



PROCEEDING

5 November 2011

# Industrial Engineering Conference Peranan Teknik Industri untuk mewujudkan Eko-efisiensi di Industri

(Industrial Engineering Contribution to create Eco-Efficiency in Industry)



Industrial Engineering Department  
Faculty of Industrial Technology  
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran"  
Yogyakarta

ISBN 978-979-96854-3-8

## YOGYAKARTA

### Prosiding Seminar Nasional - Industrial Engineering Conference (IEC) 2011 "PERANAN TEKNIK INDUSTRI UNTUK MEWUJUDKAN EKO-EFISIENSI DI INDUSTRI"

Terbitan : November 2011

Tim Editor : Ahmad Muhsin, ST., M.Eng.  
Yuli Dwi Astanti, ST

Tim Perumus : Agus Ristono, S.T.,M.T.  
Laila Nafisah, ST., MT  
Tri Wibawa, ST., MT  
Trismi Ristyowati, ST., MT

Desain Layout : Wikan Widya Kusuma, ST

Hak Cipta pada :  
Jurusan Teknik Industri - Fakultas Teknologi Industri  
UPN 'Veteran' Yogyakarta  
Jl. SWK No. 4 (Lingkar Utara), Condongcatur, Yogyakarta.  
Telp : (0274) 486369, Fax : (0274) 486369  
E-mail : [iec.ti@upnyk.ac.id](mailto:iec.ti@upnyk.ac.id)

ISBN. 978-979-96854-3-8

#### Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apapun, tanpa izin tertulis dari Penerbit

## DAFTAR ISI

	Hlm
Cover Dalam	i
ISBN	ii
Kata Pengantar	iii
Sambutan Ketua Panitia	iv
Sambutan Rektor UPN "Veteran" Yogyakarta	vi
Daftar Isi	viii
<b><u>MAKALAH UTAMA :</u></b>	
Nur Indrianti_ Eco-Efficiency sebagai Instrumen Manajemen Lingkungan Industri	1
<b><u>MAKALAH PRESENTASI :</u></b>	
Ahmad Muhsin_PEMANFAATAN LIMBAH HASIL PENGOLAHAN PABRIK TEBU BLOTONG MENJADI PUPUK ORGANIK	1-1
Ahmad Muhsin, Dyah Rachmawati Lucitasari_ANALISA STRATEGIS PENGEMBANGAN PRODUK RAMAH LINGKUNGAN GUNA MEWUJUDKAN EKONOMI BERAWASAN LINGKUNGAN DI PROVINSI DIY	2-1
Puryani, A. Soepardi, N.K. Sari_PENGEMBANGAN MODEL PENJADWALAN PREVENTIVE MAINTENANCE UNTUK MEMINIMASI DOWNTIME	3-1
Budiarto, Tedy Agung Cahyadi _PERANAN KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA (K3) DALAM KEGIATAN PELEDAKAN MINERAL DAN BATUBARA	4-1
Cahyono Sigit Pramudyo, Dina Ayu Ratnasari_ANALISIS PERSEDIAAN MATERIAL MULTI PRODUK MENGGUNAKAN MATERIAL REQUIREMENT PLANNING PADA PT. YOGYA INDO GLOBAL	5-1
Jaka Purwanta_DAMPAK USAHA PEMANCINGAN PAKEM SARI TERHADAP KUALITAS LINGKUNGAN DI SEKITARNYA	6-1
Jaka Purnama, Agung Rasmito _MODEL MATERIAL REQUIREMENT PLANNING(MRP) UNTUK MENGOPTIMALKAN OUTPUT PRODUKSI PADA PRODUK CAIR	7-1
Trismi Ristyowati_ANALISIS KELAYAKAN INVESTASI PENGGANTIAN MESIN PRINTING PADA INDUSTRI BATIK AKIBAT ALIH TEKNOLOGI	8-1
Fakhrina Fahma, Irwan Iftadi, Tri Wijayanti_PENENTUAN PRIORITAS PERBAIKAN LAYANAN KERETA API PRAMBANAN EKSPRESS BERDASARKAN PERSEPSI KONSUMEN DENGAN METODE IPA DAN MODEL KANO	9-1
Irwan Iftadi, Yusuf Priyandari, Fatchul Muflich_PENGEMBANGAN SISTEM INFORMASI BERBASIS WEB UNTUK PENGOLAHAN DATA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT (P2M) DI FAKULTAS TEKNIK	10-1
Rahmaniyah Dwi Astuti, Ilham Priadythama, Asti Suarti Pane _PERANCANGAN ALAT PENCETAK LILIN SISTEM PARALLEL CASTING SEBAGAI ALAT BANTU DALAM PERBAIKAN POSTUR KERJA DAN PENINGKATAN PRODUKTIVITAS PENCETAKAN LILIN STEARINE NONEKONOMI (Studi Kasus: Home Industry "Blue Star" Nusukan)	11-1
Taufiq Rochman, Rahmaniyah Dwi Astuti, Iskandar Fajar M _PERBAIKAN FASILITAS FISIK DAN CARA KERJA OPERATOR SPBU BERDASARKAN PENDEKATAN BEBAN KERJA, SIKAP KERJA DAN ANTHROPOMETRI (Studi Kasus di SPBU Begajah Sukoharjo)	12-1

Irwan Soejanto_PENINGKATAN KUALITAS PRODUK SEMEN DENGAN PENERAPAN METODE SIX SIGMA	13-1
Gunawan Madyono Putro_MODEL PERSEDIAAN <i>PERIODIC REVIEW</i> MENGGUNAKAN PROGRAM DINAMIS	14-1
Sutrisno, Muhammad Faisal Efendi_APLIKASI <i>EVOLUTIONARY ALGORITHM</i> DALAM MASALAH PENJADWALAN PRODUKSI	15-1
Yuli Dwi Astanti_PELUANG PENERAPAN KONSEP <i>SUSTAINABLE MANUFACTURING</i> PADA PRODUK <i>MASS CUSTOMIZATION</i>	16-1
Tri Wibawa, sadi_PENDEKATAN BIOMEKANIKA UNTUK MENENTUKAN GAYA TEKAN DI PERTEMUAN LUMBAR LIMA DAN SACRUM SATU (L5/S1) PADA PEKERJAAN PENANAMAN PADI	17-1
Mochammad Chaeron_ <i>Reconfigurable Manufacturing Systems: Satu Tinjauan</i>	18-1
Eko Nursubiyantoro, Nur Indrianti dan Puryani_KEBIJAKAN PERSEDIAAN PROBABILISTIK PADA KONDISI <i>LOST SALES</i> DENGAN MEMPERTIMBANGKAN <i>QUANTITY DISCOUNT</i>	19-1
A.N.Hardianti, Adityarini, A.P.Rini, dan A. Soepardi _Perancangan Alat Bantu Pada Proses Pengepresan Kardus Bekas	20-1
Endah Utami, Mukhammad Dzulqornain_UPAYA PENINGKATAN KUALITAS PELAYANAN PROSES BELAJAR-MENGAJAR MENGGUNAKAN METODE <i>QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT</i> MELALUI PENDEKATAN <i>IMPORTANCE PERFORMANCE ANALYSIS</i> (Studi Kasus : di Kampus III Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta)	21-1
Enty Nur Hayati_OPTIMASI ALAT ANGKUT PENGIRIMAN BERAS (Studi Kasus pada PT Umbul Berlian Semarang)	22-1
Yasrin Zabidi _PERANCANGAN SISTEM EVALUASI KINERJA UPT PERPUSTAKAAN SEKOLAH TINGGI TEKNOLOGI ADISUTJIPTO	23-1
Laila Nafisah, Rachmad Krisno Aji_PERENCANAAN PENGENDALIAN PERSEDIAAN PADA SISTEM DISTRIBUSI DUA LEVEL DENGAN KEBIJAKAN PEMESANAN KONGRUENSIAL	24-1
Agus Ristono_ALGORITMA TABU SEARCH UNTUK MASALAH <i>MULTI-DIMENSIONAL KNAPSACK PROBLEM</i> (MDKP)	25-1
Dyah Rachmawati L, Tri Wibawa, Andhi Wuryanto_ <i>VALUE ENGINEERING</i> SEBAGAI METODE UNTUK MODIFIKASI PERANCANGAN ALAT PERONTOK BULU AYAM	26-1

## APLIKASI *EVOLUTIONARY ALGORITHM* DALAM MASALAH PENJADWALAN PRODUKSI

Oleh:

Sutrisno<sup>1</sup>, Muhammad Faisal Efendi<sup>2</sup>

Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta  
Email: [jur\\_tiupn@telkom.net](mailto:jur_tiupn@telkom.net)

### ABSTRAK

*Penjadwalan merupakan upaya mengatur kegiatan atau pekerjaan dengan tujuan untuk mencapai efisiensi penggunaan fasilitas waktu dan biaya. Penjadwalan merupakan alat ukur bagi perencanaan agregat, dan sebagai salah satu bagian yang sangat penting pada perusahaan manufaktur.*

*Dalam penelitian ini memberikan sebuah alternative untuk membuat jadwal produksi menggunakan *Evolutionary Algorithm* (EA). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meminimalkan makespan industri, disamping itu untuk membandingkan dengan Algoritma Genetika.*

*Penjadwalan produksi yang telah dilakukan oleh Ahmad Fujiantoro dengan menggunakan Algoritma Genetika menghasilkan makespan sebesar 10.659 menit. Sedangkan *Evolutionary Algorithm* mampu menghasilkan makespan sebesar 9.071,5 menit. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan EA lebih efektif dibandingkan dengan menggunakan GA dalam menentukan penjadwalan produksi.*

*Kata kunci : Penjadwalan, *Evolutionary Algorithm*, Makespan.*

### 1. Pendahuluan

Penjadwalan merupakan upaya mengatur kegiatan / pekerjaan dengan tujuan untuk mencapai efisiensi penggunaan fasilitas, waktu, dan biaya. Hal ini diperlukan mengingat fasilitas produksi pada suatu industri jumlahnya terbatas, sementara pekerjaan yang akan dilakukan cukup banyak. Keterbatasan fasilitas menuntut pengaturan jadwal yang baik.

Penjadwalan menjadi alat ukur yang baik bagi perencanaan *agregat*, sehingga menjadi salah satu bagian yang sangat penting terutama pada perusahaan manufaktur. Pada penjadwalan, pesanan-pesanan yang diterima akan ditugaskan pertama kalinya pada sumber daya tertentu (fasilitas, pekerjaan, dan peralatan) kemudian dilakukan pengurutan kerja pada tiap-tiap pusat pemrosesan, sehingga dicapai optimalisasi utilisasi kapasitas yang ada. Menurut Baker (1974), penjadwalan didefinisikan sebagai proses pengalokasian sumber untuk memilih mengerjakan tugas dalam jangka waktu tertentu. Dengan adanya penyusunan penjadwalan yang baik, maka perusahaan dapat memenuhi pesanan, menepati rencana produksi, menurunkan persediaan dengan memproduksi produk dalam ukuran lot yang lebih kecil dan mengurangi barang dalam proses (*work in process*).

Dari penelitian yang telah dilakukan oleh Ahmad Fujiantoro, peneliti ingin melakukan analisis pada data yang sama dengan metode *Evolutionary Algorithm* untuk dapat meminimasi *makespan*. *Evolutionary Algorithm* merupakan metode stokastik yang mencoba untuk menirukan sifat evolusi biologis dari makhluk hidup, yang bekerja dengan prinsip bahwa suatu individu yang baik akan bertahan dan menghasilkan individu-individu yang semakin baik pada setiap generasi. Hal inilah yang menjadi dasar mengapa peneliti memilih menggunakan *Evolutionary Algorithm* (EA).

## 2. Landasan Teori

Masalah penjadwalan dijumpai dengan tingkat permasalahan yang berbeda pada masing-masing sistem produksi. Salah satunya pada penentuan urutan penyelesaian pekerjaan di suatu pabrik manufaktur, seperti prosedur sederhana untuk masalah penjadwalan, yaitu datang pertama dilayani atau solusi acak yang seringkali memberi hasil kurang optimal, sehingga mengakibatkan keterlambatan penyerahan barang utilisasi pemrosesan yang kurang seimbang dan sebagainya.

Secara umum penjadwalan juga dapat didefinisikan sebagai proses pengalokasian sumber untuk memilih mengerjakan tugas dalam jangka waktu tertentu (Baker, 1974). Ada dua arti dalam pengertian penjadwalan ini, yaitu bahwa penjadwalan merupakan fungsi pengambilan keputusan yaitu dalam menentukan jadwal yang paling tepat dan penjadwalan merupakan sebuah teori yang berisi kumpulan prinsip modal, teknik dan konklusi logis dalam proses pengambilan keputusan.

Morton (1993) mendefinisikan penjadwalan sebagai pengambilan keputusan tentang penyesuaian aktivitas dan sumber daya dalam rangka menyelesaikan sekumpulan pekerjaan agar tepat pada waktunya dan mempunyai kualitas seperti yang diinginkan. Keputusan yang dibuat di dalam penjadwalan meliputi pengurutan pekerjaan (*sequencing*), waktu mulai dan selesai pekerjaan (*timing*) dan urutan operasi untuk urutan pekerjaan (*routing*). Persoalan penjadwalan timbul, apabila ada beberapa pekerjaan diselesaikan secara bersamaan, sedangkan fasilitas produksi yang dimiliki terbatas.

Tujuan penjadwalan menurut Baker (1974), adalah :

1. Meningkatkan produktivitas mesin, yaitu dengan mengurangi *idle* mesin.
2. Mengurangi persediaan barang setengah jadi (*work in process inventory*) dengan cara mengurangi jumlah rata-rata pekerjaan yang menunggu dalam antrian suatu mesin karena mesin tersebut sibuk.
3. Mengurangi keterlambatan karena batas waktu (*due date*) telah dilewati dengan cara mengurangi maksimum keterlambatan maupun dengan mengurangi jumlah pekerjaan yang terlambat.
4. Meminimasi biaya produksi. Adapun tujuan akhir dari suatu penjadwalan adalah meminimasi total waktu penyelesaian suatu job sehingga waktu siklus per periode semakin pendek.

### 2.1. Prosedur Penjadwalan

Yang dimaksud prosedur penjadwalan dengan *priority rule* atau prioritas penjadwalan yaitu pekerjaan harus diatur sedemikian rupa untuk mencapai tujuan penjadwalan. Dikenal beberapa *priority rule* atau yang juga sering disebut *dispatching rule* atau aturan prioritas job dari penjadwalan seperti:

1. *First Come First Serve* (FCFS)  
Proses pengerjaan dilakukan berdasarkan urutan pengerjaan yang datang terlebih dahulu. Waktu proses tidak mempengaruhi urutan pekerjaan.
2. *Short Processing Time* (SPT)  
Proses pekerjaan dilakukan berdasarkan urutan pekerjaan yang mempunyai waktu proses terkecil atau tercepat. Dengan demikian, waktu proses mempengaruhi urutan pekerjaan.
3. *Earliest Due Date* (EDD)  
Proses pekerjaan dilakukan berdasarkan urutan pekerjaan yang mempunyai waktu penyelesaian pekerjaan yang tercepat atau pekerjaan yang mempunyai batas waktu (*due date*) penyelesaian paling awal diselesaikan terlebih dahulu.
4. *Longest Processing Time* (LPT)  
Proses pekerjaan dilakukan berdasarkan urutan pekerjaan yang mempunyai waktu proses terbesar atau terlama. Dengan demikian, waktu proses mempengaruhi urutan pekerjaan.
5. *Critical Ratio* (CR)  
Proses pekerjaan dilakukan berdasarkan urutan pekerjaan dengan menghitung terlebih dahulu ( $\text{due date current date} / \text{processing time}$ ).

$$CR = \frac{\text{due date } (d_i)}{\text{waktu proses } (t_i)} \dots\dots\dots (2.1)$$

6. *Slack Time (ST)*

Proses pekerjaan dilakukan berdasarkan urutan pekerjaan yang mempunyai slack terkecil (slack merupakan selisih antara waktu proses dengan *due date* yang sudah ditetapkan).

$$ST = d_i - t_i \dots\dots\dots (2.2)$$

7. *Slack per Operational (STO)*

Proses pekerjaan dilakukan berdasarkan urutan pekerjaan yang disusun sesuai nilai rasio antara *slack time* dengan *number of operation* (jumlah operasi).

8. *Random*

Puncak setiap pekerjaan di dalam suatu antrian mempunyai probabilitas pemilihan urutan pekerjaan yang akan dilakukan dalam sebuah mesin dipilih secara acak. Aturan ini digunakan sebagai *benchmark* terhadap aturan *dispatching* lainnya.

$$\frac{ST}{O} = \frac{ST}{\text{operation}} \dots\dots\dots (2.3)$$

9. *Most Work Remaining*

Prioritas tertinggi diberikan pada operasi dari suatu job yang memiliki sisa waktu operasi proses terlama.

10. *Least Work Remaining*

Prioritas tertinggi diberikan pada operasi yang memiliki sisa waktu proses terpendek.

2.2. **Algoritma Genetika (GA)**

Algoritma Genetika (GA) merupakan cabang dari Algoritma Evolusi (EA) yang merupakan metode *adaptive* yang biasa digunakan untuk memecahkan suatu pencarian nilai dalam sebuah masalah optimasi. Algoritma ini didasarkan pada proses genetika yang ada dalam makhluk hidup yaitu perkembangan generasi dalam sebuah populasi yang alami secara lambat laun mengikuti prinsip seleksi alam atau siapa yang kuat, dia yang akan bertahan (*survive*). Dengan meniru proses ini, GA dapat digunakan untuk mencari solusi permasalahan-permasalahan dalam dunia nyata.

Peletak prinsip dasar sekaligus pencipta GA adalah John Holland (1975). GA merupakan analogi secara langsung kebiasaan alami yaitu solusi alam. Algoritma ini bekerja dengan sebuah populasi yang terdiri dari individu-individu yang masing-masing individu mempresentasikan sebuah solusi yang mungkin bagi persoalan yang ada. Dalam kaitan ini individu dilambangkan dengan sebuah *nilai fitness* yang akan digunakan untuk mencari solusi terbaik dari persoalan yang ada.

GA bekerja menirukan proses evolusi alami. Pada evolusi, masalah yang harus dihadapi oleh setiap *species* adalah adaptasi terhadap lingkungan yang bersifat kompleks dan berubah setiap saat. *Species* yang mampu beradaptasi akan terus bertahan hidup, sedangkan yang tidak mampu beradaptasi akan hilang dari populasi. Setiap individu yang mampu beradaptasi mempunyai kesempatan untuk melakukan reproduksi melalui perkawinan silang dengan individu lain dalam populasi tersebut. Individu baru yang dihasilkan dinamakan keturunan (*offspring*), yang membawa beberapa sifat dari induknya. Sedangkan individu dalam populasi yang tidak terseleksi dalam reproduksi akan mati dengan sendirinya. Sehingga, beberapa generasi dengan karakteristik yang bagus akan bermunculan dalam populasi tersebut, yang kemudian diacak dan ditukar dengan karakter lain. Dengan mengawinkan semakin banyak individu, maka akan semakin banyak kemungkinan terbaik yang dapat diperoleh.

Struktur umum GA yaitu sebuah kromosom dinyatakan dengan rangkaian (*string*) dari simbol, dan biasanya dengan *string biner* kromosom-kromosom berevolusi dalam suatu proses iterasi yang berkelanjutan yang disebut dengan generasi (*generation*). Pada setiap generasi, kromosom dievaluasi berdasarkan suatu fungsi evaluasi (*fitness function*). Fungsi *fitness* sebagai ukuran dari proses optimasi (dalam istilah teknis optimasi ini lebih dikenal sebagai fungsi tujuan). Kromosom dengan nilai *fitness (fitness value)* yang lebih tinggi mempunyai kemungkinan yang lebih besar untuk dipilih menjadi *parent* dalam proses reproduksi.

Untuk menghasilkan generasi berikutnya, dibentuk kromosom baru yang disebut dengan *offspring* melalui suatu proses tukar silang dan atau mutasi dari *parent*. Setelah beberapa generasi, maka GA akan konvergen pada kromosom terbaik yang diharapkan merupakan solusi yang optimal.

Biasanya inisialisasi dihasilkan secara random. Reproduksi khususnya akan melaksanakan proses evaluasi dengan dua macam operator yang dimiliki oleh GA yaitu tukar silang dan mutasi sehingga akan dihasilkan kromosom baru yang disebut *offspring*.

Langkah-langkah dasar dari algoritma genetika dapat dilihat sebagai berikut:

1. Membangkitkan populasi awal dari  $n$  kromosom.
2. Evaluasi *fitness* dari setiap kromosom pada populasi.
3. Membuat populasi baru.
4. Melakukan seleksi dengan memilih dua kromosom *parent* dari suatu populasi berdasarkan nilai *fitness* (semakin baik nilai *fitness*, maka semakin besar kemungkinannya untuk dipilih).
5. Melakukan *crossover* dua kromosom *parent* yang akan didapatkan 2 individu baru yang disebut *offspring*.
6. Melakukan mutasi terhadap *offspring* yang baru terbentuk.
7. Menempatkan *offspring* pada populasi baru.
8. Menggunakan populasi generasi baru untuk menjalankan algoritma selanjutnya.
9. Melakukan testing terhadap populasi baru. Apabila kondisi akhir terpenuhi stop dan menghasilkan populasi terbaik sekarang, bila kondisi belum terpenuhi lakukan kembali perintah ke-2.

Untuk terminologi GA (Mitsuo, 1994) menyebutkan antara lain :

1. Kromosom, merupakan tempat penyimpanan informasi genetika. Di dalam GA pada umumnya *string* dianalogikan sebagai kromosom.
2. Genes, suatu kromosom yang dibentuk oleh beberapa gen.
3. Alleles (*feature value*), memiliki nilai *feature* tertentu.
4. Locus (*positioning*), letak gen dalam suatu kromosom.

Jika algoritma genetika diaplikasikan pada problem penjadwalan, maka *chromosome* menggambarkan urutan *job*, *gen-gen* melambangkan posisi-posisi *job* tersebut, sedangkan *allele* menggambarkan *job-job* yang memiliki posisi-posisi tersebut.

### 2.3. Evolutionary Algorithm (EA)

*Evolutionary Algorithm* (EA) merupakan metode pencarian stokastik yang mencoba untuk menirukan sifat evolusi biologis dari makhluk hidup sebagai suatu model perhitungan. Elemen-elemen yang ada pada metode EA meliputi seleksi alami, kombinasi, mutasi, migrasi, perpindahan secara lokal, serta kelangsungan hidup dari nilai suaian (*fitness*).

EA bekerja dengan prinsip bahwa suatu individu yang baik akan bertahan dan menghasilkan individu-individu yang semakin baik pada setiap generasi. EA menerapkan teknik-teknik optimasi yang berbeda dengan optimasi-optimasi tradisional lainnya, meliputi suatu pencarian solusi-solusi populasi secara menyeluruh, bukan dari satu solusi. Filosofinya EA adalah metode penyelesaian masalah yang tidak tunggal. Meminjam istilah dari biologi, masing-masing variabel dalam suatu solusi dikenal sebagai gen, nilai untuk masing-masing gen disebut *allele*, dan struktur dari keseluruhan solusi dikenal sebagai genome.

Secara umum, EA dimulai dengan suatu "populasi", yang mana masing-masing individu dalam populasi terdiri dari solusi-solusi calon masalah EA yang mencoba untuk dipecahkan. Solusi-solusi calon ini biasanya dihasilkan secara acak pada ruang atau lingkungan dari semua kemungkinan solusi. Perwakilan dari solusi-solusi calon adalah salah satu faktor penting di dalam kesuksesan suatu EA. Oleh karena itu, perwakilan solusi-solusi calon harus dipilih dengan hati-hati.

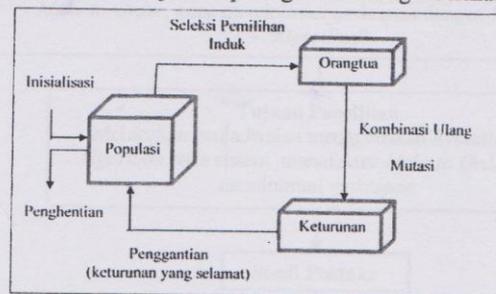
Pada EA, fitur yang paling menarik adalah fleksibilitas nilai suaian (fungsi tujuan). Nilai suaian atau nilai fungsi tujuan dari tiap individu dievaluasi dan diselesaikan dengan penentuan masing-masing individu. Kemudian, pasangan-pasangan dari individu dipilih untuk melakukan tahap "kombinasi ulang". Pemilihan ini dilakukan sebanding dengan nilai suaian

individu. Bagaimanapun nilai-nilai suaian itu bernilai, di dalam menentukan kemungkinan dari suatu pemilihan individu untuk melakukan proses kombinasi ulang.

Pemilihan induk pada EA biasanya bersifat probabilitas. Jadi, individu yang berkualitas memiliki kesempatan yang lebih besar untuk menjadi induk (*parent*) dibandingkan mereka yang memiliki kualitas lebih rendah. Meskipun demikian, individu yang berkualitas kurang baik kadang-kadang memperoleh sedikit kesempatan.

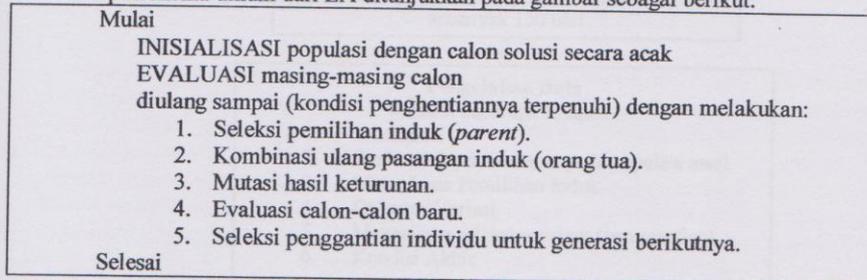
Pada EA, operator pertama adalah kombinasi ulang atau persilangan. Sedangkan operator yang kedua adalah mutasi. Kedua operator variasi tersebut dilakukan untuk menghasilkan keturunan yang bersaing untuk dapat bertahan. Pada seleksi penggantian, jika individu yang bertahan hidup mempunyai kemungkinan dipilih lebih tinggi dibandingkan mereka yang bersifat kurang cocok atau lemah bertahan hidup, maka dari EA diharapkan lebih eepat mengarah ke satu jawaban. Semakin sedikit “tekanan seleksi” yang digunakan, semakin banyak EA mendapatkan solusi penyelesaian. Suatu EA yang dirancang dengan baik harus menyeimbangkan kedua sasaran pesaing (calon solusi), sehingga kemajuan terhadap pemusatan EA berjalan dengan lancar di suatu optimum lokal.

Adapun struktur umum dari EA ditunjukkan pada gambar sebagai berikut:



Gambar 1. Struktur dari *Evolutionary Algorithm*

Adapun skema umum dari EA ditunjukkan pada gambar sebagai berikut:



Gambar 2. Bagan umum dari *Evolutionary Algorithm*

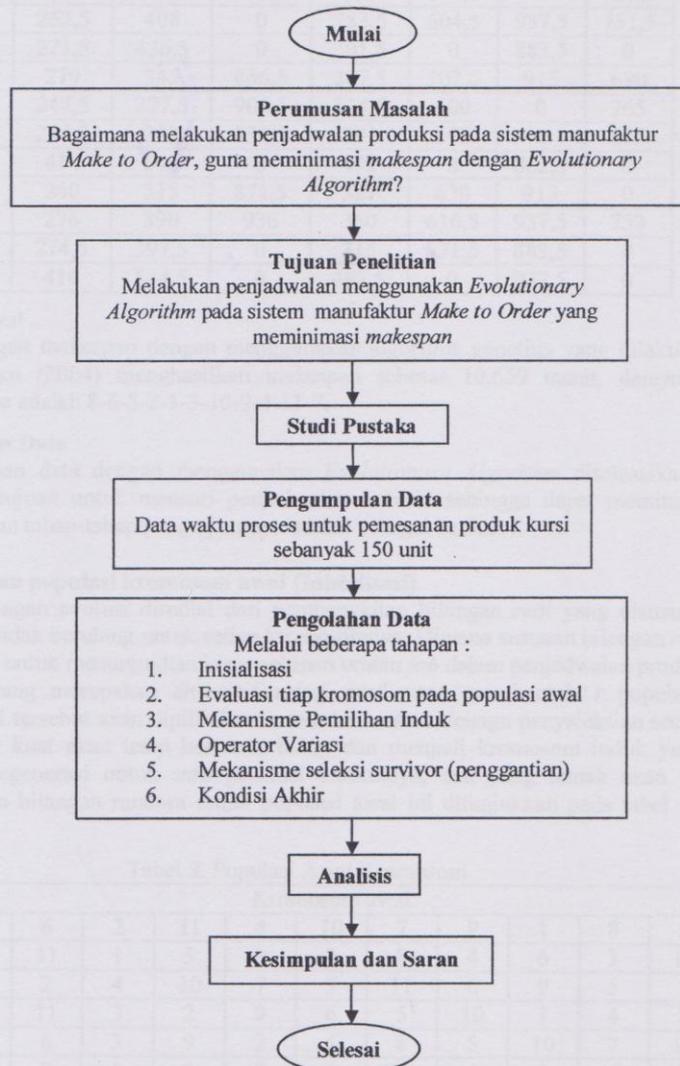
### 3. METODE PENELITIAN

#### 3.1. Objek Penelitian

Penelitian ini dilakukan di PT. Tiga Abad Furniture yang berlokasi di jalan Suromoyo 104 Bangsari Kota Jepara Jawa Tengah, yang dilakukan oleh Ahmad Fujiantoro (2004). Data-data yang diperlukan adalah data waktu operasi untuk menyelesaikan pemesanan produk kursi tamu sebanyak 150 unit, data waktu proses yang akan diselesaikan menggunakan *Evolutionary Algorithm*.

#### 3.2. Diagram Alir Penelitian

Adapun kerangka penelitian ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

#### 4. Pengolahan Data dan Analisis

##### 4.1. Pengumpulan Data

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran waktu proses dalam membuat suatu produk kursi untuk menyelesaikan produk sebanyak 150 buah. Data waktu proses dari masing-masing operasi adalah sebagai berikut

Tabel 1. Data waktu proses dari masing-masing job (menit)

Job	Mesin						
	1	2	3	4	5	6	7
1	270	430,5	880,5	354	601,5	0	729,5
2	262,5	408	0	283,5	604,5	937,5	751,5
3	271,5	436,5	0	301,5	0	883,5	0
4	279	345	886,5	307,5	307,5	915	690
5	247,5	277,5	904,5	334,5	600	0	765
6	244,5	342	738,5	297	592	0	675
7	414	546	0	492	0	862,5	0
8	240	315	871,5	327	630	915	0
9	276	390	936	360	616,5	937,5	753
10	274,5	397,5	0	315	571,5	883,5	0
11	414	544,5	0	487,5	0	937,5	0

##### 4.2 Kondisi Awal

Perhitungan makespan dengan menggunakan algoritma genetika yang dilakukan oleh Ahmad Fujiantoro (2004) menghasilkan makespan sebesar 10.659 menit, dengan urutan pengerjaan jobnya adalah 8-6-5-2-1-3-10-9-4-11-7.

##### 4.3. Pengolahan Data

Pengolahan data dengan menggunakan *Evolutionary Algorithm* diselesaikan secara manual dengan tujuan untuk mencari penjadwalan terbaik, sehingga dapat meminimumkan *maskepan*. Adapun tahap-tahap pengerjaannya adalah sebagai berikut :

##### 1. Pembangkitan populasi kromosom awal (Inisialisasi)

Perhitungan evolusi dimulai dari pembangkitan bilangan *real* yang disusun secara *random* dan tidak berulang untuk setiap kromosomnya. Dimana susunan bilangan *real* yang dibangkitkan untuk menunjukkan kemungkinan urutan *job* dalam penjadwalan produksi dan kromosom yang merupakan alternatif solusi awal yang membentuk 1 populasi. Dari populasi awal tersebut akan dipilih kromosom-kromosom dengan penyeleksian secara acak dimana yang kuat akan tetap bertahan hidup dan menjadi kromosom induk yang akan melakukan regenerasi untuk satu generasi berikutnya, dan yang lemah akan musnah. Pembangkitan bilangan *random* untuk populasi awal ini ditunjukkan pada tabel sebagai berikut :

Tabel 2. Populasi Awal Kromosom

No.	Kromosom awal										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.	3	6	2	11	4	10	7	9	1	8	5
2.	2	11	1	5	9	7	8	4	6	3	10
3.	8	2	4	10	7	3	11	6	9	5	1
4.	7	11	3	2	9	6	5	10	1	4	8
5.	1	6	3	9	2	4	8	5	10	7	11
6.	11	9	6	8	7	1	10	4	3	5	2
7.	5	4	1	9	10	2	6	8	3	11	7
8.	9	2	8	11	3	1	7	5	6	10	4
9.	4	1	10	3	8	11	2	6	5	7	9
10.	3	10	4	2	1	6	11	9	8	5	7

## 2. Tahap Evaluasi Tiap Kromosom Pada Populasi Awal

Setelah dilakukan pembangkitan bilangan random untuk populasi awal, kemudian melakukan perhitungan *completion time* untuk setiap kromosom pada populasi awal yang ditunjukkan pada tabel A-2. Dari hasil perhitungan tersebut didapat hasil makespan setiap kromosomnya, untuk dapat menghitung nilai sesuaian (fitness function) setiap kromosom yang ditunjukkan pada tabel A-3.

Contoh perhitungan nilai sesuaian dari kromosom pertama yang mempunyai makespan sebesar 11000,5 adalah  $\frac{1}{11000,5} = 0,0000909$ . Dengan cara yang sama, kemudian hitung nilai sesuaian untuk semua kromosom seperti ditunjukkan pada tabel A-3.

## 3. Tahap Mekanisme Pemilihan Induk

Pemilihan induk berperan dalam membedakan individu-individu berdasarkan kualitas, khususnya individu yang lebih baik memiliki kesempatan untuk menjadi induk pada kombinasi ulang. Adapun, metode penyeleksian kromosom induk yang digunakan dalam penelitian ini adalah seleksi roda rolet (*roulette wheel*).

Dengan konsep *roulette wheel*, maka penyeleksian kromosom induk pada generasi berikutnya adalah berdasarkan pada probabilitas relatif dan probabilitas kumulatif setiap kromosom.

Contoh perhitungannya :

Nilai sesuaian kromosom 1 = 0,0000909

Total nilai sesuaian populasi awal = 0,0009354

$$\text{Rumus probabilitas relatif kromosom yaitu } P_k = \frac{\text{eval}(V_k)}{\sum_{k=1} \text{eval}(V_k)}$$

$$\text{Perhitungan probabilitas relatif kromosom 1} = p_1 = \frac{0,0000909}{0,0009354} = 0,0971777$$

Rumus probabilitas kumulatif yaitu =  $q_k = p_k + P_{k-1}$

$$\text{Perhitungan probabilitas kumulatif kromosom 1} = q_1 = p_1 + P_0 = 0,0971777 + 0 = 0,0971777$$

Dengan cara yang sama, kemudian hitung probabilitas relatif dan probabilitas kumulatif untuk semua kromosom seperti ditunjukkan pada tabel A-4 pada lampiran. Setelah melakukan perhitungan probabilitas relatif dan probabilitas kumulatif, kemudian bangkitkan bilangan random antara [0,1] sebanyak jumlah kromosom dalam populasi yaitu 10 dengan program Microsoft Office Excel 2007. Adapun kriteria yang digunakan yaitu kromosom yang terpilih sebagai kromosom induk pada generasi selanjutnya adalah yang memenuhi persyaratan nilai probabilitas kumulatif lebih besar atau sama dengan bilangan *random*.

## 4. Tahap Operator Variasi

Dalam tiap generasi, kemampuan keseluruhan populasi dievaluasi, kemudian *multiple individuals* dipilih dari populasi awal dengan bilangan random antara [0,1], lalu dimodifikasi (melalui rekombinasi dan mutasi) menjadi bentuk populasi baru yang nantinya menjadi populasi awal pada iterasi berikutnya dari algoritma.

### A. Kombinasi Ulang (*Recombination*)

Kombinasi ulang atau persilangan (*crossover*) adalah suatu operator yang digunakan untuk dua atau lebih seleksi calon (disebut juga orang tua) untuk menghasilkan satu atau lebih calon baru (yang disebut anak). Prinsip rekombinasi sebenarnya cukup sederhana, yaitu dengan mencocokkan dua individu yang berbeda, namun memiliki fitur yang dikehendaki, sehingga nantinya dapat menghasilkan keturunan yang memiliki kombinasi dari dua fitur tersebut. Metode persilangan yang digunakan adalah metode *single point crossover* dengan representasi *integer*, yaitu satu persilangan dipilih, kemudian menempatkan gen-gen sebelum titik potong tersebut ke dalam ruang gen

anak, dan selanjutnya mengisi ruang kosong gen anak dengan gen dari induk kedua yang belum ada dalam ruang gen anak yang sudah terisi. Dengan adanya *Reproduction Plan* maka dapat dipastikan untuk melakukan kombinasi ulang pada setiap anggota paling sedikit sekali dengan memilih pasangan dari populasi secara acak.

Contohnya pada *RP* untuk kromosom 11 adalah kombinasi ulang antara kromosom 1 dengan kromosom 3 pada populasi awal, yaitu :

Kromosom 1

1	6	3	9	2	4	8	5	10	7	11
---	---	---	---	---	---	---	---	----	---	----

Kromosom 3

3	10	4	2	1	6	11	9	8	5	7
---	----	---	---	---	---	----	---	---	---	---

Kromosom 11 (Hasil kombunasi ulang dari kromosom 1 dan 10)

1	6	3	9	2	4	11	10	8	5	7
---	---	---	---	---	---	----	----	---	---	---

Dengan cara yang sama, kemudian lakukan kombinasi ulang untuk semua kromosom seperti ditunjukkan pada lampiran tabel B-2.

#### B. Mutasi

Pada EA, Mutasi adalah *unary operator*, sehingga hanya memerlukan satu kromosom induk untuk menghasilkan satu kromosom anak. Operasi mutasi yang digunakan adalah *inversion/reversion*, yaitu melakukan pembalikan pada suatu urutan yang dipilih dalam satu rangkaian kromosom.

Contohnya pada *Reproduction Plan* untuk kromosom 16 adalah mutasi kromosom 1 pada populasi awal, yaitu :

Kromosom 1

1	6	3	9	2	4	8	5	10	7	11
---	---	---	---	---	---	---	---	----	---	----

Kromosom 16 (Hasil mutasi dari kromosom 1)

11	7	10	5	8	4	2	9	3	6	1
----	---	----	---	---	---	---	---	---	---	---

Dengan cara yang sama, kemudian lakukan mutasi untuk semua kromosom seperti ditunjukkan pada lampiran tabel B-2.

#### 5. Mekanisme Seleksi *Survivor* (Penggantian)

Merupakan seleksi penggantian setiap individu yang tidak mampu bertahan dengan individu yang mampu bertahan. Tugas seleksi *survivor* yaitu membedakan individu-individu berdasarkan kualitasnya. Mekanisme seleksi individu yang bertahan hidup, disebut demikian setelah menciptakan keturunan dari induk yang terpilih. Pada kasus penjadwalan, perubahan sedikit pada urutan akan berpengaruh banyak terhadap hasil yang dicapai. Seleksi *survivor* dapat dilihat pada lampiran tabel B-5.

#### 6. Kondisi Akhir

Kondisi akhir disini berarti dari hasil *Reproduction Plan*, maka kromosom yang terpilih adalah mendekati optimal dengan hasil nilai suaian tertinggi untuk setiap generasi.

#### 4.8. Analisa Hasil

Pengolahan data yang dilakukan dengan menggunakan *Evolutionary Algorithm* mempunyai hasil yang berbeda dengan hasil yang diperoleh Ahmad Fujiantoro (2004). Adapun hasil pengolahan data Ahmad Fujiantoro (2004) mnggunakan Algoritma genetika menghasilkan *makespan* sebesar 10.659 menit dengan urutan *job* yaitu 8-6-5-2-1-3-10-9-4-11-7, dimana Ahmad Fujiantoro melakukan penelitian dengan menghitung waktu proses untuk produk kursi sebanyak 150 unit.

Hasil yang diperoleh dari perhitungan menggunakan *Evolutionary Algorithm* menunjukkan *makespan* terkecil sebesar 9.071,5 menit dengan urutan *job* 2-5-3-4-10-1-7-8-6-9-11. Maka dari itu dapat disimpulkan bahwa dalam mencari *makespan* pada masalah

penjadwalan mesin diperoleh hasil lebih baik apabila dikerjakan dengan menggunakan *Evolutionary Algorithm*. Hal tersebut dikarenakan pada penjadwalan ini setiap individu yang dicari mengalami proses kombinasi ulang dan mutasi. Sehingga kemungkinannya lebih besar untuk menghasilkan individu baik yang mampu bertahan dan menghasilkan individu-individu yang semakin baik pada setiap generasinya.

Dalam membandingkan hasil *makespan* antara GA dan EA setiap *job*-nya, sehingga penghematan waktunya dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\text{Penghematan waktu} &= \text{Total makespan hasil GA} - \text{Total makespan hasil EA} \\ &= 10.659 \text{ menit} - 9.071,5 \text{ menit} \\ &= 1.587,5 \text{ menit}\end{aligned}$$

Dari hasil tersebut maka dapat diketahui bahwa telah terjadi penghematan waktu sebesar 1.587,5 menit.

Untuk mengetahui apakah terjadi performansi di dalam penjadwalan mesin, maka dapat dihitung performansi perbaikan pada dua macam cara pengerjaan penjadwalan tersebut. Dengan cara mengalikasikan antara penjadwalan dengan menggunakan *Evolutionary Algorithm* terhadap perbandingan antara kondisi awal algoritma tersebut, yaitu sebesar :

$$\frac{10.698 - 9.071,5}{10.698} \times 100\% = 15,2\%$$

## 5. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari hasil pengolahan data dan analisis hasil dari *Evolutionary Algorithm* adalah sebagai berikut :

1. Hasil perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan *Evolutionary Algorithm* menghasilkan *makespan* sebesar 9.071,5 menit dengan urutan *job* 2-5-3-4-10-1-7-8-6-9-11.
2. Terjadi penghematan waktu dari hasil *makespan* yang diperoleh menggunakan GA dengan EA sebesar 1.587,5 menit.
3. Performansi penjadwalan produksi dengan menggunakan EA sebesar 15,2% . Maka dapat disimpulkan bahwa penggunaan EA lebih efektif dibandingkan menggunakan GA dalam menentukan penjadwalan produksi.

## DAFTAR PUSTAKA

- De Castro, Leonardo Nunes. 2002. *Immune, Swarm, And Evolutionary Algorithms Part 1 : Basic Modal*. <http://www.dca.fee.unicamp.br/~lnunes>.
- Fujiantoro, Ahmad. 2004. *Penjadwalan Make to Order dengan Kriteria Meminimasi Makespan menggunakan Algoritma Genetika*. UII Yogyakarta.
- Hakim, Arman. 2003. *Perencanaan dan Pengendalian Produksi*. Guna Widya. Surabaya.
- Hofstede, Jaap and friend. *Evolutionary Algorithm Part 2*. <http://www.kmt.com>.
- Obitko, Marek. 1998. <http://cs.felk.cvut.cz/~xobitko/ga/>.
- Render, Barry dan Jay Heizer. 2001. *Prinsip-Prinsip Manajemen Operasi*. Salemba Empat. Jakarta.
- Widyadana, I Gede dan Lala F. 2001. *Penerapan Evolutionary Algorithm Pada Penjadwalan Produksi*. *Jurnal Teknik Industri*. Volume III, Nomor 2, Desember 2001 : 43-47, Universitas Kristen Petra. Surabaya.