

## PEMANFAATAN METODE HEURISTIK PADA PENCARIAN JALUR TERPENDEK DENGAN ALGORITMA GENETIKA

Alamsyah\*

### Abstract

*This is a research project to develop a genetic algorithmic approach to solve the shortest path routing problem. Variable length chromosomes and their genes have been used to encode the problem. A crossover operation exchanges partial or the whole chromosomes and a mutation maintains the chromosomes diversity of the population.*

*Genetic algorithm procedure performed by taking 10 samples of individuals from the population. And used 100% chance of crossover and mutation 50% chance. Having conducted the experiment 20 times the shortest path search with genetic algorithm Provided a best individual with the most optimal path is "ss 04 05 09 dd" with the distance 31 m and with a percentage error of 5%.*

**Key words :** Genetic algorithm

### Abstrak

Penelitian ini menggunakan pendekatan algoritma genetika pada pemecahan masalah rute jalur terpendek. Panjang kromosom yang berbeda dan en-gen dalam kromosom digunakan untuk mengkodekan masalah jalur tersebut. Proses persilangan mempertukarkan sebagian atau seluruh kromosom dan proses mutasi mempertahankan keragaman kromosom dalam populasi.

Dilakukan prosedur algoritma genetika dengan mengambil 10 sampel individu dari populasi. Dan digunakan peluang crossover 100% dan peluang mutasi 50%. Setelah dilakukan 20 kali percobaan pencarian jalur terpendek dengan algoritma genetika Diperoleh sebuah individu terbaik dengan jalur paling optimal yaitu "ss 04 05 09 dd" dengan jarak tempuh 31 m dan dengan persentase kesalahan sebesar 5%.

**Kata Kunci :** algoritma genetik

### 1. Pendahuluan

Untuk menggunakan atau memfungsikan sebuah komputer maka harus terdapat program yang terdistribusi di dalamnya, tanpa program komputer hanyalah menjadi sebuah kotak yang tak berguna. Program yang terdapat pada komputer sangat bervariasi dan setiap program pasti menggunakan algoritma. Algoritma merupakan kumpulan perintah untuk menyelesaikan suatu masalah. Perintah-perintahnya dapat diterjemahkan secara bertahap dari awal hingga akhir. Masalah tersebut dapat berupa

apapun dengan catatan untuk setiap masalah memiliki kriteria kondisi awal yang harus dipenuhi sebelum menjalankan algoritma. Dalam penyelesaian jalur terpendek pada graf sederhana ini dimana graf yang diberikan adalah graf yang terboboti yaitu graf yang setiap sisinya diberikan suatu nilai atau bobot, yang selanjutnya akan dicari suatu jalur terpendek dalam hal ini jalur yang memiliki bobot yang minimum.

Pemanfaatan metode heuristik masih sangat jarang digunakan, sehingga dapat dirumuskan sebuah

---

\* Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu

masalah yaitu dengan pemanfaatan metode heuristik diharapkan nantinya dapat menyelesaikan masalah pencarian jalur terpendek dengan hasil yang lebih variatif dan dengan waktu perhitungan yang lebih singkat.

Penelitian bertujuan menyelesaikan masalah lintasan yang harus dilalui ketika mengunjungi beberapa titik hingga diperoleh jarak tempuh yang terpendek pada kasus graf sederhana.

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian adalah menawarkan penyelesaian yang lebih mudah dalam perhitungan (sesuai dengan tujuan algoritma heuristik) untuk pencarian jalur terpendek dan dapat diaplikasikan menjadi sebuah perangkat lunak khususnya pada graf sederhana.

Dari latar belakang dan rumusan masalah yang telah dijelaskan, penelitian dibatasi pada algoritma yang digunakan dalam metode heuristik, yaitu algoritma genetika (*Genetic Algorithm*) dalam kasus graf sederhana.

## 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1 Algoritma

Dalam dunia komputasi, istilah algoritma menjadi dasar pemikiran sebuah formulasi. Algoritma dapat didefinisikan sebagai teknik penyusunan langkah-langkah penyelesaian masalah dalam bentuk kalimat dengan jumlah kata terbatas tetapi tersusun secara logis dan sistematis. Kalimat-kalimat ini dapat diterjemahkan secara bertahap dari awal hingga akhir. Algoritma harus berhenti setelah mengerjakan serangkaian tugas atau langkahnya terbatas dan setiap langkah harus didefinisikan dengan tepat sehingga tidak memiliki arti ganda [Suarga, 2006]. Algoritma sering mempunyai langkah pengulangan (iterasi) atau memerlukan keputusan (logika Boolean dan perbandingan) sampai tugasnya selesai.

Desain dan analisis algoritma adalah suatu cabang khusus dalam ilmu komputer yang mempelajari karakteristik dan performansi dari suatu algoritma dalam menyelesaikan masalah. Algoritma pun bersifat bebas, artinya tidak bergantung pada sistem komputer atau bahasa pemrograman yang digunakan. Algoritma yang berbeda dapat diterapkan pada suatu masalah dengan kriteria yang sama. Dalam penyelesaian masalah, ukuran banyak komputasi dari suatu algoritma dinyatakan dalam kompleksitas. Jika sebuah permasalahan dalam diselesaikan dalam waktu yang singkat dikatakan kompleksitas algoritma rendah, sementara algoritma yang membutuhkan waktu lama untuk menyelesaikan masalahnya mempunyai kompleksitas yang tinggi [Suarga, 2006].

### 2.2 Graf

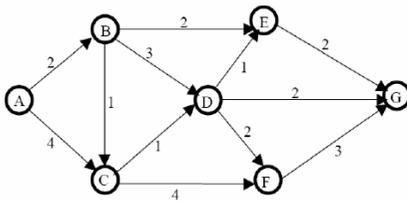
Graf adalah kumpulan simpul (*nodes*) yang dihubungkan satu sama lain melalui sisi/busur (*edges*) [Buckley, 1990]. Suatu Graf  $G$  terdiri dari dua himpunan yaitu himpunan  $V$  dan himpunan  $E$ .

- Verteks (simpul) :  $V$  = himpunan simpul yang terbatas dan tidak kosong
- Edge (sisi/busur):  $E$  = himpunan busur yang menghubungkan sepasang simpul.

Simpul-simpul pada graf dapat merupakan obyek sembarang seperti kota, atom-atom suatu zat, nama anak, jenis buah, komponen alat elektronik dan sebagainya. Busur dapat menunjukkan hubungan (relasi) sembarang seperti rute penerbangan, jalan raya, sambungan telepon, ikatan kimia, dan lain-lain. Notasi graf:  $G(V,E)$  artinya graf  $G$  memiliki  $V$  simpul dan  $E$  busur.

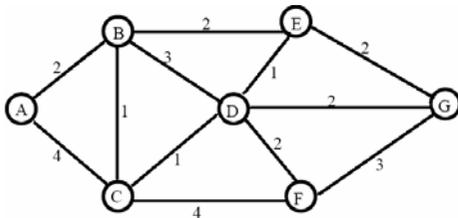
Menurut arah dan bobotnya, graf dibagi menjadi empat bagian, yaitu:

- a. Graf berarah dan berbobot : tiap busur mempunyai anak panah dan bobot. Gambar 1. menunjukkan graf berarah dan berbobot yang terdiri dari tujuh titik yaitu titik A,B,C,D,E,F,G. Titik menunjukkan arah ke titik B dan titik C, titik B menunjukkan arah ke titik D dan titik C, dan seterusnya. Bobot antar titik A dan titik B pun telah di ketahui.



Gambar 1. Graf berarah dan berbobot

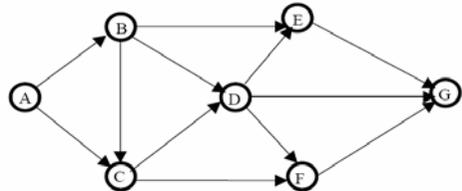
- b. Graf tidak berarah dan berbobot : tiap busur tidak mempunyai anak panah tetapi mempunyai bobot. Gambar 2 menunjukkan graf tidak berarah dan berbobot. Graf terdiri dari tujuh titik yaitu titik A,B,C,D,E,F,G. Titik A tidak menunjukkan arah ke titik B atau C, namun bobot antara titik A dan titik B telah diketahui. Begitu juga dengan titik yang lain.



Gambar 2. Graf tidak berarah dan berbobot

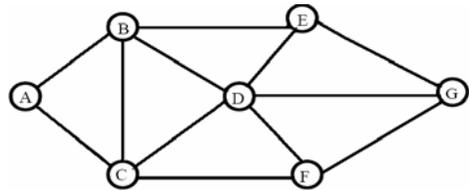
- c. Graf berarah dan tidak berbobot: tiap busur mempunyai anak panah yang tidak berbobot. Gambar 3.

menunjukkan graf berarah dan tidak berbobot.



Gambar 3. Graf berarah dan tidak berbobot

- d. Graf tidak berarah dan tidak berbobot: tiap busur tidak mempunyai anak panah dan tidak berbobot.



Gambar 4. Graf tidak berarah dan tidak berbobot

### 2.3 Pencarian jalur terpendek

Persoalan jalur terpendek yaitu menemukan jalur terpendek antara dua atau beberapa simpul yang berhubungan. Persoalan mencari jalur terpendek di dalam graf merupakan salah satu persoalan optimasi. Persoalan ini biasanya direpresentasikan dalam bentuk graf. Graf yang digunakan dalam pencarian jalur terpendek adalah graf berbobot (*weighted graph*), yaitu graf yang setiap sisinya mempunyai suatu nilai atau bobot. Bobot pada sisi graf dapat menyatakan jarak antar kota, waktu pengiriman pesan, ongkos pembangunan, dan sebagainya.

Terdapat beberapa jenis persoalan jalur terpendek, antara lain:

- a. Jalur terpendek antara dua buah simpul tertentu
- b. Jalur terpendek antara semua pasangan simpul
- c. Jalur terpendek dari simpul tertentu ke semua simpul yang lain
- d. Jalur terpendek antara dua buah simpul yang melalui beberapa simpul tertentu

Dalam tulisan ini yang akan dibahas adalah persoalan jenis ke 4.

Persoalan jalur terpendek menjadi kebutuhan di banyak bidang kehidupan dengan berbagai tujuan yang beragam. Salah satu contoh kasus adalah untuk menemukan jalur terpendek antara pasangan pusat dalam sebuah jaringan sebuah perusahaan bisnis besar dengan kantor pusat di New York mempunyai beberapa cabang utama di negara-negara seluruh dunia. Kantor pusat mengkoordinasi seluruh kegiatan operasional perusahaan, dan setiap hari seluruh informasi (meliputi permintaan, penawaran dan biaya) harus diberikan dari kantor pusat ke kantor-kantor cabang. Informasi yang ada dikirimkan via teleks. Diberikan biaya pengiriman pesan melalui teleks antara dua perusahaan, dan ditentukan jalur komunikasi termurah dari kantor pusat dan setiap kantor cabang lainnya.

#### 2.4 Algoritma genetika

Algoritma genetika merupakan solusi yang baik, tapi tidak mungkin dibuktikan secara deterministik [Sivanandam, 2008]. Algoritma genetika mungkin tidak selalu mencapai hasil yang terbaik, tetapi bisa berharga dalam memecahkan masalah. Algoritma genetika yang baik secara dramatis bisa mengurangi waktu yang diharuskan dalam memecahkan

masalah. Meski tidak menjamin selalu dapat memecahkan masalah, tetapi seringkali memecahkan masalah dengan cukup baik untuk kebanyakan masalah.

Salah satu teknik yang digunakan misalnya membuat aturan bahwa dalam Bahasa Inggris huruf  $c$  dan  $h$  selalu digunakan berdampingan sebagai  $ch$  (lihat contoh *charm* dan *march*), sehingga kita hanya membuat permutasi huruf-huruf dengan  $c$  dan  $h$  berdampingan. Semua permutasi dengan huruf  $c$  dan  $h$  tidak berdampingan ditolak dari pencarian.

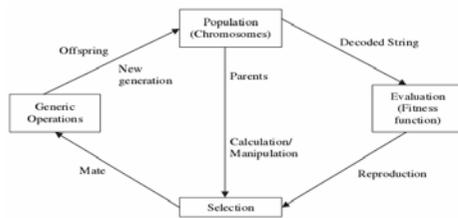
Algoritma genetika merupakan algoritma pencarian yang meniru mekanisme seleksi dan evolusi alam. Algoritma ini akan mengkombinasikan daya tahan (*survival*) dari suatu struktur data yang paling sehat (*fittest*). [Goldberg, 1989]. Algoritma genetika mengkombinasikan antara deretan struktur dengan pertukaran informasi acak ke bentuk algoritma pencarian. Karakter algoritma genetika yang membedakannya dengan algoritma lain, yaitu: [Sivanandam, 2008]

- a. Algoritma genetika bekerja dengan penyandian parameter, bukan parameter itu sendiri.
- b. Pencarian algoritma genetika berdasarkan dari beberapa titik populasi, bukan hanya satu titik tunggal saja.
- c. Pembangkitan kromosom menggunakan bilangan acak
- d. Algoritma genetika menggunakan aturan probabilistik, bukan deterministik.

Algoritma genetika bekerja dengan menciptakan banyak solusi secara acak, dalam arti bahwa algoritma genetika menggunakan aturan probabilistik. Algoritma genetik menciptakan populasi baru melalui itersi secara terus menerus terhadap populasi

awal sampai didapat populasi yang lebih baik atau populasi yang mewakili solusi dari permasalahan dengan harapan semakin dekat kepada solusi masalah yang ada [Ahn, 2002]

Secara umum dapat digambarkan siklus Algoritma Genetika seperti terlihat pd gambar 5.



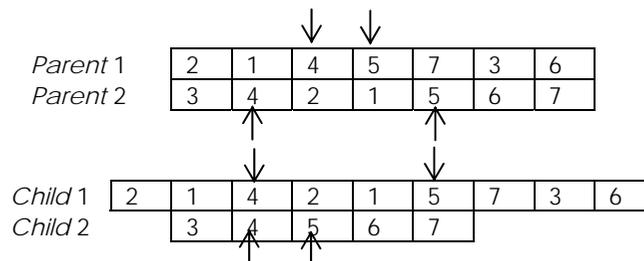
Gambar 5. Siklus Algoritma Genetika

Berdasarkan gambar 2.3, algoritma genetika dimulai dengan pembentukan populasi awal berupa kromosom yang akan menjadi *parent*. *Parent* ini tidak langsung diproses secara genetika melainkan dilakukan manipulasi dan evaluasi terhadap *parent* terlebih dahulu dan selanjutnya akan diseleksi. Proses seleksi ini akan menentukan kromosom mana yang akan mengalami operasi genetika. Setelah siklus ini selesai akan terbentuk sebuah keturunan baru dan akan menjadi *parent* untuk generasi berikutnya.

## 2.5 Algoritma Genetika Hybrid

Beberapa peneliti mengkombinasikan metode-metode lain ke dalam Algoritma Genetika atau biasa disebut Algoritma Genetika Hibrid dengan harapan mampu meningkatkan kinerja Algoritma Genetika. Pada prinsipnya hibridisasi ini diharapkan mampu memberikan solusi lain yang lebih baik disekitar *local optimum* atau dikenal dengan istilah *local search*. Untuk menyelesaikan kasus jalur terpendek, penulis menyusun algoritma sebagai berikut:

- Pembentukan populasi awal  
Untuk merepresentasikan kromosom digunakan metode acak yang akan menggambarkan jalur yang dilalui.
- Reproduksi  
Proses reproduksi dilakukan dengan metode *Roulette Wheel* (roda Roulette).
- Persilangan  
Metode persilangan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah *Partial-Mapped Crossover* (PMX). PMX menggunakan dua buah titik potong dan akan mempertukarkan sustring antara dua titik potong tersebut antara *parent 1* dan *parent 2*. [Gen, 2008] PMX dapat diilustrasikan pada gambar 6.



Gambar 6. Ilustrasi PMX

Model persilangan ini menambahkan keragaman anggota populasi, sehingga kemungkinan memperoleh individu terbaik semakin besar.

d. Mutasi

Proses mutasi biasanya dilakukan dengan melakukan perubahan terhadap gen pada suatu kromosom. Proses ini bertujuan meningkatkan keragaman kromosom yang ada pada populasi sehingga kita tidak terbawa pada local optimum. Metode ini dilakukan dengan memilih sebuah titik mutasi. Selanjutnya gen setelah titik mutasi akan digantikan oleh gen baru sehingga terbentuk jalur yang baru. Dalam penelitian ini, akan digunakan peluang mutasi dalam menentukan individu yang akan mengalami mutasi.

e. Seleksi

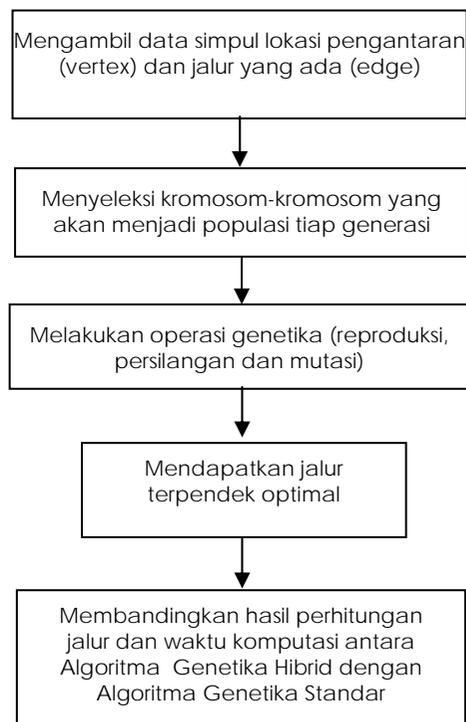
Salah satu hal penting pada proses AGH adalah pemilihan kromosom untuk generasi berikutnya. Berdasarkan teori evolusi, hanya kromosom yang terbaik yang dipilih pada generasi berikutnya. Pada penelitian ini, kami memilih kromosom terbaik sebanyak 80% dari total jumlah populasi induk dan keturunannya dibuat secara acak untuk dijadikan *parent* pada generasi berikutnya. Model seleksi seperti ini akan menjamin bahwa kromosom terbaik akan terbawa ke generasi berikutnya dan kromosom *parent* lebih beragam.

f. Perbaikan Tur

Teknik perbaikan tur (local search) yang kami gunakan pada penelitian ini dengan melakukan pemangkasan untuk menghilangkan jalur yang berulang. Algoritma ini akan diterapkan pada proses persilangan (*crossover*).

## 2.6 Kerangka konseptual

Penelitian dimulai dari pengambilan simpul-simpul yang merupakan titik asal, pertigaan atau perempatan, dan titik tujuan, beserta jalur-jalur yang menghubungkannya. Karena tidak semua jalur akan digunakan, maka dilakukan proses seleksi jalur-jalur yang nantinya akan diproses secara genetika. Selanjutnya rangkaian jalur ini akan diproses secara genetika hingga diperoleh keturunan baru yang diharapkan lebih baik dari generasi sebelumnya. Sehingga diharapkan jalur terpendek optimal dapat tercapai dengan waktu komputasi tertentu. Gambaran umum dari kerangka konseptual penelitian ini dapat diilustrasikan dalam bagan pada gambar 7.



Gambar 7. Kerangka Konseptual Penelitian

### 3. Metode Penelitian

#### 3.1 Rancangan Penelitian

Pada penelitian ini, terdapat beberapa metode pengumpulan data yang digunakan, yaitu:

a. Metode kepustakaan

Metode pengumpulan data kepustakaan dilakukan dengan mengumpulkan data-data dari sumber atau buku yang relevan terhadap penelitian.

b. Metode wawancara

Metode wawancara dilakukan dengan cara tatap muka dan menanyakan langsung kepada objek yang pernah melakukan penelitian sebelumnya.

c. Penyusunan Algoritma

Menentukan spesifikasi sistem yang akan digunakan dalam hal ini penyusunan algoritma genetika dengan metode pencarian jalur terpendek.

d. Pembuatan Program Aplikasi

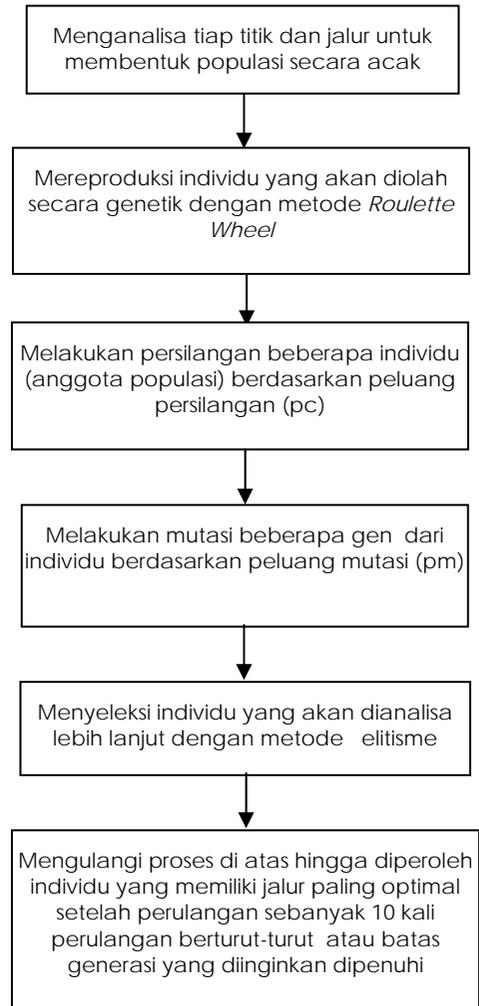
Pada tahap ini dibuat program yang menggunakan algoritma genetika dengan didukung oleh perangkat lunak Delphi

#### 3.2 Jenis penelitian

Penelitian ini adalah penelitian kualitatif dengan melakukan eksperimen dalam menganalisis dan merancang perangkat lunak untuk menyelesaikan masalah pencarian jalur terpendek dengan menggunakan algoritma genetika pada kasus graf sederhana.

#### 3.3 Analisis sistem

Algoritma Genetika Standar melalui tahap-tahap kerja, yaitu pembentukan populasi secara acak, reproduksi, persilangan, mutasi, dan seleksi. Proses ini akan berulang hingga syarat tertentu dipenuhi, seperti yang tampak pada gambar 8.



Gambar 8. Bagan kerja algoritma genetika

#### 3.4 Metode pengukuran

Pada pengukuran ini menggunakan tiga parameter yang ditentukan sendiri. Parameter-parameter tersebut adalah jumlah anggota populasi, peluang *crossover*, dan peluang mutasi. Ketiga parameter tersebut dapat didefinisikan sebagai berikut:

- a. Jumlah anggota populasi merupakan banyak kromosom yang akan digunakan untuk mencari individu terbaik.
- b. Peluang crossover merupakan kemungkinan jumlah kromosom yang akan mengalami crossover dalam sebuah populasi
- c. Peluang mutasi merupakan bilangan acak yang akan menentukan kebolehjadian sebuah kromosom dalam suatu populasi mengalami proses mutasi.

Ketiga parameter tersebut bernilai tetap pada semua percobaan yang dilakukan, yaitu jumlah anggota populasi sebanyak 10 individu, peluang *crossover* 100% dan peluang mutasi 50%. Setelah diperoleh solusi masalah jalur terpendek dan waktu komputasi yang terukur pada kedua algoritma akan dibandingkan.

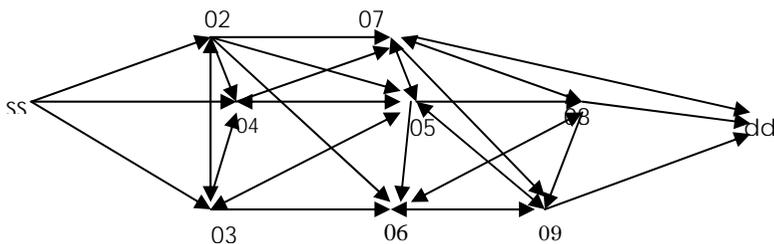
**4. Hasil dan Pembahasan**

Pada dasarnya permasalahan pencarian *jalur terpendek* antar titik merupakan pencarian rute antar titik yang telah diketahui titik koordinat atau

jarak. Dengan mengetahui konsep pencarian pencarian *jalur terpendek* antar titik, untuk selanjutnya dapat diterapkan pada kasus graf sederhana pada berbagai rute yang ingin diketahui panjang antar titik yang dibutuhkan. Contoh kasus yang akan diambil adalah seperti terlihat pada gambar 9 dengan kasus graf sederhana 10 titik.

Terdapat dua jenis kasus yang bisa diturunkan dari gambar di atas. Kasus pertama adalah mengetahui jarak antar node yang ditunjukkan dengan garis penghubung antar titik. Kasus yang kedua adalah dengan mengetahui koordinat titik saja. Gambar 9 merupakan jenis kasus yang pertama yaitu dengan mengetahui jarak antar titik. Untuk kasus pertama, penyelesaian cenderung lebih mudah karena jarak antar titik telah diketahui seperti pada Tabel 1.

Dilakukan prosedur algoritma genetika dengan mengambil 10 sampel individu dari populasi. Dan digunakan peluang *crossover* 100% dan peluang mutasi 50%.



Gambar 9. Ilustrasi kasus graf sederhana

Tabel 1. Jarak antar titik

Titik	ss	02	03	04	05	06	07	08	09	Dd
ss	0	5	5	7	0	0	0	0	0	0
02	0	8	2	12	15	10	0	0	0	0
03	8	0	7	12	8	0	0	0	0	0
04	0	0	0	0	6	0	15	0	0	0

Tabel 1. Jarak antar titik (lanjutan)

Titik	ss	02	03	04	05	06	07	08	09	Dd
05	0	12	6	15	4	7	15	6	0	0
06	0	0	0	0	0	0	0	9	15	0
07	0	0	0	0	7	0	0	10	15	0
08	0	0	0	0	0	9	10	0	4	0
09	0	0	0	0	6	15	0	0	0	0
dd	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 2. Hasil percobaan pencarian jalur terpendek

Percobaan	Invidu Terbaik	Nilai Objektif		Gen. Akhir	Waktu Komput. (ms)
		Jarak (meter)	Waktu (menit)		
1	ss040509dd	31	0.0465	18	2719
2	ss040509dd	31	0.0465	23	3484
3	ss040509dd	31	0.0465	13	1906
4	ss040509dd	31	0.0465	10	1579
5	ss040509dd	31	0.0465	16	2547
6	ss040509dd	31	0.0465	18	2828
7	ss040509dd	31	0.0465	12	1844
8	ss040509dd	31	0.0465	11	1750
9	ss040509dd	31	0.0465	10	1579
10	ss040509dd	31	0.0465	12	1859
11	ss040509dd	31	0.0465	10	1328
12	ss040509dd	31	0.0465	12	2062
13	ss030608dd	32	0.048	10	1672
14	ss040509dd	31	0.0465	16	2469
15	ss040509dd	31	0.0465	10	1515
16	ss040509dd	31	0.0465	13	2093
17	ss040509dd	31	0.0465	10	1531
18	ss040509dd	31	0.0465	12	1860
19	ss040509dd	31	0.0465	19	2765
20	ss040509dd	31	0.0465	15	2203
<b>Total</b>				<b>270</b>	<b>41593</b>
<b>Rata-rata</b>				<b>13.5</b>	<b>154.04815</b>

Setelah dilakukan 20 kali percobaan pencarian jalur terpendek dengan algoritma genetika standar diperoleh hasil seperti pada Tabel 2.

Diperoleh sebuah individu terbaik dengan jalur paling optimal yaitu "ss 04 05 09 dd" dengan jarak tempuh 31 m dan dengan persentase kesalahan sebesar 5%.

## 5. Kesimpulan dan Saran

### 5.1 Kesimpulan

- a. Algoritma genetika hibrid dapat menyelesaikan masalah jalur terpendek.
- b. Parameter jumlah anggota populasi, peluang *crossover*, dan peluang mutasi yang dipilih harus disesuaikan dengan metode yang akan digunakan, misalnya ketika metode menitikberatkan pada proses persilangan, maka peluang *crossover* harus dibuat 100%.
- b. Individu terbaik yang diperoleh dengan AGH pada jalur optimal yaitu "ss 04 05 09 dd" dengan jarak tempuh 31 m dan dengan persentase kesalahan sebesar 5%.
- c. Secara konsep algoritma, metode konvensional lebih mudah untuk dipahami, namun hasil yang diperoleh dari metode heuristik lebih variatif.

### 5.2 Saran

- a. Diperlukan pengembangan lain dari Algoritma Genetika baik dari sisi konsistensi solusi dan waktu komputasi karena masih banyak kemungkinan metode lain yang dapat diadopsi ke dalam algoritma ini.
- b. Diharapkan adanya penelitian lebih lanjut yang dapat menghasilkan sebuah solusi optimal terbaik dengan waktu komputasi yang lebih kecil.

## 6. Daftar Pustaka

- Ahn and Ramakrishna., *GA For SP Routing Problem and The Sizing of populations*, IEEE Transactions On Evolutionary Computation, vol.6, No 6, Desember 2002, 567-571
- Buckley, Fred and Frank Harary. 1990. *Distance in Graph*, Addison Wesley Publishing Company.
- Deo, Marsingh. 2001. *Graph Theory Application to Engineering and Computer Science*. Prentice Hall Inc. New Delhi
- Kusumadewi, S., H., Purnomo. 2005. *Penyelesaian Masalah Optimasi dengan Teknik-teknik Heuristik*. Graha Ilmu, Yogyakarta
- Munir, Rinaldi. 2005. *Matematika Diskrit*. Informatika, Bandung
- Munir, Rinaldi. 2007. *Algoritma dan Pemrograman*. Informatika, Bandung
- Rosen, Kenneth H. 1991. *Discrete mathematics and its application 2nd*. Vaga New York.
- Sivanandam, S.N., Deepa, S.N., *Introduction to Genetic Algorithms*, New York, Springer Berlin Heidelberg, 2008, 30-60
- Suarga. 2006. *Algoritma Pemrograman*. Andi, Yogyakarta