Majalah Ilmiah
Informatika, Komputer, dan Bisnis

ISSN 1410 - 9158

FORMAT

Volume 10, Nomor 1, Januari 2009

Aplikasi Nilai Laporan Praktikum On-Line
Adi Kusjani

Penyelesaian Model Transportasi Bikriteria dengan Algoritma Genetik
Ariesta Damayanti

Survei dan Perbandingan Berbagai Software Bebas Pembangun Ontologi
Bambang Purnomosidi D.P.

Aplikasi Penyelesaian Integral Rangkap Dua Menggunakan Metode Monte Carlo
F. Wiwiek Nurwiyati

Implementasi Advanced Encryption Standard (AES) (RIJNDAEL) pada Mikrokontroler ATMega 8
Totok Budioko

Internal Integrated Marketing Strategi untuk Meraih Keunggulan Bersaing Jangka Panjang
Budi Sugiharjo

SEKOLAH TINGGI MANAJEMEN INFORMATIKA DAN KOMPUTER AKAKOM
YOGYAKARTA

Majalah Ilmiah

Informatika, Komputer, dan Bisnis

FORMAT

PELINDUNG:
Ketua Yayasan Pendidikan Widya Bakti

KETUA UMUM:
Ketua STMIK AKAKOM Yogyakarta

KETUA DEWAN REDAKSI:
Bambang P.D.P., S.E., Akt., S.Kom., M.MSi.

ANGGOTA DEWAN REDAKSI:
Ir. F. Soesianto, B. Sc.E., Ph.D.
Prof. H. Adhi Susanto, M.Sc., Ph.D.
Drs. Tri Prabawa, M.Kom.
Ir. Surjono, M.Phil.
Ir. Sudarmanto, M.T.
Ir. M. Guntara, M.T.
Ir. Totok Suprawoto, M.M.
Budi Sugihardjo, S.E., M.M.
Heru Agus Triyanto, S.E., M.M.

REDAKTUR PELAKSANA:
Indra Yatini Buryadi, S.Kom., M.Kom.

SEKRETARIS:
Al. Agus Subagyo, S.E., M.Si.

LAYOUT dan PRODUKSI:
Dison Librado, S.E., M.Kom.

SIRKULASI:
Totok Budioko, S.T.

DOKUMENTASI:
Dra. Torsinawati
Sukar

Majalah Ilmiah FORMAT diterbitkan empat bulan sekali oleh
STMIK AKAKOM dengan ISSN 1410 - 9158

Pendapat yang dinyatakan dalam majalah ini
adalah sepenuhnya pendapat pribadi
Segala sesuatu yang berhubungan dengan penerbitan majalah dapat disampaikan secara tertulis kepada redaksi

ALAMAT REDAKSI:
STMIK AKAKOM
Jl. Raya Janti, *Ring Road* Timur, Yogyakarta 55198
Telepon : 62-274-486664
Faksimile : 62-274-486438 E-mail : format@netexecutive.com

Dari R

Ka
Esa hingg
ketiga, ta
perluas c
sesuai de

D
masi Ge
Karakter.
Penduku
Penjuala
XML, ya

H
faat bagi
ma kasih
majalah
perbaika

Daf

Sistem
FX. Hen
Metode
Indra Ya
Teknolo
Wagito,
Sistem
Ariesta
Sistem
Rudiant
Protek
Rudian

PENYELESAIAN MODEL TRANSPORTASI BIKRITERIA DENGAN ALGORITMA GENETIK

Oleh: Ariesta Damayanti

ABSTRAK

Algoritma genetik adalah algoritma pencarian stokastik yang didasarkan atas mekanisme seleksi alam dan genetik alami. Dengan solusi yang dapat dihasilkan dengan menggunakan algoritma genetika, dapat membantu manusia untuk mendukung keputusan yang akan diambil dalam suatu permasalahan.

Model transportasi 2-kriteria merupakan model transportasi yang lebih mendekati masalah nyata karena menggunakan lebih dari satu kriteria (dua) dalam penentuan obyektifnya. Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan dan mengkaji penggunaan algoritma genetik dalam penyelesaian masalah transportasi 2-kriteria.

Pada penelitian ini dilakukan implementasi algoritma genetik untuk penyelesaian model transportasi 2-kriteria. Implementasi program dilakukan menggunakan Matlab 7.01. Sebagai studi kasus digunakan masalah transportasi dari 3 pabrik ke 4 lokasi proyek. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa algoritma genetik dapat digunakan untuk penyelesaian model transportasi 2-kriteria.

Kata Kunci: algoritma genetik, algoritma genetik untuk penyelesaian model transportasi, model transportasi 2-kriteria

1 PENDAHULUAN

Model transportasi merupakan suatu model yang digunakan untuk mengatur distribusi dari sumber-sumber yang menyediakan produk yang sama, ke tempat-tempat yang membutuhkan secara optimal. Alokasi produk ini harus diatur sedemikian rupa, karena terdapat perbedaan biaya-biaya alokasi dari satu sumber ke tempat-tempat tujuan yang berbeda-beda, dan dari beberapa sumber ke suatu tempat tujuan yang juga berbeda-beda. Di samping itu, model transportasi juga dapat digunakan untuk memecahkan masalah-masalah bisnis lain yang meliputi analisis lokasi, keseimbangan lini perakitan, *schedulling* produksi serta beberapa masalah lain.

Algoritma genetik adalah algoritma pencarian heuristik yang didasarkan atas mekanisme evolusi biologis. Algoritma ini pertama kali dikembangkan oleh John Holland dari Universitas Michigan (1975). John Holland mengatakan bahwa setiap masalah yang berbentuk adaptasi (alami maupun buatan) dapat diformulasikan dalam terminologi genetis. Dengan kata lain, algoritma genetik adalah simulasi dari proses evolusi Darwin dan operasi genetik atas kromosom.

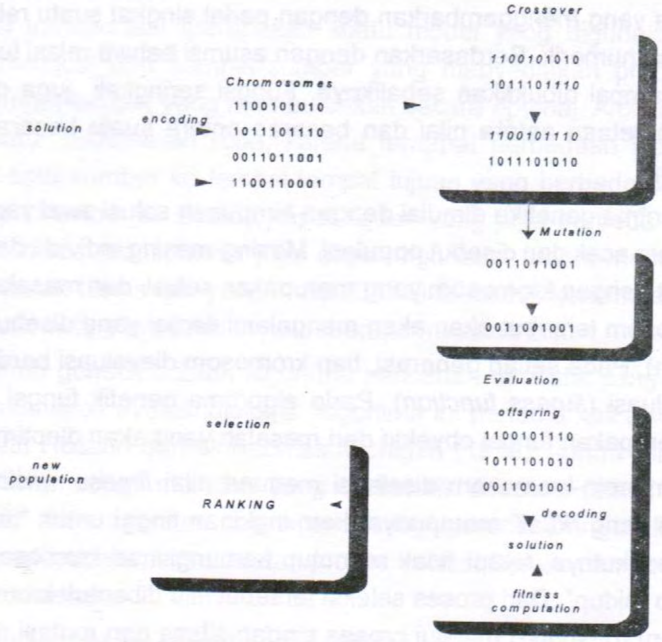
Salah satu bentuk model permasalahan yang dapat diselesaikan dengan algoritma genetik ini adalah penyelesaian masalah transportasi (Ariesta, 2007). Dalam penelitian ini, peneliti akan membahas model transportasi 2-kriteria yang akan dikaji dengan menggunakan algoritma genetik. Model transportasi 2-kriteria merupakan model transportasi yang lebih mendekati masalah nyata karena menggunakan lebih dari satu kriteria (dua) dalam penentuan obyektifnya.

2 DASAR TEORI

Algoritma genetika bekerja berdasarkan inspirasi mekanisme seleksi alam dengan individu yang lebih kuat menjadi pemenang dari lingkungan yang berkompetisi. Konsep dasar algoritma genetik relatif mudah dipahami, karena komponen-komponen pembentuk algoritma ini mencerminkan kehidupan di alam, seperti contohnya mekanisme seleksi, pindah silang dalam matematika yang menggambarkan dengan padat singkat suatu relasi antara dua besaran numerik. Berdasarkan dengan asumsi bahwa relasi tesebut ada dan unik sampai dibuktikan sebaliknya. Fungsi seringkali juga dinyatakan sebagai pemetaan antara nilai dan besaran antara suatu besaran dengan besaran lain.

Algoritma genetika dimulai dengan himpunan solusi awal yang dibangkitkan secara acak dan disebut populasi. Masing-masing individu dalam populasi disebut dengan kromosom yang merupakan solusi dari masalah. Kromosom-kromosom tersebut akan akan mengalami iterasi yang disebut generasi (*generation*). Pada setiap generasi, tiap kromosom dievaluasi berdasar pada fungsi evaluasi (*fitness function*). Pada algoritma genetik fungsi *fitness* biasanya merupakan fungsi obyektif dari masalah yang akan dioptimasi.

Kromosom-kromosom diseleksi menurut nilai *fitness* masing-masing. Kromosom yang "kuat" mempunyai kemungkinan tinggi untuk "hidup" pada generasi berikutnya, tetapi tidak menutup kemungkinan kromosom "lemah" untuk tetap "hidup". Dari proses seleksi tersebut lalu dibentuk kromosom-kromosom baru (offspring) melalui proses pindah-silang dan mutasi dari kromosom yang terpilih (parents). Dari proses seleksi, pindah-silang, dan mutasi di atas maka terbentuk generasi baru. Proses di atas diulangi terus sampai sistem mencapai konvergen. Siklus algoritma genetika diilustrasikan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 *Struktur Umum Algoritma Genetik (Gen, 1997)*

Misalkan P(t) dan C(t) merupakan parent dan offspring pada generasi t, maka prosedur algoritma genetik secara umum adalah:

```
begin
   t ← 0;
      initialize P(t);
      evaluate P(t):
      while (not termination condition) do
         recombine P(t) to yield C(t);
         evaluate C(t);
         select P(t+1) from P(t) and C(t):
         t ← t+1;
   end;
end;
```

(Gen, 1997)

[illegible] Transportasi

[illegible] pertama kali dikemukakan oleh Hitchcock pada [illegible]. Masalah transportasi meliputi pengiriman atau suplai barang [illegible] ke tujuan, di mana tiap-tiap permintaan menunjukkan [illegible] barang-barang tersebut. Tujuan dari masalah transportasi ini [illegible] mengalokasikan suplai yang tersedia dari masing-masing [illegible] suatu optimalisasi ukuran untuk mencukupi kebu- [illegible].

[illegible] yang digunakan pada masalah transportasi untuk fung- [illegible] meminimalkan total biaya transportasi atau untuk memaksi- [illegible] dari masing-masing alokasi.

[illegible] m sumber dan n tujuan, maka masalah transportasi terse- [illegible] sebagai sebagai model program linear berikut ini:

$$Z = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} C_{ij} X_{ij} \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^{n} X_{ij} = a_i, \quad i = 1,2,..,m \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{m} X_{ij} = b_j, \quad j = 1,2,..,n \quad (3)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \text{untuk i dan j} \quad (4)$$

[illegible] dari unit yang dikirimkan dari sumber ke i ke tujuan [illegible] pengiriman satu unit dari sumber i ke tujuan j, adalah nilai [illegible] di sumber i, dan bij adalah nilai dari unit yang dibutuh- [illegible] kendala (2) adalah kendala suplai, dan batasan (3) adalah [illegible].

[illegible] masalah transportasi seperti dinyatakan di atas, menga- [illegible] suplai dan total kebutuhan adalah setimbang, yang di- [illegible]

$$\sum_{i=1}^{m} ai = \sum_{j=1}^{n} bj \qquad (5)$$

Dengan asumsi bahwa terjadi kondisi yang setimbang, masalah transportasi selalu memiliki suatu bentuk penyelesaian. Sebagai contoh, dapat ditunjukkan bahwa:

$$xij = \frac{aibj}{\sum i\, ai} \qquad i = 1,2,...m \qquad j = 1,2,...n, \text{ adalah solusi yang layak.}$$

Dengan catatan, untuk masing-masing penyelesaian yang layak, setiap komponen dibatasi dengan:

$$0 \le xij \le \min \{ai, bj\}$$

Masalah transportasi direpresentasikan seperti pada Gambar 2.2, di mana baris pada tabel menggambarkan sumber, kolom menggambarkan tujuan, dan sel pada baris ke i dan kolom ke j menggambarkan variabel keputusan xij. Koefisien biaya Cij dituliskan pada bagian sudut atas.

Dari \ Ke	1	2	...	n	Suplai
1	C_{ii} X_{11}	C_{12} X_{12}	$1n$	C_{1n} X_{1n}	a_1
2	C_{ii21} X_{21}	C_{12} X_{22}	$1n$	C_{1n} X_{2n}	a_2
...					...
M	X_{m1}	X_{m}		X_{mn}	a_m
Kebutuhan	b_1	b_2	...	b_n	

Gambar 2.2 *Tabel Transportasi*

Setiap sel dalam tabel mewakili jumlah yang dipindahkan dari satu sumber ke satu tempat tujuan. Jadi jumlah yang ditempatkan dalam tiap sel adalah nilai satuan variabel keputusan untuk sel tersebut.

2.2 Masalah Transportasi 2-Kriteria

Masalah transportasi 2-kriteria merupakan bentuk yang lebih mendekati masalah yang sebenarnya. Masalah transportasi 2-kriteria merupakan bentuk khusus dari masalah transportasi berobyektif banyak, yaitu hanya mempunyai 2 buah obyektif (kriteria) saja. Misalnya: biaya angkut minimum sekaligus juga biaya untuk kerusakan produk. Obyektif yang harus diselesaikan merupakan gabungan dari kedua kriteria tersebut.

Formulasi untuk model transportasi 2-kriteria dapat disajikan sebagai berikut:

Minimumkan $$z_1 = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} C^1{}_{ij} x_{ij} \qquad (1)$$

Minimumkan $$z_2 = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} C^2{}_{ij} x_{ij} \qquad (2)$$

Dengan $$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = a_i, \qquad \text{i=1,2,...,m} \qquad (3)$$

$$\sum_{i=1}^{m} x_{ij} = b_j, \qquad \text{j=1,2,...n} \qquad (4)$$

dengan $z^1_{\min}$ =min $\{z_1(x) \mid x \in E$ untuk i dan j (5)

Anggap E merupakan himpunan solusi *non-dominated*. Dua titik penting yang perlu diperhatikan adalah: yang satu titik berisi $z^1_{\min}$ dan yang lain $z^2_{\min}$.

$$z^1_{\min} = \min \ \{z_1(x) \mid x \in E$$

$$z^1_{\max} = \max \ \{z_1(x) \mid x \in E$$

$$z^2_{\min} = \min \ \{z_2(x) \mid x \in E$$

$$z^2_{\max} = \max \ \{z_2(x) \mid x \in E$$

Kemudian dapat diturunkan fungsi obyektif baru berdasar 2 titik khusus tersebut: $z = \alpha z_1 + \beta z_2$

Dengan $\alpha = | z^2_{\max} - z^2_{\min} |$

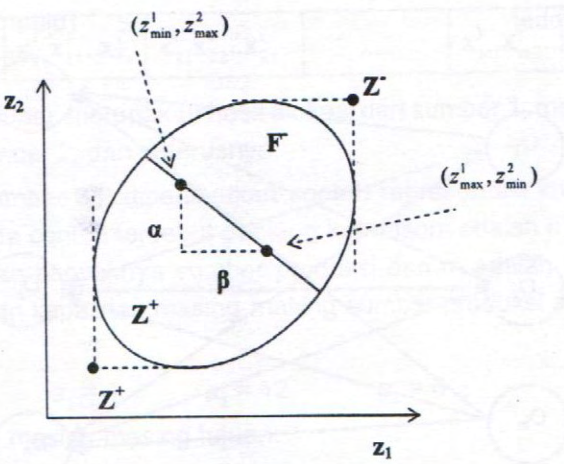
$$\beta = | z^1_{\max} - z^1_{\min} |$$

Sehingga fungsi obyektifnya dapat ditulis ulang sebagai berikut:

$$z = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} c_{ij} x_{ij}$$

dengan $c_{ij} = \alpha c^1_{ij} + \beta c^2_{ij}$

Bentuk obyektif untuk model transportasi 2-kriteria di atas diberikan pada Gambar 2.3.



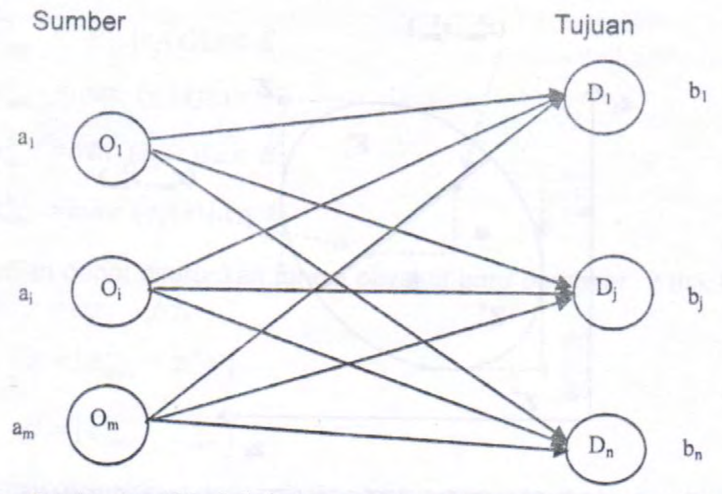
Gambar 2.3 *Obyektif dari Masalah Transportasi 2-Kriteria*

Terdapat beberapa teknik penyelesaian masalah transportasi 2-kriteria. Teknik paling dasar adalah *linear programming*. Teknik ini mempunyai kelemahan yaitu penyelesaian secara matematis yang kompleks di samping kompleksitas komputasi yang O(n2). Pada penelitian ini akan digunakan algoritma genetik untuk penyelesaian masalah transportasi 2-kriteria di atas.

3 REPRESENTASI MASALAH KE DALAM ALGORITMA GENETIK

Representasi permasalahan dan pemodelan fungsi evaluasi merupakan konsep yang paling penting dalam penyelesaian permasalahan dengan algoritma genetik. Representasi solusi merupakan bentuk hasil akhir dari masalah yang akan diselesaikan.

Suatu matriks dimungkinkan sebagai representasi paling alami dari suatu solusi untuk masalah transportasi. Alokasi matriks dari masalah transportasi 2-kriteria dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 3.1 *Ilustrasi Model Jaringan dari Masalah Transportasi 2-kriteria*

$$X_p = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} \dots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

Dengan x_p merepresentasikan kromosom ke-p dan x_{ij} bersesuaian dengan variabel keputusan.

Untuk permasalahan penyelesaian model transportasi 2-kriteria tujuannya harus memenuhi 2 kriteria yang diinginkan, misalnya: biaya transportasi minimum dan kerusakan produk yang juga harus diminimalkan (misalnya: produk berupa sayuran yang cepat rusak/busuk). Pada algoritma genetik deskripsi tersebut direpresentasikan sebagai suatu kromosom yang terdiri atas gen-gen. Gen-gen tersebut berupa bilangan bulat yang merepresentasikan alokasi yang diberikan, yang dapat diformulasikan sebagai berikut:

$x^1 =$	x^1_1

dengan suatu
alokasi dari sumber

Pada Gamba
digunakan. Pada co
dengan n adalah b
juan. Sedangkan ka
berikut:

$a_1 = 8$, a

dan kebutuhan masi

$b_1 = 3$, b

1	0	0	7	0

Gamb

3.1 Hasil Penyel

Tujuan dari imp
dari sumber-sumber p
yang minimal. Implem
LAB. Dalam hal ini u
parameter-parameter
dan parameter mutasi.

$x^i =$	$x^i_{11}x^i_{12}..x^i_{1n}$	$x^i_{21}x^i_{22}..x^i_{2n}$	.....	$x^i_{m1}x^i_{m2}..x^i_{mn}$

dengan suatu merupakan hasil alokasi dari sumber 1, merupakan hasil alokasi dari sumber 2, dan seterusnya.

Pada Gambar 3.2 diperlihatkan contoh representasi kromosom yang digunakan. Pada contoh tersebut panjang kromosom adalah n*m = 4*5 = 20, dengan n adalah banyaknya sumber produksi dan m adalah banyaknya tujuan. Sedangkan kapasitas masing-masing sumber produksi adalah sebagai berikut:

$a_1 = 8$, $a_2 = 4$, $a_3 = 12$, $a_4 = 6$

dan kebutuhan masing-masing tujuan:

$b_1 = 3$, $b_2 = 5$, $b_3 = 10$, $b_4 = 7$, $b_5 = 5$

1	0	0	7	0	0	4	0	0	0	2	1	4	0	5	0	0	6	0	0

1	0	0	7	0
0	4	0	0	0
2	1	4	0	5
0	0	6	0	0

Gambar 3.2 *Contoh Representasi Kromosom*

3.1 Hasil Penyelesaian dengan Algoritma Genetik

Tujuan dari implementasi program adalah mencari alokasi yang optimal dari sumber-sumber produksi ke tujuan yang menghasilkan biaya transportasi yang minimal. Implementasi dilakukan dengan menggunakan program MATLAB. Dalam hal ini unjuk kerja program dipengaruhi sekali oleh pemilihan parameter-parameter genetik, yaitu: jumlah populasi, parameter crossover, dan parameter mutasi.

Hasil simulasi program yang diperoleh akan menghasilkan biaya transportasi minimal dan juga alokasi dari sumber-sumber produksi ke tujuan. Model transportasi yang digunakan adalah transportasi 2-kriteria yang seimbang. Sebagai masukan dipergunakan jumlah produksi masing-masing sumber dan kebutuhan dari tiap tujuan. Masukan lain yang digunakan adalah 2 jenis biaya, yaitu biaya angkut dan biaya kerusakan produk, dari tiap sumber ke tiap tujuan.

Sebagai bahan pengujian, program genetik yang dibuat akan digunakan untuk untuk menyelesaikan pemecahan masalah transportasi 2-kriteria yang optimal untuk masalah transportasi dari 3 pabrik S1, S2, S3 ke 4 lokasi proyek T1, T2, T3, dan T4.

Tabel 3.1 *Tabel Persediaan-Permintaan (dalam ton)*

Pabrik bahan bangunan	Suplai	Lokasi proyek	Kebutuhan
S1	8	T1	11
S2	19	T2	3
S3	17	T3	14
		T4	16

Informasi biaya angkut per-satuan barang dari pabrik ke lokasi proyek dalam ribu rupiah disajikan dalam Tabel 3.2.

Tabel 3.2 *Tabel Biaya Angkut (dalam ribu rupiah)*

Proyek / Dari	T1	T2	T3	T4
S1	1	2	7	7
S2	1	9	3	4
S3	8	9	4	6

Sedangkan biaya untuk setiap kerusakan produk disajikan dalam Tabel 3.3.

Tabel 3.3 *Tabel Biaya Kerusakan Produk (dalam ribu rupiah)*

Proyek / Dari	T1	T2	T3	T4
S1	4	4	3	4
S2	5	8	9	10
S3	6	2	5	1

Permasalahan di atas diselesaikan dengan model transportasi 2-kriteria, dan kemudian ditransformasikan ke dalam formulasi algoritma genetik. Kemudian ditentukan parameter-parameter masukan yang dapat dimasukkan ke dalam program genetik yang dibuat.

Dari masalah di atas dapat dibuat formulasi matematisnya sebagai berikut:

Minimumkan z1 = x11 + x12 + 7x13 + 7x14 + x21 + 9x22 + 3x23 + 4x24 + 8x31 + 9x32 + 4x33 + 6x34

Minimumkan z2 = 4x11 + 4x12 + 3x13 + 4x14 + 5x21 + 8x22 + 9x23 + 10x24 + 6x31 + 2x32 + 5x33 + x34

Dengan batasan:

$$\sum_{j=1}^{4} x_{1j} = 8, \quad \sum_{j=1}^{4} x_{2j} = 19, \quad \sum_{j=1}^{4} x_{3j} = 17$$

$$\sum_{i=1}^{3} x_{i1} = 11, \quad \sum_{i=1}^{3} x_{i2} = 3, \quad \sum_{i=1}^{3} x_{i3} = 14, \quad \sum_{i=1}^{3} x_{i4} = 16$$

Dan xij ≥ untuk semua nilai i dan j.

Berdasar data-data di atas dapat dibuat matriks biaya sebagai masukan ke program sebagai berikut:

Matriks biaya angkut: $\begin{bmatrix} 5 & 10 & 10 & 3 \\ 20 & 30 & 20 & 25 \\ 5 & 8 & 12 & 6 \\ 10 & 21 & 30 & 10 \end{bmatrix}$

Matriks biaya kerusakan produk: $\begin{bmatrix} 3 & 10 & 7 & 3 \\ 2 & 5 & 3 & 15 \\ 4 & 8 & 9 & 4 \\ 11 & 7 & 4 & 11 \end{bmatrix}$

Sedangkan masukan lain untuk program genetik yang dibuat adalah panjang kromosom, yaitu: n*m = 3*4 = 12, dengan n adalah banyaknya sumber produksi dan m adalah banyaknya tujuan.

3.1.1 Perumusan Fungsi Evaluasi

Fungsi evaluasi sebagai fungsi *fitness* dan ruang solusi merupakan kebutuhan pokok untuk menjalankan pemrograman dalam algoritma genetik. Fungsi evaluasi dan ruang solusi menjabarkan kemampuan program dalam menyelesaikan masalah sesuai kriteria yang ditetapkan.

Masing-masing kromosom dievaluasi kedekatannya dengan obyektif dengan menggunakan fungsi evaluasi. Berdasar uraian di atas, maka fungsi obyektif untuk masalah transportasi 2-kriteria dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Min } z = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} c_{ij}x_{ij}$$

Dengan:

$$\text{cij} = \alpha c^1_{ij} + \beta c^2_{ij}$$

cij = biaya (transportasi) dari sumber produksi i ke tujuan j

xij = alokasi yang diberikan dari sumber produksi i ke tujuan j

Dan

$$\alpha = | z^2_{max} - z^2_{min} |$$

$$\beta = | z^1_{max} - z^1_{min} |$$

Sedangkan

$$z^1_{min} = \min \{z_1(x) \mid x \in E$$

$$z^1_{max} = \max \{z_1(x) \mid x \in E$$

$$z^2_{min} = \min \{z_2(x) \mid x \in E$$

$$z^2_{max} = \max \{z_2(x) \mid x \in E$$

3.2 Proses Crossover dan Mutasi

3.2.1 Crossover

Proses crossover dilakukan berdasar 3 langkah berikut. Asumsikan bahwa 2 matriks $X_1 = (x^1_{ij})$ dan $X_2 = (x^2_{ij})$ dipilih sebagai induk untuk operasi crossover. Operasi crossover terdiri dari 3 langkah:

Langkah 1.

Buat 2 buah matriks sementara, $D = (d_{ij})$ dan $R(r_{ij})$ sebagai berikut:

$$d_{ij} = \lfloor (x^1_{ij} + x^2_{ij})/2 \rfloor$$

$$r_{ij} = \lfloor (x^1_{ij} + x^2_{ij}) \bmod 2 \rfloor$$

Matriks D memberikan nilai rata-rata dari kedua induk, dan matriks R memberikan nilai pembulatan jika dibutuhkan. Hubungan antara kedua matriks tersebut diberikan pada persamaan di bawah ini:

$$a_i - \sum_{j=1}^{n} d_{ij} = \frac{1}{2}\sum_{j=1}^{n} r_{ij}, \quad i = 1,2,\ldots,m$$

$$b_i - \sum_{j=1}^{n} d_{ij} = \frac{1}{2}\sum_{j=1}^{n} r_{ij}, \quad i = 1,2,\ldots,n$$

Kedua persamaan tersebut menjelaskan dua hal berikut:

a. Jumlah "1" pada setiap baris dan kolom adalah genap, yang berarti bahwa jumlah marginal dari baris dan kolom $\sum_j^n = 1 \; r_{ij}$ dan $\sum_j^m = 1 \; r_{ij}$ bernilai genap integer.

b. Nilai dari jumlah marginal baris matriks R sama dengan nilai dua kali selisih antara jumlah marginal baris matriks D yang bersesuaian dengan suplai $a_i - \sum_j^n = 1 \; d_{ij}$, dan nilai dari jumlah marginal kolom matriks R sama dengan dua kali selisih dari jumlah marginal kolom matriks D dan bersesuaian dengan kebutuhan $b_j - \sum_i^m 1 d_{ij}$.

Langkah 2.

Bagi matriks R menjadi 2 buah matriks: $R^1 = r_{ij}^1$ dan $R^2 = r_{ij}^2$, sehingga:

$$R = R^1 + R^2$$

$$\sum_{j=1}^{n} r_{ij}^1 = \sum_{j=1}^{n} r_{ij}^2 = \frac{1}{2}\sum_{j=1}^{n} r_{ij}, \quad i = 1,2,3,\ldots,n$$

$$\sum_{i=1}^{m} r_{ij}^1 = \sum_{i=1}^{m} r_{ij}^2 = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{m} r_{ij}, \quad j = 1,2,3,\ldots,m$$

Langkah 3.

Kemudian buat 2 buah anak X'1 dan X'2 dengan ketentuan sebagai berikut:

$$X_1' = D + R^1$$

$$X_2' = D + R^2$$

Gambar 3.3 menunjukkan dua buah induk yang dipilih untuk crossover untuk kasus transportasi dengan 4 sumber dan 5 tujuan, dan constraints berikut:

$a_1 = 8$, $a_2 = 4$, $a_3 = 12$, $a_4 = 6$

$b_1 = 3$, $b_2 = 5$, $b_3 = 10$, $b_4 = 7$, $b_5 = 5$

Induk X1

1	0	0	7	0
0	4	0	0	0
2	1	4	0	5
0	0	6	0	0

Induk X2

0	0	5	0	3
0	4	0	0	0
0	0	5	7	0
3	1	0	0	2

Gambar 3.3 *Dua Buah Induk untuk Crossover*

Kemudian dibentuk matriks D dan R seperti pada Gambar 3.4.

Matriks D

0	0	2	3	1
0	4	0	0	0
1	0	4	3	2
1	0	3	0	1

Matriks R

1	0	1	1	1
0	0	0	0	0
0	1	1	1	1
1	1	0	0	0

Gambar 3.4 *Matriks D dan R*

Selanjutnya matriks R dipecah menjadi matriks R1 dan R2 seperti pada Gambar 3.5.

Matriks R^1

0	0	1	0	1
0	0	0	0	0
0	1	0	1	0
1	0	0	0	0

Matriks R^2

1	0	0	1	0
0	0	0	0	0
0	0	1	0	1
0	1	0	0	0

Gambar 3.5 *Matriks R1 dan R2*

Sebagai hasil akhir, dua buah anak yang dihasilkan ditunjukkan pada Gambar 3.6.

Anak X'_1

0	0	3	3	2
0	4	0	0	0
1	1	4	4	2
2	0	3	0	1

Anak X'_2

1	0	2	4	1
0	4	0	0	0
1	0	5	3	3
1	1	3	0	1

Gambar 3.6 Anak X'_1 *dan* Anak X'_2

3.2.2 Mutasi

Proses mutasi dilakukan dalam 3 langkah berikut:

Langkah 1:

Buat satu submatriks dari satu induk yang dipilih secara acak. Secara acak pilih baris {i1, ...,ip} dan kolom {j1, ...,jq} untuk menghasilkan (p*q) submatriks Y = (yij), di mana {i1, ...,ip} merupakan subset dari {1,2,...,m} dan $2 \le p \le m$, {j1, ...,jq} merupakan subset dari {1,2,...,n} dan $2 \le q \le n$, dan nilai yij diperoleh dari posisi baris i dan kolom j terpilih dari matriks induk.

Langkah 2:

Realokasi submatriks yang terbentuk. Nilai dari sumber a_i^y dan tujuan a_i^y ditentukan berdasar rumus berikut:

$$a_i^y = \sum_{j \in \{1,\dots,j_q\}} y_{ij}, \quad i = i1, i2, \dots, ip$$

$$b_j^y = \sum_{i \in \{1,\dots,i_q\}} y_{ij}, \quad j = j1, j2, \dots, jp$$

Langkah 3:

Ganti elemen pada posisi yang sesuai dari matriks induk dengan elemen baru dari *realocated* submatriks Y.

Gambar 3.7 menunjukkan induk yang terpilih untuk dimutasi.

Induk X

0	0	5	0	3
0	4	0	0	0
0	0	5	7	0
3	1	0	0	2

Gambar 3.7 *Induk Terpilih X*

Kemudian secara acak dipilih 2 baris {2, 4} dan 3 kolom {2, 3, 5}. Submatriks yang dihasilkan Y dan submatriks setelah realokasi ditunjukkan pada Gambar 3.8.

Submatriks Y

4	0	0
1	0	2

Setelah realokasi

2	0	2
3	0	0

Gambar 3.8 *Submatriks Y dan Setelah Realokasi*

Kemudian anak yang dihasilkan setelah mutasi ditunjukkan pada Gambar 3.9.

Anak

0	0	5	0	3
0	4	0	0	0
0	0	5	7	0
3	1	0	0	2

Gambar 3.9 *Anak Hasil Proses Mutasi*

3.3 Inisialisasi Populasi, Rekombinasi, dan Terminasi

Algoritma genetik melakukan iterasi dari generasi awal ke generasi berikutnya, sampai ditemukan kriteria penghentian iterasi. Inisialiasi populasi dilakukan secara acak. Pada penelitian ini metode seleksi yang digunakan adalah Roda Roulette

Pada tahap awal dilakukan pengaturan nilai-nilai paramater pengendalian untuk algoritma genetik. Parameter-paramater ini meliputi: ukuran populasi, laju *crossover* pc, laju mutasi pm, dan kriteria penghentian iterasi.

Berdasarkan kondisi non-negatif dan kondisi setimbang, prosedur inisialisasi berikut bertujuan untuk membangkitkan populasi awal yang melibatkan semua tujuan.

Prosedur : Inisialisasi

```
begin
{1,2,...,mn} ;
repeat
    select a random number from set ;
    calculate corresponding row and column;
    i ← ⌊(k−1)/n+1⌋;
    j ← (k−1) mod n+1;
    assign available amount of units to x_ij ;
    x_ij ← min{a_i,b_j} ;
    update data;
    a_i ← a_i - x_ij;
    b_j ← b_j − x_ij;
    π ← π \ {k};
  until (π becomes empty)
end
```

Terdapat beberapa kriteria penghentian atau terminasi, salah satunya adalah jumlah generasi. Hal ini biasanya diperoleh dengan metode trial and error. Jika hasilnya sudah konvergen atau sudah cukup memenuhi yang diinginkan, maka dapat diperoleh jumlah generasi. Kriteria penghentian yang lain adalah hasil optimum yang bisa diperoleh.

4 PENCAPAIAN SOLUSI OPTIMAL

Pencapaian solusi optimal dengan algoritma genetik diperoleh pada generasi yang berbeda untuk tiap kali percobaan. Hal ini di samping disebabkan oleh kerja pencarian algoritma genetik yang acak juga dikarenakan oleh populasi awal yang juga dilakukan secara acak, sehingga sistem mencapai solusi optimal pada generasi yang berbeda untuk tiap kali percobaan. Jumlah maksimum generasi yang dibutuhkan juga akan berbeda untuk masalah yang berbeda.

Gambar 4.1 menunjukkan pencapaian solusi optimal dan jumlah generasi yang dibutuhkan untuk kasus penyelesaian masalah transportasi. Dari gambar tersebut terlihat bahwa pada generasi-generasi awal terjadi penurunan *fitness* yang cukup tajam. Hal ini disebabkan pada generasi awal populasi dibangkitkan secara acak sehingga peluang kromosom untuk menyalahi kendala cukup tinggi dan solusi yang diperoleh juga masih jauh dari optimal.

Pencapaian solusi optimal diperoleh saat grafik mencapai kovergen. Sedangkan jumlah generasi maksimum ditetapkan 100 walaupun sistem dalam beberapa kali percobaan mencapai konvergen di generasi-generasi awal, karena dari beberapa percobaan konversi ini dicapai pada generasi yang berbeda-beda karena sifat acak dari algoritma genetik.

Pencarian biaya minimal untuk masalah transportasi linear seimbang dilakukan dengan menggunakan fungsi *fitness* berikut:

$$Fitness = \frac{1}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} C_{ij}x_{ij}}$$

Diperoleh kromosom terbaik sebagai berikut:

5 3 0 0 6 0 13 0 0 0 1 16

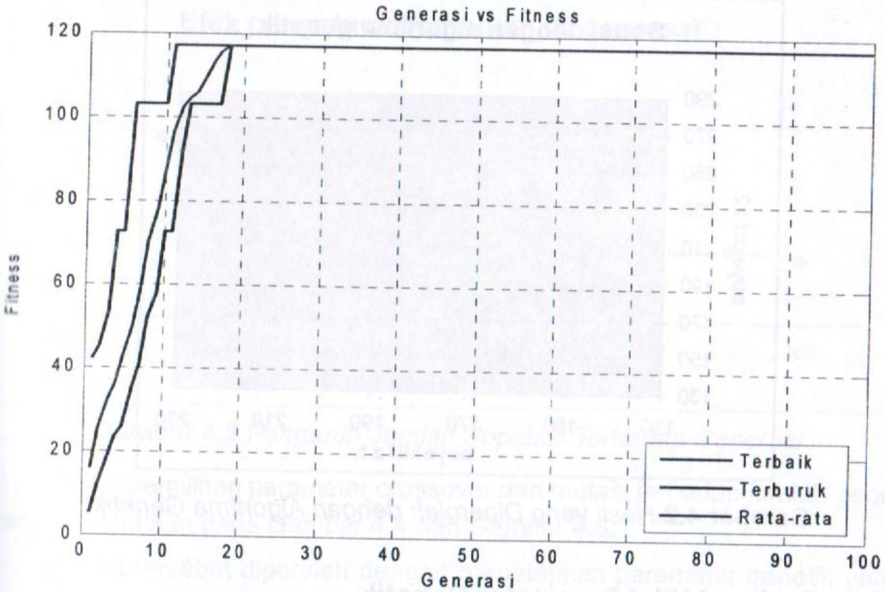
Sehingga menghasilkan nilai:

z1 = 156 dan z2 = 200

dengan alokasi yang dihasikan sebagai berikut:

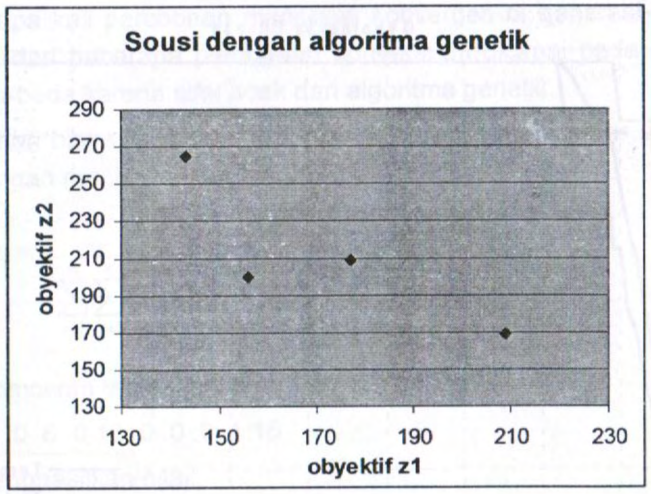
	T1	T2	T3	T4	Jumlah
S1	$x_{11} = 5$	$x_{12} = 3$	$x_{13} = 0$	$x_{14} = 0$	8
S2	$x_{21} = 6$	$x_{22} = 0$	$x_{23} = 13$	$x_{24} = 0$	19
S3	$x_{31} = 0$	$x_{32} = 0$	$x_{33} = 1$	$x_{34} = 16$	17
Jumlah	11	3	14	16	

Hasil ini merupakan trade-off antara 2 buah criteria yang harus dipenuhi, yaitu biaya angkut(z1) dan biaya kerusakan produk (z2).



Gambar 4.1 *Pencapaian Solusi Optimal pada Algoritma Genetik*

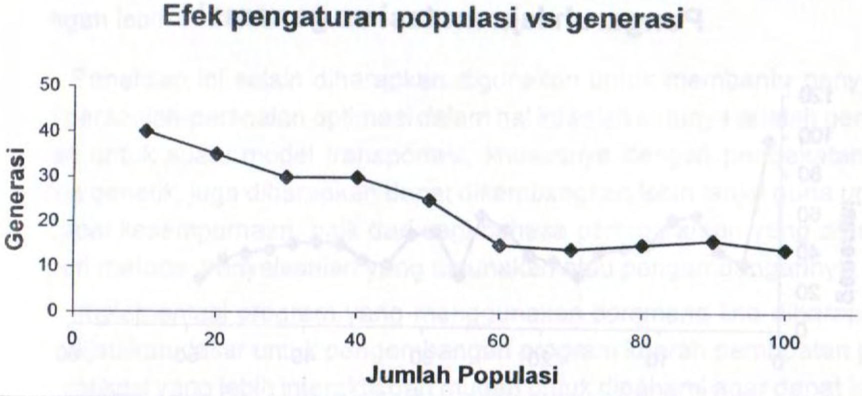
Karena algoritma genetik bekerja secara paralel dalam pencarian solusi, yaitu bekerja dalam sekumpulan solusi (kromosom), maka selain menemukan kromosom(solusi) terbaik seperti diatas, juga menghasilkan beberapa solusi yang lain sebagai alternatif solusi. Hasil solusi yang diperoleh dapat ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 *Hasil yang Diperoleh dengan Algoritma Genetik*

4.1 Evaluasi Nilai Parameter Genetik

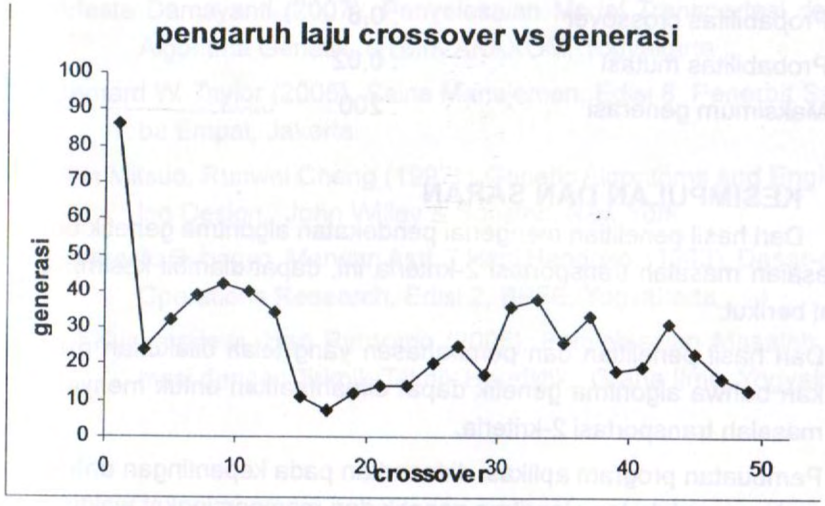
Pemilihan parameter-parameter genetik sangat berpengaruh terhadap jalannya program. Pemilihan parameter-parameter tersebut dilakukan dengan metode trial and error. Gambar 4.3 memperlihatkan efek pengaturan ukuran populasi terhadap jumlah generasi yang dibutuhkan agar sistem mencapai konvergen, pada kasus solusi persamaan diferensial. Terlihat bahwa terdapat kecenderungan untuk semakin besar jumlah populasi maka jumlah generasi yang dibutuhkan akan semakin kecil. Untuk ukuran populasi di bawah 60 terlihat penurunan jumlah generasi yang cukup besar dengan bertambahnya populasi. Sedangkan untuk ukuran populasi di atas 60 tidak terlihat perubahan yang signifikan pada jumlah generasi. Dalam hal ini diusahakan agar jumlah populasi tidak terlalu besar karena dengan semakin besarnya jumlah populasi maka beban komputasi yang dibutuhkan juga semakin besar. Dari grafik tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa ukuran populasi yang baik adalah sekitar 60.



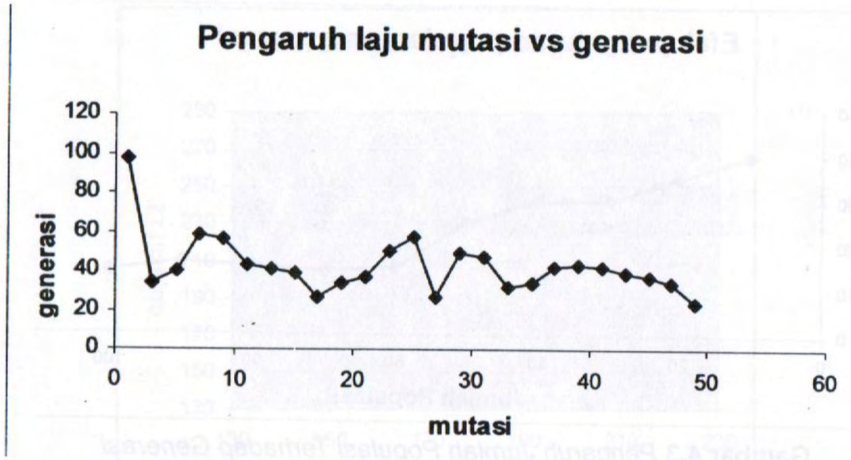
Gambar 4.3 *Pengaruh Jumlah Populasi Terhadap Generasi*

Efek pemilihan parameter crossover dan mutasi terhadap jumlah generasi diperlihatkan pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.5.

Hasil tersebut diperoleh dengan menetapkan parameter genetik yang lain pada nilai yang tetap, dengan variasi pada parameter yang diuji.



Gambar 4.4 *Efek Pemilihan Crossover Terhadap Generasi*



Gambar 4.5 *Efek Pemilihan Parameter Mutasi Terhadap Generasi*

Dari hasil percobaan yang dilakukan diperoleh parameter-parameter genetik yang optimal terhadap jalannya program sebagai berikut:

- Ukuran populasi : 50
- Probabilitas crossover : 0,8
- Probabilitas mutasi : 0,02
- Maksimum generasi : 200

5 KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian mengenai pendekatan algoritma genetik untuk penyelesaian masalah transportasi 2-kriteria ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan menunjukkan bahwa algoritma genetik dapat dimanfaatkan untuk menyelesaikan masalah transportasi 2-kriteria.
2. Pembuatan program aplikasi didasarkan pada kepentingan untuk menerapkan pendekatan algoritma genetik dan mempersingkat waktu pengerjaan sehingga untuk suatu penyelesaian matematis dapat diperoleh dengan lebih akurat dan teliti.

Penelitian ini selain diharapkan digunakan untuk membantu penyelesaian persoalan-persoalan optimasi dalam hal ini salah satunya adalah penyelesaian untuk suatu model transportasi, khususnya dengan pendekatan algoritma genetik, juga diharapkan dapat dikembangkan lebih lanjut guna untuk mencapai kesempurnaan, baik dari segi bahasa pemrograman yang dipakai maupun metode penyelesaian yang digunakan atau pengembangannya.

Implementasi program yang menggunakan command line diharapkan dapat dijadikan dasar untuk pengembangan program kearah pembuatan program aplikasi yang lebih interaktif dan mudah untuk dipahami agar dapat lebih mudah diterapkan.

6 DAFTAR PUSTAKA

1. Aneja, Y. and K.Nair, Bicriteria Transportation Problem, Management Science,vol.25,pp. 73-78, 1978.
2. Ariesta Damayanti (2007), Penyelesaian Model Transportasi dengan Algoritma Genetik, STMIK AKAKOM, Yogyakarta
3. Bernard W. Taylor (2005), Sains Manajemen, Edisi 8, Penerbit Salemba Empat, Jakarta
4. Gen Mitsuo, Runwei Cheng (1997) , Genetic Algorithms and Engineering Design, John Willey & SonsInc, New York
5. Pangestu Subagyo, Marwan Asri, T.Hani Handoko, (1993), Dasar-dasar Operations Research, Edisi 2, BPFE, Yogyakarta
6. Sri Kusumadewi, Hari Purnomo (2005), Penyelesaian Masalah Optimasi dengan Teknik-Teknik Heuristik, Graha Ilmu, Yogyakarta