

# PENJADWALAN MESIN BERTIPE JOB SHOP UNTUK MEMINIMALKAN MAKESPAN DENGAN METODE ALGORITMA GENETIKA (STUDI KASUS PT X)

Ria Krisnanti<sup>1</sup>, Andi Sudiarso<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada  
Jl. Grafika No. 2 Yogyakarta 55281

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada  
Jl. Grafika No. 2 Yogyakarta 55281

E-mail: ria.krisnanti@gmail.com, a.sudiarso@ugm.ac.id

## Abstrak

*Penjadwalan job shop merupakan permasalahan yang kompleks yang sering disebut np-hard problem di mana waktu penyelesaian masalah akan meningkat secara eksponensial seiring dengan berkembangnya luas permasalahan secara linear. Pada penelitian ini penjadwalan memiliki 146 job dalam simulasi waktu satu bulan. Penjadwalan ini memiliki 12 macam proses permesinan yang berbeda-beda, namun setiap job paling banyak melewati 4 proses permesinan. Selain itu, setiap proses permesinan memiliki sejumlah mesin yang dapat digunakan secara paralel, sehingga apabila suatu mesin sibuk maka job akan dialihkan ke mesin yang sama yang idle. Dalam penjadwalan ini juga diterapkan sistem grouping kelompok komponen satu produk, sehingga terdapat sekumpulan job yang harus dikerjakan dalam rentan waktu yang sama berdasarkan grup produk yang sama. Metode penjadwalan yang sedang dilakukan oleh PT.X adalah Earliest Due Date (EDD) dan Shortest Processing Time (SPT). EDD dan SPT ini akan dibandingkan dengan penjadwalan pendekatan kecerdasan buatan yaitu menggunakan metode Algoritma Genetika (AG). Parameter yang digunakan dalam AG ditentukan dengan metode Design of Experiment dengan  $3^3$  factorial design. Pada penelitian ini dibuat empat variasi model penjadwalan sebagai alternatif pilihan untuk penggunaan asumsi yang digunakan. Pada empat variasi model penjadwalan menggunakan AG tersebut, keempat variasi menunjukkan AG mampu menghasilkan makespan yang lebih singkat dibandingkan dengan metode EDD dan SPT. Pada asumsi satu mesin di setiap proses, metode EDD dan SPT memberikan makespan sebesar 135,1 jam sedangkan AG memberikan makespan sebesar 112,5 jam untuk sistem job acak dan 115,9 jam untuk sistem job grup produk. Pada asumsi semua mesin digunakan, metode EDD dan SPT memberikan makespan sebesar 38,1 jam sedangkan AG memberikan makespan sebesar 33,9 jam untuk sistem job acak dan 34,6 jam untuk sistem job grup produk.*

**Kata kunci:** penjadwalan mesin; job shop, algoritma genetika; makespan

## Pendahuluan

Proses penjadwalan adalah proses yang penting dalam dunia industri terutama di lantai produksi. Dalam proses penjadwalan, akan terlihat seberapa efisien lantai produksi dalam melakukan operasionalnya sehari-hari. Penjadwalan produksi juga mampu mengidentifikasi masalah pada sumber daya, mengontrol kapan job harus mulai dikerjakan dan kapan selesai dikerjakan (Hermann, 2006). Pada akhirnya, penjadwalan produksi berguna untuk meningkatkan produktivitas, dan meminimalkan biaya operasi (Hermann, 2007). Selain itu penjadwalan yang baik akan dapat meminimasi keterlambatan yang terjadi di perusahaan.

Permasalahan *job shop* adalah penjadwalan sejumlah pekerjaan pada sejumlah permesinan di mana urutan pekerjaan dari setiap pekerjaan berbeda. Setiap pekerjaan yang dijadwalkan memiliki proses yang spesifik melalui rangkaian permesinan yang spesifik (Applegate dan Cook, 1991). Penjadwalan *job shop* yang memiliki banyak parameter ini termasuk dalam *combinatorial optimization* yang kompleks maka permasalahan penjadwalan dapat dikatakan permasalahan *np-hard*, yaitu suatu permasalahan yang pencariannya akan naik secara eksponensial seiring dengan naiknya ukuran permasalahan secara linier (Betrianis dan Teguh, 2003).

Metode algoritma genetika telah mampu menyelesaikan berbagai macam permasalahan terkait dengan optimasi, termasuk dalam kasus *job shop*. Berdasarkan permasalahan tersebut, maka perlu dilakukan penelitian untuk melakukan penjadwalan mesin untuk mendapatkan metode penjadwalan yang terbaik. Analisis penjadwalan tersebut akan membandingkan antara metode EDD&SPT dengan penjadwalan berbasis metode algoritma genetika. Tujuan dari penjadwalan ini adalah meminimalkan *makespan* dengan menggunakan pemrograman penjadwalan yang mampu menjadwalkan *jobshop* dengan sistem multimesin dan sistem grup produk sesuai dengan kelompok produk.

## Metode Penelitian

### Data yang Digunakan

Data diperoleh dari *database* perusahaan yang diambil dari PT X. PT X menghasilkan sejumlah variasi produk dan jumlah produksi yang tinggi. Terdapat tiga jenis produk yang akan dijadwalkan. Komponen-komponen dari produk ini yang akan dijadwalkan sejumlah 146 *job*. Proses permesinan yang tersedia sebanyak 12 macam proses. Beberapa mesin juga memiliki sejumlah mesin cadangan. Terdapat empat variasi model untuk mewadahi berbagai asumsi. Empat variasi model tersebut antara lain:

1. setiap proses menggunakan satu mesin dan urutan *job* acak tidak sesuai dengan kelompok produk,
2. setiap proses menggunakan satu mesin dan urutan *job* sesuai dengan kelompok produk,
3. setiap proses menggunakan semua mesin termasuk mesin cadangan dan urutan *job* acak tidak sesuai dengan kelompok produk,
4. setiap proses menggunakan semua mesin termasuk mesin cadangan dan urutan *job* acak sesuai dengan kelompok produk.

### Tahapan Penelitian

Langkah pertama yang dilakukan adalah menghitung penjadwalan dengan metode EDD&SPT untuk mengetahui *makespan* yang dihasilkan. Perhitungan dengan menggunakan metode algoritma genetika dilakukan dengan menggunakan *software* MATLAB 2009a. Dalam perhitungan, digunakan sistem multi mesin dan sistem grup produk. Setelah mendapatkan *makespan* semua model dengan algoritma genetika, kemudian *makespan* tersebut dibandingkan dengan metode EDD dan SPT.

### Fungsi Tujuan

Tujuan yang hendak dioptimasi oleh model yaitu:

- a. Minimasi *Makespan*

*Makespan* dihitung dengan persamaan:

$$Makespan = \max \{C_j\} \quad (1)$$

Pada program MATLAB *makespan* dirumuskan dengan persamaan berikut:

$$Makespan = \text{Max} [(C_1 C_2 C_3 \dots C_{146})] \quad (2)$$

C adalah *completion time* yang didefinisikan sebagai jumlah dari waktu proses dan waktu tunggu. Persamaan dari C adalah:

$$C = P_{ij} + \text{Max} [C_j ; M_i] \quad (3)$$

di mana:

$C_{ij}$  = *completion time job j* di mesin *i*

$P_{ij}$  = lama proses *job j* di mesin *i*

Pada proses minimasi *makespan* ini, *fitness* dirumuskan dengan:

$$f = 1/Makespan \quad (4)$$

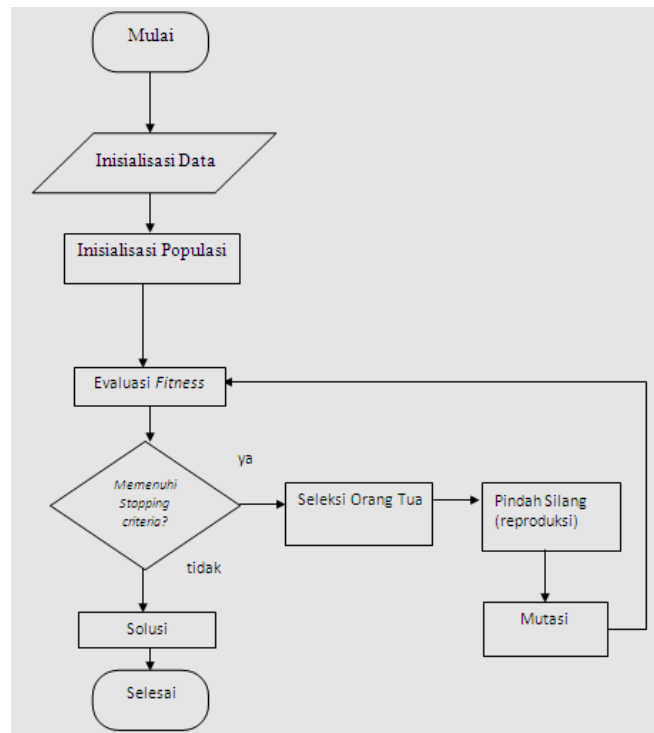
Variabel yang digunakan adalah:

1. *job set* = {J1,J2,J3,...,J146}

2. mesin = {M1,M2,M3,...,M12}

### Algoritma Genetika

Diagram alir pemrograman secara garis besar dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Algoritma Genetika

Langkah-langkah untuk melakukan penjadwalan dengan metode algoritma genetika dapat dijelaskan sebagai berikut.

#### 1). Inisialisasi Populasi

Inisialisasi populasi menggunakan *permutation encoding* seperti yang digunakan oleh Suyanto (2005). Gen dalam kromosom yang dibangkitkan dalam kasus ini merupakan permutasi dari bilangan 1 sampai 396.

#### 2). Evaluasi Individu

Kriteria yang digunakan dalam evaluasi individu adalah *makespan* yang minimal. Dalam algoritma genetika untuk dalam kasus minimasi, fungsi *fitness* dapat diubah menjadi  $1/f$  (Kususmadewi, 2003). Karena tujuannya adalah minimasi *makespan*, dengan  $i$  adalah notasi urutan mesin dan  $j$  notasi urutan job, nilai *fitness* dirumuskan sesuai persamaan (4), sedangkan *makespan* dan *completion time* sesuai dengan persamaan (1) dan persamaan (3). Untuk dapat memperoleh besarnya *makespan*, kromosom kemudian diterjemahkan menjadi jadwal yang bisa dibaca. Setiap proses dalam *job* memiliki representasi gen dalam kromosom.

#### 3). Elitisme

*Elitisme* digunakan untuk menjaga individu dengan nilai *fitness* yang baik tetap bisa bertahan. Apabila populasi ganjil, maka akan diturunkan satu individu terbaik kepada generasi berikutnya, sedangkan apabila populasi genap, maka akan diturunkan dua populasi terbaik. Hal ini dilakukan agar populasi sebelumnya tetap berjumlah genap sebagai rangkaian dari proses pindah silang untuk menghasilkan generasi baru.

#### 4). Linear Fitness Ranking

Untuk menghindari kecenderungan konvergen pada *local optimum*, dilakukan proses penskalaan agar diperoleh nilai *fitness* berada pada interval  $f_{max}$  hingga  $f_{min}$ . Penskalaan ini menggunakan rumus sebagai berikut:

$$f(i) = f_{max} - (f_{max} - f_{min}) \left( \frac{R(i)-1}{N-1} \right) \quad (5)$$

#### 5). Seleksi Orang Tua

Seleksi orang tua merupakan tahap seleksi bagi individu yang akan dipilih untuk melakukan rekombinasi atau pindah silang. Metode seleksi yang digunakan adalah *Roulette Wheel Selection*. Seleksi ini berbasis pada nilai *fitness* yang baik hasil dari *Linear Fitness Ranking*.

6). Pindah Silang

Pindah silang adalah menyilangkan dua kromosom sehingga membentuk kromosom baru yang harapannya lebih baik dari pada induknya. Metode yang digunakan adalah *Order Crossover*, di mana penyilangan berdasarkan urutan. Pada urutan tertentu sebagian kromosom akan dipertukarkan sesuai urutan, sedangkan sisanya ditukar secara random. Dengan begitu, anggota kromosom akan tetap namun hanya berbeda urutan. Penyilangan dilakukan di dua titik dan ditentukan secara random.

7). Mutasi

Mutasi dilakukan pada kromosom dengan cara *swaping mutation*. Apabila bilangan random pada semua gen yang dibangkitkan kurang dari probabilitas mutasi, maka gen tersebut akan ditukar posisinya. Hasil mutasi tersebut berupa kromosom dengan urutan yang berbeda, namun anggotanya masih sama.

8) *Design of Experiments*

Pada penelitian ini digunakan  $3^k$  factorial designs.  $3^k$  factorial designs direpresentasikan menjadi 3 level yaitu *low*, *intermediate*, dan *high*. Desain dengan 3 level adalah pilihan untuk eksperimen-eksperimen yang menyadari kemungkinan adanya bentuk kurva-kurva dari hasil fungsi tujuan (Montgomery,2003) . Sebagai contoh desain  $3^3$ , model regresinya seperti pada persamaan (6). Untuk mendapatkan koefisien persamaan regresi tersebut digunakan perangkat lunak MINITAB 14 dan untuk mencari nilai sesuai batasan level *factorial designs*, digunakan Add-in Solver Microsoft Excel 2007.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 + \epsilon \tag{6}$$

Tabel I. Level dan Faktor dari Design of Experiments

Faktor	Level		
	Low	Medium	High
Ukuran Populasi	20	40	60
Probabilitas Pindah silang	0.3	0.6	0.9
Probabilitas mutasi	0.001	0.01	0.1

Hasil dan Pembahasan

Metode EDD&SPT

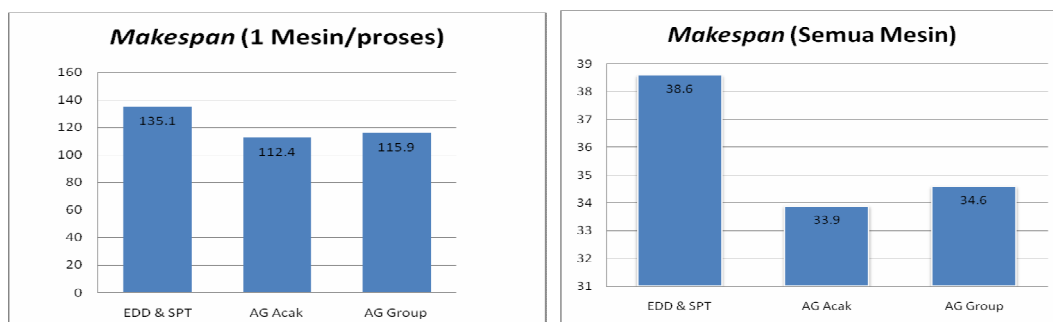
Dengan metode EDD&SPT didapatkan makespan sebesar 135,1 jam untuk asumsi satu mesin di setiap proses digunakan dan 38,6 jam untuk asumsi semua mesin digunakan.

Algoritma Genetika

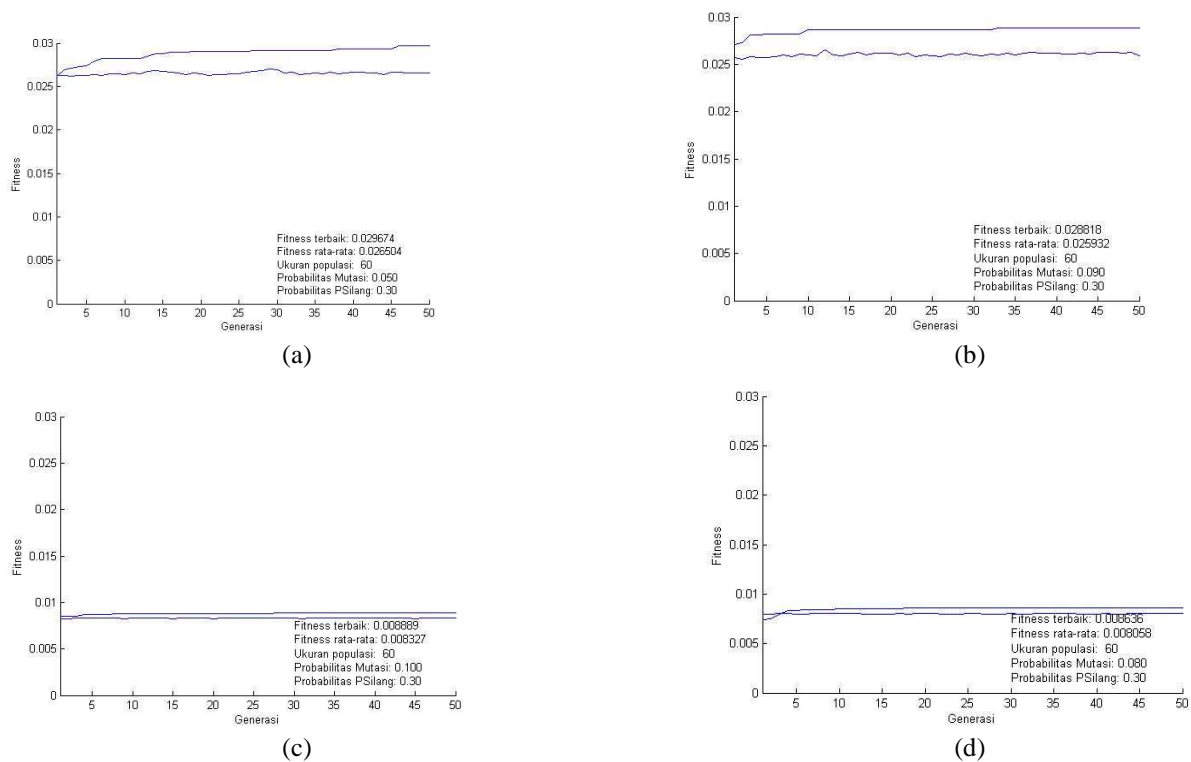
Pada perhitungan dengan metode algoritma genetika, digunakan data *processing time* dan data *sequence* dari masing-masing komponen atau *job*. Setelah itu, dilakukan pemrograman untuk mendapatkan penjadwalan dengan algoritma genetika dengan *software* MATLAB 2009a. Generasi yang dibangkitkan sebanyak 50 dengan pengulangan program sebanyak 10 kali. Dari perhitungan dengan metode algoritma genetika tersebut, maka didapatkan *makespan* paling minimal sebagai berikut.

- 1. Asumsi satu mesin di tiap proses dan urutan *job* acak = 112,4 jam
- 2. Asumsi satu mesin di tiap proses dan urutan *job* grup produk = 115,9 jam
- 3. Asumsi semua mesin digunakan dan urutan *job* acak = 33,9 jam
- 4. Asumsi semua mesin digunakan dan urutan *job* grup produk = 34,6 jam

Perbandingan dari perbedaan *makespan* yang dihasilkan antara metode algoritma genetika dan EDD dan SPT ditunjukkan dalam grafik pada Gambar 2. Gambar 3 menunjukkan proses kenaikan nilai *fitness* yang didapat pada setiap iterasi generasi pada berbagai variasi permodelan penjadwalan ini.



Gambar 2. Hasil Perbandingan *Makespan* dari AG dan EDD&SPT



Gambar 3. Hasil *Running Program* dengan Empat Variasi Model

- (a) Satu mesin *job* acak, (b) Satu Mesin *Job* Grup Produk,
- (c) Semua Mesin *job* acak, (d) Semua Mesin *Job* Grup Produk

*Design of Experiments*

Pada parameter ukuran populasi, permutasi, dan probabilitas pindah silang, dilakukan tiga kali pengulangan pada *running program* pada setiap satu set parameter yang sama, karena algoritma genetika bisa memberikan hasil yang berbeda pada satu nilai parameter yang sama. Pada penentuan parameter dengan DOE digunakan nilai rata-rata dari 3 kali perulangan hasil *makespan* metode algoritma genetika. Dari pengulangan program algoritma genetika tersebut, diambil nilai rata-rata yang akan digunakan dalam perhitungan DOE dan analisis regresi. Pada program MINITAB, dengan memasukkan nilai-nilai variabel dan hasil *makespan*, didapatkan persamaan regresi linear sebagai berikut:

(a) Asumsi Satu mesin *job* acak

$$Y = 115 - 11.3 pm + 0.0131 pop - 2.70 ps + 57.2 pm^2 - 0.000403 pop^2 + 1.54 ps^2 + 4.43 pmps + 0.0129 popps + 0.027 pmpopps \tag{7}$$

(b) Asumsi Satu Mesin *Job* Grup Produk

$$Y = 117 - 34.6 pm + 0.0158 pop - 0.32 ps + 277 pm^2 - 0.000167 pop^2 + 0.93 ps^2 + 8.59 pmps + 0.0123 popps + 0.081 pmpopps \tag{8}$$

(c) Semua Mesin *job* acak

$$Y = 34.7 - 22.7 pm + 0.0078 pop - 0.51 ps + 251 pm^2 - 0.000042 pop^2 + 1.11 ps^2 + 1.60 pmps + 0.0060 popps + 0.0483 pmpopps \tag{9}$$

(d) Semua Mesin *Job* Grup Produk

$$Y = 34.8 - 16.8 pm + 0.0044 pop - 0.92 ps + 150 pm^2 + 0.185 ps^2 + 0.73 pmps + 0.0110 popps + 0.0036 pmpopps \tag{10}$$

Keterangan:

- pm = probabilitas permutasi
- ps = probabilitas pindah silang
- pop = ukuran populasi

Dari persamaan tersebut, dicari nilai masing-masing parameter yang optimal sesuai dengan batasan nilai variabel sebagai berikut:

$$\begin{aligned} 20 &\leq \text{pop} \leq 60 \\ 0.3 &\leq \text{ps} \leq 0.9 \\ 0.001 &\leq \text{pm} \leq 0.1 \end{aligned}$$

Dari hasil pencarian parameter optimal sesuai dengan persamaan regresi linear tersebut, didapatkan masing masing nilai parameter yang optimal untuk variabel ukuran populasi, probabilitas pindah silang, dan permutasi. Hasil nilai variabel tersebut ditunjukkan dalam Tabel II.

Tabel II. Hasil Penentuan Parameter dengan DOE  
(a) Satu mesin *job* acak, (b) Satu Mesin *Job* Grup Produk,  
(c) Semua Mesin *job* acak, (d) Semua Mesin *Job* Grup Produk

Variabel	(a)	(b)	(c)	(d)
pop	20	60	41	60
ps	0.3	0.3	0.3	0.3
pm	0.05	0.08	0.001	0.09

### Kesimpulan

Penelitian ini mampu melakukan penjadwalan dengan sistem multi mesin dan grup produk. Hasil dari penjadwalan dengan metode algoritma genetika menghasilkan penjadwalan yang lebih baik dengan *makespan* yang lebih minimal. Pada asumsi satu mesin, *makespan* yang dihasilkan EDD dan SPT adalah sebesar 135,1 jam, sedangkan algoritma genetika memberikan *makespan* sebesar 112,4 jam dengan urutan *job* acak dan 115,9 jam dengan urutan *job* grup produk. Efisiensi yang didapatkan oleh algoritma genetika adalah sebesar 16,8% dan 14,2%. Pada asumsi semua mesin digunakan, EDD dan SPT menghasilkan *makespan* 38,6 jam, sedangkan metode algoritma genetika memberikan hasil 33,9 jam dengan asumsi urutan *job* acak dan 34,6 jam dengan urutan *job* grup produk. Efisiensi yang dihasilkan oleh algoritma genetika pada asumsi multi mesin ini adalah sebesar 12,2% dan 10,4%.

### Daftar Pustaka

- Applegate, D., Cook, W., 1991, *A Computational Study of the Job Shop Scheduling Problem*, ORSA Journal on Computing, Spring
- Betrianis, Teguh, P.S., 2003, *Penerapan Algoritma Tabu Search dalam Penjadwalan Job Shop*, MAKRA, Teknologi Vol. 7 No. 3, Universitas Indonesia, Jakarta.
- Hermann, J.,W., 2006. *Handbook of Production Scheduling*, Springer : New York
- Hermann, J.W., 2007, *The Legacy of Taylor, Gantt, and Johnson: How to Improve Production Scheduling*, ISR Technical Report, University of Maryland, USA
- Kusumadewi, S., 2003. *Artificial Intelligence: Teknik dan Aplikasinya*, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Montgomery, D.C., Runger, G.C., 2003. *Applied Statistic and Probability for Engineers 3<sup>rd</sup> ed*, John Willey and Sons, New York
- Suyanto, 2005, *Algoritma Genetika dalam MATLAB*, Penerbit Andi, Yogyakarta.