hanya dilayani sekali dan hanya oleh satu kendaraan yang tidak melebihi kapasitas yang sudah ditentukan.

Metode-metode yang dihasilkan untuk pemecahan CVRP ini secara umum dapat dikelompokkan dalam dua kelompok. Kelompok pertama adalah menggunakan metode optimasi (exact) yang menghasilkan jawaban terbaik (optimal) dari persoalan. Kelompok kedua adalah kelompok yang menggunakan pendekatan intuisi yang lebih dikenal dengan metode heuristik. Dari kedua kelompok metode di atas, tampaknya metode-metode yang bersifat heuristik mempunyai masa depan penggunaan yang lebih luas. Alasannya adalah bahwa metode-metode tersebut dalam proses perhitungannya membutuhkan waktu yang relatif lebih singkat dibandingkan metode-metode dari kelompok pertama, karena lebih sedikitnya strategi pemeriksaan yang harus dilakukan, dengan kualitas hasil yang cukup baik.

Beberapa metode heuristik yang telah dikembangkan antara lain adalah metode metaheuristik yang meliputi algoritma genetik, simulated annealing, tabu search dan lain-lain Dalam tugas akhir ini penulis akan menggunakan metode algoritma genetik dimana algoritma genetik adalah algoritma pencarian yang berdasarkan pada mekanisme sistem natural yakni genetik dan seleksi alam. Untuk melihat performansi algoritma genetik dalam menyelesaikan CVRP maka diperlukan metode-metode lain

dalam menyelesaikan CVRP tersebut. Metode yang digunakan adalah metode dua phase dimana algoritma yang digunakan dalam metode dua phase ini yaitu algoritma sweep. Studi dilakukan dengan jalan menguji dan membandingkan beberapa set data penelitian pada kedua algoritma tersebut.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan pertimbangan diatas, maka pada tugas akhir ini akan dibahas suatu pendekatan algoritma genetik untuk menyelesaikan *Capacitated Vehicle Routing Prolem* (CVRP) dengan kriteria minimasi jarak dan waktu komputasi. Sedangkan algoritma sweep hanya sebagai pembanding dari hasil pengujian data yang di ujikan pada program yang dibangun

1.3 Tujuan

Tujuan dari penulisan ini yaitu untuk :

1. Dapat memahami dan memecahkan VRP khususnya CVRP dengan menggunakan algoritma genetik.
2. Dapat membuat prosedur algoritma genetik untuk memecahkan masalah CVRP dan menerapkannya dalam sebuah aplikasi.
3. Melakukan pengujian terhadap beberapa set data penelitian dengan tujuan untuk mendapatkan solusi dari algoritma tersebut.

1.4 Batasan Masalah

1. Persoalan yang akan dipecahkan adalah persoalan CVRP dengan depot tunggal.
2. Algoritma yang akan digunakan dalam pemecahan CVRP adalah algoritma genetik sedangkan algoritma sweep hanya sebagai pembanding dari hasil pengujian data yang diujikan pada program yang dibangun.
3. Data penelitian yang digunakan untuk pengujian diambil dari salah satu contoh masalah CVRP yang diambil dari internet.

II. LANDASAN TEORI

2.1 VRP

VRP merupakan suatu permasalahan distribusi dengan kendaraan pengangkut yang diawali dari suatu titik pusat tertentu (disebut depot), yang harus mengunjungi – selama periode tertentu – pelanggan-pelanggan yang tersebar secara geografis, untuk memenuhi kebutuhan pelanggan-pelanggan tersebut.

2.2 CVRP

CVRP merupakan versi paling umum dari VRP, yang dapat dideskripsikan sebagai berikut: ada sebuah depot central, yang menggunakan kendaran pengiriman bebas, dengan kapasitas pengiriman identik , untuk melayani permintaan sejumlah pelanggan. Kendaraan harus menyelesaikan pengiriman dengan biaya total perjalanan minimum, dimana biaya c_{ij} adalah jarak dari pelanggan i ke pelanggan j, dengan $i,j \in [1,n]$. Jarak antara pelanggan adalah simetri, contoh $c_{ij}=c_{ji}$ dan juga $c_{ii}=0$. Solusi untuk

masalah CVRP ini haruslah himpunan dari n pelanggan dan setiap rute yang terbentuk tidak melebihi kapasitas kendaraan yang dioperasikan pada rute tersebut.

2.3 Algoritma Sweep

Algoritma sweep merupakan salah satu algoritma metode dua phase yang terdiri dari dua bagian yaitu: phase pertama terdiri dari *clustering* pelanggan dengan menugaskan mereka pada kendaraan yang ada, dan phase kedua adalah membangun rute-rute untuk masing-masing *cluster*.

2.4 Algoritma Genetik

Algoritma genetik merupakan algoritma pencarian yang berdasarkan pada mekanisme sistem natural yakni genetik dan seleksi alam. Dalam aplikasi algoritma genetik, variabel solusi dikodekan kedalam struktur string yang merepresentasikan barisan gen, yang merupakan karakteristik dari solusi problem.

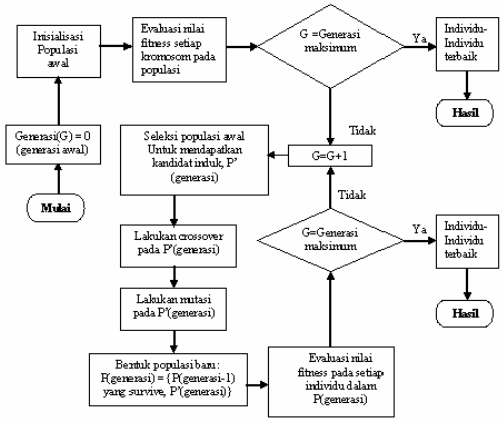
Berbeda dengan teknik *searching* konvensional, Algoritma Genetik dimulai dengan sekumpulan solusi random inisial yang disebut populasi. Masing-masing individu dalam populasi disebut kromosom yang merepresentasikan suatu solusi terhadap permasalahan yang sebenarnya. Suatu kromoson adalah simbol string, biasanya berbentuk string bit biner. Kromosom terlibat dalam suatu iterasi berkelanjutan yang disebut generasi. Setiap generasi, semua kromosom dievaluasi, menggunakan beberapa ukuran fitness. Untuk membuat generasi selanjutnya, kromosom baru, yang disebut keturunan (*offspring*) dibentuk dengan cara :

1. Penggabungan dua kromosom dari generasi sekarang menggunakan operator crossover
2. Modifikasi suatu kromosom menggunakan operator mutasi

Setelah pembentukan keturunan, generasi baru dibangun dengan cara :

1. Seleksi, sesuai dengan nilai fitness, beberapa dari parental dan keturunan
2. Menolak yang lain untuk menjaga jumlah populasi agar tetap

Algoritma Genetik melakukan proses pencarian nilai optimal secara pararel. Dengan menggunakan operator, dia akan melakukan rekombinasi antar kromosom.



Gambar 2 : Digram alir algoritma genetik

III ANALISIS MASALAH

3.1 Deskripsi Masalah

Masalah rute kendaran (*Vehicle Routing Problem* -VRP) adalah sebuah masalah optimasi kombinatorial kompleks, yang dapat dilihat sebagai gabungan dari dua masalah populer yaitu: *Travelling Salesperson* (TSP) dan *Bin Packing*

(BPP). Masalah VRP dapat dideskripsikan sebagai berikut: diberikan satu armada kendaraan dengan kapasitas seragam, sebuah depot umum, dan beberapa permintaan pelanggan (yang disajikan sebagai kumpulan poin-poin yang tersebar secara geografis . Tentukan kumpulan rute dengan biaya rute minimum dengan semua pelanggan dilayani. Semua rute dimulai dan berakhir didepot dan mereka harus didesain dengan cara dimana setiap pelanggan dilayani hanya sekali dan hanya oleh satu kendaraan.

3.2 Pemodelan

Versi paling umum dari VRP adalah CVRP. Pemodelan untuk CVRP memiliki parameter-parameter berikut:

n adalah jumlah pelanggan,

K menunjukkan kapasitas setiap kendaraan,

d_i menunjukkan permintaan pelanggan i (dalam unit yang sama sebagai kapasitas kendaraan) dan

c_{ij} adalah biaya perjalanan dari pelanggan i ke pelanggan j.

Semua parameter dianggap nilai integer tidak negatif. Sekumpulan kendaraan homogen dengan kapasitas terbatas K dan sebuah depot utama, dengan indeks 0, melakukan perngiriman ke pelanggan, dengan indeks 1 sampai n. Permasalahannya adalah menentukan rute pasti setiap kendaraan dimulai dan diakhiri di depot. Setiap pelanggan harus dipasangkan dengan tepat satu tur/rute, karena setiap pelanggan hanya bisa dilayani oleh satu kendaraan. Jumlah seluruh permintaan pelanggan yang ada pada setiap tur harus berada dalam batas kapasitas kendaraan. Tujuannya adalah untuk meminimalkan total biaya perjalanan. Ini juga bisa berarti jarak antar titik/node atau kuantitas lainnya yang mana kualitas solusi bergantung padanya, berdasarkan pada VRP untuk dipecahkan. Mulai sekarang akan disebut sebagai biaya.

Model matematika digambarkan pada sebuah graf (N, A). Sekumpulan titik/node N mewakili sekumpulan pelanggan C dari 1 sampai n dengan penambahan depot sebagai titik 0. Kumpulan busur A terdiri dari hubungan antar titik/node yang mungkin. Sebuah hubungan antara setiap dua titik/node pada graf akan dimasukkan dalam A ini. Setiap busur $(i, j) \in A$ memiliki biaya perjalanan c_{ij} yang berhubungan dengannya. Diasumsikan biayanya simetris, contoh $c_{ij} = c_{ji}$, dan juga bahwa $c_{ii} = 0$. Kumpulan kendaraan seragam adalah V. Kendaraan-kendaraan tersebut memiliki kapasitas K dan semua pelanggan mempunyai permintaan d_i. Satu-satunya variabel keputusan adalah X_{ij}^v:

$$X_{ij}^v = \begin{cases} 1 & \text{jika kendaraan } v \text{ berjalan dari titik } i \text{ ke titik } j \\ 0 & \text{sebaliknya} \end{cases}$$

Fungsi obyektif dari model matematika ini adalah:

$$\min \sum_{v \in V} \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} X_{ij}^v \qquad (1)$$

bergantung pada :

$$\sum_{v \in V} \sum_{j \in N} X_{ij}^v = 1 \qquad \forall i \in C \qquad (2)$$

$$\sum_{i \in C} d_i \sum_{j \in N} X_{ij}^v \le K \quad \forall v \in V \qquad (3)$$

$$\sum_{j \in C} X_{0j}^v = 1 \qquad \forall v \in V \qquad (4)$$

$$\sum_{v \in V} X_{ik}^v - \sum_{j \in N} X_{kj}^v = 0$$

$$\forall k \in C \; dan \; \forall v \in V \qquad (5)$$

$$X_{ij}^v \in \{0,1\},$$

$$\forall \{i, j\} \in A \; dan \; \forall v \in V \qquad (6)$$

Persamaan 2 untuk memastikan setiap pelanggan dipasangkan dengan tepat satu kendaraan. Tepat satu busur dari pelanggan *i* dipilih, tak peduli apakah busur itu menuju pelanggan lain atau menuju depot. Pada persamaan 3 batasan kapasitas dipastikan. Jumlah permintaan pelanggan keseluruhan dalam setiap kendaraan *v* harus lebih kecil atau sama dengan kapasitas kendaraan. Batasan alur ditunjukkan pada persamaan 4 dan 5. Pertama, setiap kendaraan hanya boleh keluar dari depot sekali. Kedua, jumlah kendaraan memasuki setiap *k* pelanggan dan depot harus sama dengan jumlah kendaraan keluar.

Berdasarkan definisi diatas, diperoleh suatu kesimpulan mengenai input dari persoalan CVRP :

1. Input persoalan CVRP adalah daftar jarak pelanggan, daftar permintaan tiap pelanggan dan kapasitas kendaraan.
2. Dalam terminologi graf, kumpulan pelanggan atau titik pada persoalan CVRP adalah sebuah graf lengkap dengan bobot sisi adalah jarak antar pelanggan.

Tabel 1 Jarak dan permintaan pelanggan

Outlet	Koordinat x	Koordinat y	Demand
0	266	235	0
1	295	272	125
2	301	258	84
3	309	260	60
4	217	274	500
5	218	278	300
6	282	267	175
7	242	249	350
8	230	262	1100
9	249	268	4100
10	256	267	225
11	265	257	300
12	267	242	250
13	259	265	250
14	315	233	500
15	329	252	150
16	318	252	100
17	329	224	250
18	267	213	120
19	275	192	600
20	303	201	500

Pada persoalan dalam dunia nyata, jarak antar pelanggan mungkin tidak disediakan melainkan dihitung berdasarkan posisi koordinat tiap pelanggan, misal jika pelanggan satu berada pada koordinat (3.1) dan pelanggan dua berada pada koordinat (8.6) maka jarak antar pelanggan satu dan dua adalah 7.07. Pada Tabel 3.1 disajikan data jarak dan permintaan pelanggan dengan kapasitas kendaran C=4500, yang mana data tersebut nantinya akan menjadi salah satu inputan persoalan CVRP di dalam tugas akhir ini.

3.3 Pemecahan Masalah dengan Algoritma Sweep

Pada prosedur ini asumsikan bahwa Capacitated Vehicle Routing Problem adalah mengikuti teori *Euclidean* dan para pelanggan dilokasikan dengan koordinat polar (r_i, θ_i) dengan depot $r_1 = 0$ dan suatu pelanggan i^* yang berubah-ubah

pada $\theta_{i*} = 0$. Urutkan pelanggan sehingga $\theta_2 \leq \ldots \leq \theta_n$.

Phase 1

Langkah 1 : Pilih kendaraan *k* yang tidak digunakan

Langkah 2 : Mulai dari pelanggan *i* yang bebas dengan sudut θ_i terkecil termasuk pelanggan-pelanggan yang berurutan *i*+1, *i*+2, ... dalam rute sampai pembatas kapasitas pada kendaraan *k* tercapai

Langkah 3 : Jika semua pelanggan telah "tersapu" atau semua kendaraan telah terpakai, masuk ke fasa 2, kalau tidak kembali ke step 1

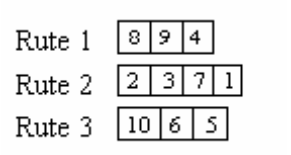
Phase 2

Langkah 4 : Selesaikan masalah Traveling Salesman Problem untuk setiap set pelanggan yang ditugaskan pada masing-masing kendaraan untuk membentuk rute-rute akhir

3.4 Pemecahan Masalah dengan Algoritma Genetik

3.4.1 Representasi genetik

Untuk merepresentasikan kandidat solusi sebuah kumpulan CVRP maka harus ditentukan terlebih dahulu jumlah kendaraan yang dibutuhkan, partisi permintaan berdasarkan kendaraan dan juga urutan pengiriman untuk setiap rute. Dimana materi genetik sebuah individu mengandung beberapa rute, setiap individu mengandung subset pelanggan terurut dan semua permintaan yang termasuk pada masalah harus berada dalam salah satu rute. Sebagai contoh, kromosom pada gambar 3 mewakili solusi yang disajikan pada gambar 1.



Gambar 3 : Representasi kromosom

3.4.2 Inisialisasi populasi

Pada awal proses Algoritma Genetik perlu ditentukan terlebih dahulu populasi awal yang akan diproses. Populasi awal ini dipilih secara random. Pada tahap inisialisasi perlu diketahui juga berapa jumlah parameter yang akan disusun menjadi *string*, lebar dari tiap parameter dan ukuran populasi dalam tiap generasi.

Semua populasi inisialisasi untuk masalah CVRP didalam tugas akhir ini dihasilkan secara acak menurut algoritma berikut :

Prosedur Inisialiasasi

1. Bangun sekumpulan D dengan permutasi acak untuk semua permintaan
2. **While** disana terdapat elemen dalam D **Repeat :**
   - 2.1. Buat satu rute baru dengan K permintaan. K adalah nilai acak antara 1 dan elemen D yang sekarang
   - 2.2. Hapus K elemen pertama dari D dan tugaskan mereka sebagai rute baru.

Gambar 4: Prosedur inisialisasi

3.4.3 Modul evaluasi

Modul evaluasi berisi suatu fungsi evaluasi yang mengukur nilai kromosom terhadap permasalahan. Fungsi evaluasi ini menggunakan *fitness*, yaitu ukuran relatif kecocokkan terhadap permasalahan yang ada. Langkah pertama dalam tiap-tiap generasi adalah mengevaluasi kromosom-kromosom pada generasi saat itu. Masing-masing kromosom didekodekan, diambil parameter-parameter solusi dan dievaluasi untuk dilihat seberapa tingkat 'kecocokan' parameter terhadap sistem yang dimodelkan. Fungsi evaluasi fitness yang digunakan adalah :

$$f_{evaluasi} = fitness = \sum_{v \in V} \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} X_{ij}^{v}$$

$$f_{obyektif} = fitness_{min} = \min \sum_{v \in V} \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} X_{ij}^{v}$$

3.4.4 Operator-operator genetik

Operator-operator genetik (seleksi, crossover dan mutasi) pada algoritma genetik untuk CVRP harus mampu menyelesaikan penyajian dua level. Sehingga, mereka mampu mengubah urutan pengiriman dengan rute spesifik dan memodifikasi alokasi permintaan untuk kendaran. Disamping itu operator-operator tersebut tidak hanya dapat menukar pelanggan dari satu rute ke rute lainnya, tapi juga memodifikasi jumlah kendaraan yang termasuk dalam sebuah solusi (menambah dan menghapus rute). Kebutuhan penting lainnya, adalah bahwa operator-operator genetik tersebut harus selalu menghasilkan solusi-solusi yang layak.

3.4.4.1 Seleksi

Seleksi berguna untuk menentukan suatu individu dalam populasi yang akan menurunkan semua atau sebagian dari materi genetik yang dimilikinya pada individu generasi berikutnya. Pada tugas akhir ini metode seleksi yang digunakan adalah metode ranking. Pada metode ini kemungkinan terpilihnya suatu kromosom ditentukan oleh ranking dari kromosom tersebut. Sebagai contoh, 20 % kromosom terbaik akan terpilih sebanyak 2 kali untuk masing-masing individu, 20 % populasi ranking terbawah tidak terpilih sama sekali, dan sisanya terpilih hanya sekali untuk setiap individu. Dengan metoda ini kromosom superior yang mungkin hadir pada suatu generasi tidak dapat dengan cepat mendominasi populasi tersebut, sehingga tidak menghambat proses eksplorasi pada generasi-generasi berikutnya.

3.4.4.2 Crossover

Operator crossover yang digunakan dalam pendekatan ini tidak memberikan pertukaran material genetik yang sama antar dua parent. Tetapi, ketika satu idividu dari set yang dipilih digunakan pada operator ini, individu tersebut akan menerima satu fragment material genetik (lebih tepatnya disebut rute) dari individu yang lain dan memasukkannya pada rute pertama. Setelah dimasukkan, proses perbaikan akan memeriksa rute asli dari individu penerima dan

menghapus semua pelanggan yang juga muncul pada rute asli. Hal ini akan menjamin bahwa kromosom baru yang terbentuk adalah sah, karena tidak ada perulangan titik. Selama operasi ini donor tidak akan dirubah. Prosedur berikut menunjukkan bagaimana operator crossover tersebut diterapkan pada individu dari kumpulan yang terpilih.

Prosedur crossover

1. **For** setiap individu I_1 dari kumpulan S yang terpilih **Repeat** :
   - 1.1 Pilih secara acak individu I_2 lainnya dari S
   - 1.2 Dari materi genetik individu I_2 pilih secara acak sebuah sub-rute
   - 1.3 Masukkan sub-rute yang terpilih dari individu I_2 kedalam materi genetik individu I_1 sebagai rute pertama
   - 1.4 Dari materi genetik asal individu I_1 hapus semua pelanggan yang juga muncul pada subrute, menghasilkan keturunan.

Gambar 5: Prosedur crossover

3.4.4.3 Mutasi

Mutasi diaplikasikan untuk setiap keturunan setelah crossover. Operasi ini bekerja dengan mengubah bit dalam solusi dengan beberapa kemungkinan. Dalam CVRP, operator mutasi mengidentifikasikan sebuah peran dari mengubah jalan atau menukar. Adapun operator mutasi yang akan digunakan dalam tugas akhir ini adalah operator mutasi swap. Prosedur berikut menunjukkan bagaimana operator mutasi swap tersebut diterapkan pada keturunan hasil crossover.

Prosedur mutasi swap

1. **For** setiap keturunan dari hasil cossover **Repeat :**
   - 1.1 Bankitkan sebuah nilai secara acak, kemudian bandingkan nilai tersebut terhadap probabilitas mutasi.
     If nilai < probabilitas mutasi
     then pilih dua pelangan secara acak dari keturunan hasil crossover dan swap mereka. Kedua pelanggan tersebut dapat berada pada rute yang sama atau rute yang berbeda
     else not swap.
     End

Gambar 6: Prosedur mutasi swap

IV. IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN

4.1 Implementasi Perangkat lunak

Program dimplementasikan kedalam perangkat lunak yang disebut dengan Matlab 6.5. Perangkat lunak yang dibuat terdiri dari dua pilihan, yaitu pilihan pertama dengan menggunakan algoritma genetik dan pilihan yang kedua menggunakan algoritma sweep

4.2 Hasil Pengujian

4.2.1 Pengujian dengan algoritma genetik

Pengujian terbaik pada program yang dibangun dengan menggunakan metode algoritma genetik dalam menyelesaikan CVRP menggunakan parameter-parameter sebagai berikut :

1. Banyaknya populasi = 400
2. Maksimum generasi = 100

3. Probabilitas crossover = 0.75
4. Probabilitas mutasi = 0.2

Hasil akhir pengujian terbaik untuk data tabel 1 yang diperoleh dengan algoritma genetik dapat dilihat pada tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2 Hasil pengujian terbaik algoritma genetik untuk data tabel 1

Kendaraan	Rute Kendaraan	Kapasitas	Generasi Terbaik	Populasi Terbaik	Fitness Terbaik	Waktu Komputasi
1	13	250	90	1	528.536	358.259
2	18	120				
3	7	350				
4	12	300				
5	1	4100				
6	8-4-5-9	2050				
7	19-20-17-14-15-3-16-2-1-6-11	2769				

Dari hasil pengujian terbaik untuk data tabel 1 diperoleh jumlah kendaraan yang dibutuhkan untuk data tabel 1 adalah 7 buah kendaraan dengan kapasitas masing-masing kendaraan tidak melebihi kapasitas yang dizinkan yaitu 4500 dan total jarak yang dihasilkan yaitu 528.536 dan waktu komputasi 358.259 detik.

4.2.2 Pengujian_dengan algoritma sweep

Pengujian pada program yang dibangun dengan menggunakan algoritma sweep untuk data tabel 1 yang diperoleh untuk algoritma sweep dapat dilihat pada tabel 3.

Dari hasil pengujian algoritma sweep untuk data tabel 1 diperoleh jumlah kendaraan yang dibutuhkan untuk data tabel adalah 3 buah kendaraan dengan kapasitas masing-masing kendaraan tidak melebihi kapasitas yang dizinkan yaitu 4500. dan total jarak yang dihasilkan yaitu 435.447 dan waktu komputasi 2.093 detik.

Tabel 3 Hasil pengujian algoritma sweep untuk data tabel 1

Kendaraan	Rute Kendaraan	Kapasitas	Total Jarak	Waktu Komputasi
1	19-20-21-18-15-16-17-4-3-2-7-14-12-13	3439	435.114	2.093
2	11	4100		
3	10-6-5-9-8	2400		

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian, maka dapat dibuat suatu kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa algoritma genetik dan algoritma sweep dapat diterapkan dalam memecahkan masalah CVRP.
2. Jika dilihat dari solusi yang dihasilkan maka algoritma sweep untuk sementara lebih baik dari algoritma genetik. Hal ini dikarenakan belum ditemukannya penyetingan parameter yang tepat untuk pengujian algoritma genetik tersebut, alasannya karena penyetingan parameter pada algoritma genetik sangat mempengaruhi solusi yang dihasilkan.
3. Pencarian dengan menggunakan algoritma genetik membutuhkan waktu yang cukup lama untuk menghasilkan solusi optimal jika banyaknya populasi dan generasi

sangat besar.

4. Implementasi algoritma genetik pada program matlab membutuhkan waktu yang cukup lama atau lambat dalam eksekusi programnya. Hal ini dikarenakan bahasa dalam program matlab langsung diartikan.

DAFTAR PUSTAKA

1. A. S. Bjarnadottir, *Solving the Vehicle Routing Problem with Genetic Algorithms*, http://www.imm.dtu.dk/pubdb/views/edoc_download.php/3183/pdf/imm3183.pdf , tanggal akses 29 Juli 2004
2. D. Hanselman, B. littlefield, *Matlab,* Penerbit ANDI Yogyakarta
3. Etter, Kuncicky, Hull, *Pengenalan Matlab 6*. Penerbit PT INDEKS
4. F. B. Pereira, J. Tavares, P. Machado, and E. Costa, "GVR: a New Genetic Representation for the Vehicle Routing Problem," *Submitted to AICS 2002 13 th Irish Conference on Artificial Intelligence and Cognitive Science*, Limerick, Ireland, 2002
5. Hartanto, Prasetyo, *Analisis dan desain Sistem Kontrol dengan MATLAB*, Penerbit ANDI Yogyakarta.
6. Mitsuo Gen, Runwei Cheng, *Genetic Algorithms and Engineering Design*, John Willey & Sons, 1997
7. Mustafa, *Mempelajari Beberapa Algoritma Heuristik untuk masalah Penentuan Rute Kendaraan dengan Depot Tunggal*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Industri,ITB, 1983
8. P. Machado, J. Tavares, F. B. Pereira, and E. Costa, "Vehicle Routing Problem: Doing it the Evolutionary Way," *To appear at GECCO-2002 Proceedings*, 2002
9. S. Han, Y. Tabata, *A hybrid genetic Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Controlling Lethal Gene*
10. T.K. Ralphs*y*, L. Kopman*z*, W.R. Pulleyblank*x*, and L.E. Trotter, Jr, *On The Capacitated Vehicle Routing Problem,* http://www.lehigh.edu/~tkr2/research/papers/VRP.pdf, tanggal akses 29 Juli 2004
11. Z Michalewicz, *Genetic Algorithms + Data Structure = Evolution Programs*, Third, Revised and Extended Edition