PENJADWALAN *FLOW SHOP* MESIN PARALEL MENGGUNAKAN METODE *LONGEST PROCESSING TIME* DAN *CROSS ENTROPY-GENETIC ALGORITHM* PADA PEMBUATAN PRODUK STEEL BRIDGE B-60

Yusraini Muharni¹⁾, Ade Irman Saeful M²⁾, Tania Ero Rubyanti³⁾

^{1,2)}Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten

³⁾Laboratorium Sistem Produksi, Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten

e-mail: yusraini@untirta.ac.id; irman@untirta.ac.id; taniaero.te@gmail.com

ABSTRAK

Sistem produksi di sebuah perusahaan fabrikasi seingkali mengalami permasalahan salah satunya adalah ketika perusahaan tidak mampu mengirim order kepada customer di waktu yang telah ditentukan. Hal ini dapat menyebabkan perusahaan harus menanggung biaya pinalti. Masalah ini dapat diatasi apabila dilakukannya penjadwalan produksi dengan baik. Pentingnya penjadwalan produksi adalah untuk mengelola dengan tepat sumber daya yang ada agar terciptanya efektivitas dan efisiensi dalam penggunaan sumber daya. Salah satu usaha yang dilakukan untuk tercapainya penjadwalan yang optimal adalah dengan meminimalkan makespan. Produk Steel Bridge B-60 merupakan salah satu dari jenis jembatan Truss Bridge yang diproduksi oleh Perusahaan Fabrikasi Baja Struktur Kontruksi yang berlokasi di Cilegon. Perusahaan tersebut memiliki sistem produksi make to order dengan alur produksi flow shop dan susunan mesin paralel. Penelitian ini dilakukan dengan menerapkan pendekatan heuristic metode LPT (Longest Processing Time) dan pendekatan metaheuristic dengan menggunakan metode Cross Entropy yang dikombinasikan dengan Genetic Algorithm yang dikenal dengan sebutan CEGA (Cross Entropy Genetic Algoritihm). Algoritma metaheuristic diterjemahkan ke dalam Bahasa pemograman Matlab. Hasil perbandingan kedua metode menunjukkan bahwa kedua metode usulan yaitu LPT dan CEGA lebih baik dari metode eksisting dan memiliki efisiensi sebesar 7.94%.

Kata kunci: Penjadwalan Flow Shop, Mesin Paralel, Longest Processing Time, Cross Entropy, Genetic Algorithm.

ABSTRACT

The production system in a fabrication company often experiences problems, one of which is when the company is unable to deliver product to the customer at a specified time. This can cause the company to bear the cost of penalties. This problem can be overcome if the production schedule is arranged properly. The importance of production scheduling is to accurately manage existing resources in order to create effectiveness and efficiency in the use of resources. One of the efforts made to achieve optimal scheduling is to minimize makespan. Steel Bridge B-60 is one of the Truss Bridge bridges produced by the Construction Structural Steel Fabrication Company located in Cilegon. The company has a make to order production system with flow shop production lines and parallel machine arrangements. This research was carried out by applying the heuristic approach of the LPT (Longest Processing Time) method and the metaheuristic approach using the Cross Entropy method combined with the Genetic Algorithm known as CEGA (Cross Entropy Genetic Algoritihm). The metaheuristic algorithm is translated into the Matlab programming language. The results of the comparison of the two methods indicate that the two proposed methods, namely LPT and CEGA, are better than the existing method and have an efficiency of 7.94%.

Keywords: Flow Shop Scheduling, Parallel Machine, Longest Processing Time, Cross Entropy, Genetic Algorithm.

PENDAHULUAN

Sistem produksi di sebuah perusahaan fabrikasi seingkali mengalami permasalahan salah satunya adalah ketika perusahaan tidak mampu mengirim *order* kepada *customer* di waktu yang telah ditentukan. Hal ini dapat menyebabkan perusahaan harus menanggung biaya pinalti. Salah satu penyebab keterlambatan pengiriman kepada *customer* yaitu belum optimalnya perencanaan produksi yang dibuat khususnya dalam pengalokasian sumber

daya. Pentingnya penjadwalan produksi adalah untuk mengelola dengan tepat sumber daya agar terciptanya efektivitas dan efisiensi penggunaan sumber daya. Salah satu usaha yang dilakukan untuk tercapainya penjadwalan yang optimal adalah dengan meminimalkan *makespan* [1].

Latar Belakang

PT XYZ adalah perusahaan yang bergerak di bidang konstruksi, perpipaan, dan tangki. Saat ini produk dan layanan utamanya adalah *stocking* besi dan baja, fabrikasi struktur baja, konstruksi jembatan, dan alat berat. PT XYZ memiliki sistem produksi *make to order* dimana perusahaan baru akan membuat produk ketika *order* datang. Meski memiliki sistem *make to order*, alur produksi di perusahaan ini dilakukan secara *flow shop* dimana urutan mesin pada setiap *job* adalah tetap. Dalam menjalankan kegiatan produksinya, PT XYZ memiliki beberapa jenis mesin yang tersusun paralel dengan susunan jumlah yang berbeda.

Salah satu keterlambatan pengiriman terjadi ketika pembuatan *Steel Bridge B-60* yang merupakan salah satu dari jenis jembatan *Truss Bridge*. PT XYZ mempunyai *priority rules* dari perusahaan yaitu part *Cross Grider* (CG), *Top Chord* (TC), *Bottom Chord* (BC), *Diagonal Chord* (DG), dan *Stringer* (ST) dikerjakan di awal karena memiliki dimensi yang paling besar. Maka dari itu, penelitian ini memiliki beberapa batasan diantaranya penelitian penjadwalan ini dibatasi hanya pada lima part yang memiliki urutan pekerjaan tetap tersebut dengan tujuan meminimumkan *makespan*, tidak menggunakan parameter *due-date* serta penjadwalan dalam penelitian ini merupakan jenis *permutation scheduling*. Penelitian ini juga memiliki beberapa asumsi yaitu keadaan mesin saat produksi adalah normal, tidak ada yang dalam proses *maintenance* atau *shut down*, seluruh bahan baku sudah tersedia di awal produksi dan waktu transportasi sudah termasuk waktu *set-up*, dan waktu *set-up* akan disatukan dengan waktu proses menjadi *total time*.

Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan *heuristic* metode LPT (*Longest Processing Time*) dan pendekatan *metaheuristic* dengan menggunakan metode *Cross Entropy* yang dikombinasikan dengan *Genetic Algorithm* menjadi CEGA (*Cross Entropy Genetic Algorithm*). Kedua metode ini akan dibandingkan dengan penjadwalan produksi metode eksisting yang dilakukan perusahaan.

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mengusulkan urutan pekerjaan yang lebih baik dalam proses produksi *Steel Bridge B-60*.
2. Menghitung *makespan* sebelum dan sesudah adanya usulan *flow shop scheduling* dalam proses produksi *Steel Bridge B-60*.
3. Menghitung persen efisiensi *makespan* yang membandingkan antara metode perusahaan dengan metode usulan terbaik.

TINJAUAN PUSTAKA

Penjadwalan

Penjadwalan dapat diartikan sebagai pengalokasian sejumlah sumber daya (*resource*) untuk melakukan sejumlah tugas atau operasi dalam jangka waktu tertentu dan merupakan proses pengambilan keputusan yang peranannya sangat penting dalam industri manufaktur dan jasa yaitu mengalokasikan sumber-sumber daya yang ada agar tujuan dan sasaran perusahaan lebih optimal [2].

Metode *Longest Processing Time*

Algoritma heuristik ini merupakan salah satu metode yang bisa digunakan untuk pengurutan pada mesin paralel dengan parameter *makespan*. Dengan aturan ini, proses dengan waktu operasi yang paling panjang akan dijadwalkan terlebih dahulu. Aturan ini juga sangat sederhana yaitu dengan cara mengurutkan pekerjaan dari yang mempunyai waktu proses terbesar hingga yang terkecil ($t_1 \geq t_2 \geq \dots \geq t_n$). Setelah itu penjadwalan dilakukan berdasarkan urutan tersebut.

Metode *Cross Entropy - Genetic Algorithm* (CEGA)

Algoritma CEGA *Cross Entropy - Genetic Algorithm* merupakan pengembangan algoritma yaitu kombinasi algoritma *Cross Entropy* dan *Genetic Algorithm* (CEGA). Kombinasi algoritma ini bertujuan memperluas pencarian solusi pada sampel elit *Cross Entropy* (CE) ketika berada di lokal optimal dengan menambahkan mekanisme pindah silang dan mutasi pada *Genetic Algorithm* (GA) yang berfungsi menghindari kemungkinan pencarian solusi terjebak di area lokal optimal, karena mekanisme GA dapat menghasilkan kromosom baru yang memiliki sifat tetap menjaga *nature* kromosom pada populasi awalnya [3].

METODE PENELITIAN

Flow Chart Metode *Longest Processing Time* (LPT)

Berikut ini (Gambar 1) merupakan *flow chart* dalam melakukan penjadwalan dengan metode *Longest Processing Time* (LPT):

Gambar 1. Flow Chart Metode LPT

Flow Chart Metode CEGA

Gambar 2 merupakan *flow chart* yang menggambarkan langkah-langkah dalam melakukan penjadwalan dengan metode CEGA:

Gambar 2. Flow Chart Metode CEGA

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1 merupakan data waktu total *job* yang diperoleh dari pengolahan data sekunder dengan menambahkan waktu *setup* dan proses setiap *job* pada setiap mesin, dan mengalikannya dengan jumlah *part*.

Tabel 1. Waktu Total *Job*

Mesin/Job	Cutting (menit)	Fit-Up Machine (menit)	Welding LMH (menit)	Strigthening (menit)	Fit-Up Fab (menit)	Welding (menit)	Finishing (menit)
TB60-CG	89.06	131.84	419.34	155.12	284.79	288.60	76.38
TB60-TC	150.70	220.96	638.86	262.28	478.70	487.04	130.84
TB60-BC	160.56	244.12	707.76	279.16	532.80	526.60	135.08
TB60-DG	323.40	484.52	1545.00	562.24	1056.68	1058.92	274.64
TB60-ST	565.04	751.90	2431.32	975.14	1679.08	1678.08	313.40

Adapun berikut ini (Tabel 2) merupakan data jumlah stasiun dan jumlah mesin yang ada di PT. XYZ.

Tabel 2. Jumlah Mesin Tersedia

No	Machine Name	Quantity of Machine
1	Cuting Machine	1
2	Fit-Up Machine	1
3	Welding LMH	2
4	Strigthening	1
5	Fit-Up Fab	2
6	Welding (Manual)	3
7	Finishing Station	2

Penjadwalan Eksisting PT XYZ

Berikut ini merupakan penjadwalan eksisting perusahaan dengan urutan job 1-2-3-4-5 yang diterjemahkan ke dalam bentuk *gantt chart*.

Gambar 3. Penjadwalan Eksisting Perusahaan

Gambar 3 merupakan *gantt chart* penjadwalan eksisting, *gantt chart* tersebut disusun berdasarkan aliran produksi perusahaan yaitu *flow shop*, dimana aliran produksi memiliki kesamaan urutan operasi (*routing*) untuk semua *job*, dan setiap *job* baru akan bisa diproses dalam sebuah mesin apabila proses di mesin sebelumnya telah selesai. Pemilihan mesin dalam kondisi yang tersusun paralel didasarkan pada mesin yang lebih dulu *available*. Berdasarkan *gantt chart* tersebut diketahui bahwa *makespan* penjadwalan eksisting adalah sebesar 9117 menit.

Penjadwalan Menggunakan Metode *Longest Processing Time* (LPT)

Berdasarkan data *total time* dan langkah-langkah dalam melakukan penjadwalan dengan metode *priority dispatching rules* LPT yang telah digambarkan pada metodologi penelitian, maka dapat diketahui urutan *job* metode *longest processing time* adalah 5-4-3-2-1. Berikut ini (Gambar 4) merupakan *ganttchart* penjadwalan metode LPT.

Gambar 4. Gantt Chart Penjadwalan Metode *Priority Dispatching Rules* LPT

Berdasarkan *gantt chart* tersebut diketahui bahwa *makespan* penjadwalan dengan metode *priority dispatching rules* LPT adalah sebesar 8393 menit.

Penjadwalan Menggunakan Metode *Cross Entropy-Genetic Algorithm* (CEGA)

Berikut ini merupakan tahapan melakukan pengembangan algoritma CEGA dalam penjadwalan menggunakan mesin paralel:

Langkah 1: Menentukan nilai parameter inisial

- Jumlah sampel (N) = 10.
- Rasio sampel elit (ρ), yang merupakan parameter untuk menentukan banyaknya sampel elit yang akan diambil pada suatu populasi solusi. Nilai yang umum digunakan berkisar antara 1%-10% [4]. Peneliti menggunakan ρ sebesar 3%.

- c. Koefisien smooth (α), memiliki rentang nilai antara $0 < \alpha < 1$ [5]. Peneliti menggunakan α sebesar 0.5.
- d. Menentukan nilai inisial untuk parameter pindah silang. Nilai default inisial untuk parameter pindah silang (Pps) adalah 1 [6].
- e. Menentukan kriteria pemberhentian (β). Kriteria Pemberhentian adalah aturan yang digunakan untuk menghentikan iterasi, dimana β merupakan selisih hasil iterasi sekarang dan iterasi sebelumnya [7]. Peneliti menggunakan β sebesar 0.0001.

Langkah 2: Melakukan pembangkitan sampel awal. Pembangkitan sampel awal dilakukan dengan metode *roulette wheel* untuk membangkitkan sampel awal dengan mekanisme *random*. Dengan tahapan berikut:

- a. Menentukan probabilitas masing-masing individu.
- b. Dari probabilitas tersebut, dihitung nilai probabilitas masing-masing individu pada angka 0 sampai 1.
- c. Membangkitkan bilangan *random* antara 0 sampai 1.
- d. Menentukan individu terpilih sebagai sampel.

Tabel 3 merupakan tabel rekapitulasi pembangkitan sampel awal.

No	Bilangan <i>Random</i>	Nilai Probabilitas	Permutasi
1	0.026	0.025	12435
2	0.256	0.258	23541
3	0.342	0.342	24351
4	0.417	0.417	31425
5	0.450	0.450	31254
6	0.592	0.592	35142
7	0.657	0.658	42153
8	0.765	0.767	45123
9	0.821	0.817	51432
10	0.973	0.975	54123

Langkah 3: Menghitung nilai fungsi tujuan Z

Dalam penelitian ini fungsi tujuan yaitu menghitung M (*makespan*) yang merupakan waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan seluruh *job* mulai dari *job* 1 sampai ke n dikerjakan sampai selesai. Berikut ini (Tabel 4) merupakan rekapitulasi hasil perhitungan nilai *makespan* untuk 10 sampel sebagai populasi.

Tabel 4. Rekapitulasi Nilai *Makespan* Populasi

Sampel	Urutan					<i>Makespan</i> (Menit)
S1	1	2	4	3	5	9120
S2	2	3	5	4	1	8705
S3	2	4	3	5	1	9031
S4	3	1	4	2	5	9117
S5	3	1	2	5	4	8794
S6	3	5	1	4	2	8554
S7	4	2	1	5	3	9429
S8	4	5	1	2	3	8717
S9	5	1	4	3	2	8393
S10	5	4	3	1	2	8393

Langkah 4: Penentuan Sampel Elit

Penentuan nilai sampel elit ini didasarkan pada langkah inisialisasi parameter. sampel elit yaitu $\rho \times N$, jumlah sampel elit dapat diketahui sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Sampel Elit} &= 0.03 \times 10 \\ &= 0.3 \approx 1\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan nilai sampel elit, maka akan diambil satu sampel teratas yang memiliki *makespan* terkecil pada sampel ke 9 dengan urutan pekerjaan yaitu 5-1-4-3-2.

Langkah 5: Pembobotan Sampel Elit

Nilai pembobotan sampel elit didasarkan dari perhitungan penentuan sampel elit pada langkah sebelumnya yaitu 1, nilai tersebut didapatkan dari evaluasi terhadap nilai terbaik pada iterasi sebelumnya [8].

Langkah 6: Perhitungan Linier Fitness Ranging (LFR)

Tahap perhitungan nilai LFR ini digunakan untuk pemilihan induk pada proses pindah silang.

Berdasarkan rumus Berikut ini merupakan perhitngan LFR untuk ke-10 sampel terpilih.

$$\text{LFR} (I(N - i + 1)) = F_{\max} - (F_{\max} - F_{\min}) * \frac{(i - 1)}{(N - 1)}$$

dengan $F_{\max} = \frac{1}{z(1)}$ dan $F_{\min} = \frac{1}{z(N)}$

$$F_{\max} = \frac{1}{8393} = 0.000119$$

$$F_{\min} = \frac{1}{9429} = 0.000106$$

Dari hasil *makespan* yang sudah di urutkan, maka LFR untuk ke 10 sampel adalah:

a. Sampel 9 = 0.000119	f. Sampel 3 = 0.000110
b. Sampel 10 = 0.000118	g. Sampel 4 = 0.000109
c. Sampel 6 = 0.000116	h. Sampel 1 = 0.000107
d. Sampel 2 = 0.000113	i. Sampel 7 = 0.000106
e. Sampel 5 = 0.000112	

Langkah 7: Penentuan Pemilihan Induk Pindah Silang

Pemilihan induk pindah silang dilakukan dengan memilih dua buah kromosom sebagai induk yang akan dipindah silangkan dilakukan secara proporsional sesuai dengan nilai *fitness*-nya. Dalam penelitian ini untuk melakukan pindah silang menggunakan mekanisme *roulette wheel*, yaitu dengan pemilihan induk 1 dari sampel elit dan induk 2 dari sampel keseluruhan [1].

a. Memilih Induk 1

Dengan cara mengambil sampel dari nilai sampel elit yang memiliki nilai fungsi tujuan terbaik (nilai *makespan* minimum) dari mekanisme elitisme sehingga didapatkan sampel S9 dengan urutan *job* 5-1-4-3-2.

b. Memilih Induk 2

Pada proses ini akan menggunakan nilai LFR dari sampel yang sedang dievaluasi. Apabila nilai perbandingan antara kumulatif LFR dan total LFR lebih besar dari nilai acak yang dibangkitkan, maka sampel tersebut menjadi induk 2 [8].

$$\text{Sampel 10} = 0.00119 - ((0.00119 - 0.00106) \times \left(\frac{(2-1)}{(10-1)} \right)) = 0.000118$$

Langkah 8: *Update* Parameter Pindah Silang

Update parameter pindah silang digunakan untuk mendapatkan nilai parameter yang terbaru untuk evaluasi kriteria pemberhentian.

$$Pps(i) = (1-\alpha) * \left(\frac{\bar{Z}_e}{2 \times Z_{best}} \right) + (Pps * \alpha)$$

$$Pps(i) = (1-0.5) * \left(\frac{8393}{2 \times 8393} \right) + (1 * 0.5)$$

$$Pps(i) = 0.75$$

Hasil nilai parameter terbaru yang didapat selanjutnya akan digunakan sebagai dasar untuk menentukan apakah suatu kromosom perlu dilakukan proses pindah silang atau tidak.

Langkah 9: Elitisme

Langkah elitisme bertujuan untuk menjaga agar individu bernilai *fitness* tertinggi tersebut tidak hilang selama evolusi, sample ini nantinya akan muncul kembali pada populasi sampel diiterasi berikutnya [8]. Sedangkan jumlah sampel yang dilakukan elitisme ini sebanyak satu sampel, karena dari hasil perhitungan sampel elit didapatkan nilai 1. Sehingga sampel yang dilakukan elitisme adalah S9 dengan urutan *job* 5-1-4-3-2. Hasil dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan LFR Kumulatif dengan Nilai Acak

Sampel	LFR	LFR Kumulatif	Ket.	Nilai Acak
S9	0.000119	0.10581	<	0.82211
S10	0.000118	0.21033	<	0.82211
S6	0.000116	0.31356	<	0.82211
S2	0.000115	0.41549	<	0.82211
S8	0.000113	0.51614	<	0.82211
S5	0.000112	0.61549	<	0.82211
S3	0.000110	0.71356	<	0.82211
S4	0.000109	0.81033	<	0.82211
S1	0.000107	0.90581	>	0.82211
S7	0.000106	1	>	0.82211

Metode *Cross Over* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *2-point order Cross Over*. Adapun hasil dari pembangkitan bilangan R untuk menentukan sampel yang akan dilakukan *Cross Over* dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Pembangkitan Bilangan *Random* untuk Penentuan *Cross Over*

Sampel	R	P_ps	Kesimpulan
S9	0.95321	0.75	Tanpa <i>Cross Over</i>
S10	0.50262	0.75	<i>Cross Over</i>
S6	0.44545	0.75	<i>Cross Over</i>
S2	0.39176	0.75	<i>Cross Over</i>
S8	0.27268	0.75	<i>Cross Over</i>
S5	0.98569	0.75	Tanpa <i>Cross Over</i>
S3	0.96056	0.75	Tanpa <i>Cross Over</i>
S4	0.99422	0.75	Tanpa <i>Cross Over</i>
S1	0.97433	0.75	Tanpa <i>Cross Over</i>
S7	0.98121	0.75	Tanpa <i>Cross Over</i>

Langkah 10: *Cross Over* (Pindah Silang)

Cross Over (Pindah Silang) merupakan tahapan dari algoritma genetika yang akan menyilangkan 2 induk untuk membentuk kromosom baru yang akan menghasilkan

individu baru yang lebih baik. Dalam teknik *Cross Over* ini untuk mengetahui sampel mana yang akan mengalami *Cross Over* maka dilakukan pembangkitan bilangan acak. Jika dalam pembangkitan bilangan acak diperoleh bilangan *random* (R) lebih kecil dari parameter pindah silang (P_{ps}) atau $R < P_{ps}$, maka akan dilakukan pindah silang terhadap kedua kromosom induk tersebut, dan sebaliknya [1]. Untuk menentukan bagian dari sampel induk yang akan ditukar, maka dilakukan pembangkitan dua bilangan acak untuk proses pindah silang pada *ceil* atau gen induk yang akan mengalami proses *Cross Over*. Nilai acak tersebut kemudian dikonversi menjadi nilai bulat, dan digunakan sebagai pembatas bagian sampel yang akan di pindah antar induk [3]. Pada Tabel 7 dapat dilihat proses *Cross Over*.

Tabel 7. Proses *Cross Over*

Induk yang di <i>Cross Over</i>	Urutan Job	Pembangkitan Bilangan Random	Cell (random*n)	Cell yang di <i>Cross Over</i>	Hasil <i>Cross Over</i>	Keterangan
S9 VS S1	51432	$r1 = 0.22243$	$1.11215=2$	51 4 32	51432	Menjadi sampel S10
	12435	$r2 = 0.58040$	$2.90200=3$	12 4 35	12435	Menjadi sampel S6
S9 VS S7	51432	$r1 = 0.50240$	$2.51200=3$	514 3 2	14352	Menjadi Sampel S2
	42153	$r1 = 0.62441$	$3.12205=4$	421 5 3	42135	Menjadi sampel S8

Contoh Perhitungan:

Sampel S9 VS S7

Bilangan *random* $r1 = 0.50240$

Bilangan *random* $r2 = 0.62441$

Ceil $r1 = r1 \times n \text{ job}$
 $= 0.50240 \times 5$
 $= 2.51200 \approx 3$

Ceil $r2 = r2 \times n \text{ job}$

$= 0.62441 \times 5$

$= 3.12205 \approx 4$

Ceil $r1$ yang di *crossover* = 514|3|2

Ceil $r2$ yang di *crossover* = 421|5|3

Cara melakukan *crossover* adalah dengan menukar angka yang berada di dalam kurung, lalu untuk mengisi titik-titik pada calon anak 1, maka diperiksa operasi pada induk1. Jika terdapat operasi pada induk 1 yang belum tercantum pada calon anak 1, maka operasi tersebut akan mengisi titik-titik. Hal ini dilakukan secara berurutan [3], sehingga sampel anakan hasil pindah silang menjadi seperti di bawah ini.

Induk 1 = 514|3|2

Induk 2 = 421|5|3

Calon anak 1 = _ _ _|5|_

Calon anak 2 = _ _ _|3|_

Anak 1 = 1 4 3 |5| 2 → Menggantikan sampel S2

Anak 2 = 4 2 1 |3| 5 → Menggantikan sampel S8

Langkah 11: Mutasi

Mutasi dimaksudkan untuk memunculkan individu baru yang berbeda dengan individu yang sudah ada. Proses mutasi akan dipilih secara *random* dan gen pada *site* tersebut akan diubah nilainya. Jika angka *random* (R) tersebut lebih kecil dari parameter mutasi (P_m) maka digit gen akan diganti, dan sebaliknya [3]. Nilai parameter mutasi ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$P_m = \frac{P_{ps}}{2} = \frac{0.75}{2} = 0.375$$

Setelah didapatkan nilai parameter mutasi (P_m), dan N yang ditetapkan di adalah sebesar 10 sampel, maka menurut [1], jumlah sampel kromosom yang akan mengalami mutasi dapat dihitung dengan rumus:

$$N_a = P_m \times N$$

$$N_a = 0,375 \times 10$$

$N_a = 3,75 \approx 4$, Maka dapat diketahui ada 4 sampel kromosom yang akan mengalami proses mutasi.

Tabel 8. Penentuan Kromosom yang Akan Dimutasi

Sampel	Hasil Cross Over	Random Mutasi	Probabilitas Mutasi (Pm)	Ket.	Hasil
S9	51432	0.03156	0.375	$R < P_m$	Tetap Induk
S10	51432	0.00694	0.375	$R < P_m$	Dimutasi
S6	12435	0.34550	0.375	$R < P_m$	Dimutasi
S2	14352	0.94869	0.375	$R > P_m$	Tidak Dimutasi
S8	42135	0.55741	0.375	$R > P_m$	Tidak Dimutasi
S5	31254	0.79088	0.375	$R > P_m$	Tidak Dimutasi
S3	24351	0.12640	0.375	$R < P_m$	Tidak Dimutasi
S4	31425	0.91209	0.375	$R > P_m$	Dimutasi
S1	12435	0.67069	0.375	$R > P_m$	Tidak Dimutasi
S7	42153	0.56825	0.375	$R > P_m$	Tidak Dimutasi

Pada Tabel 8 diketahui bahwa kromosom yang akan mengalami mutasi adalah sampel S10, S6 dan S3. Meskipun sampel S9 memiliki bilangan *random* lebih kecil daripada nilai probabilitas mutasi, namun karena sampel S9 adalah sampel elit maka berdasarkan teori algoritma CEGA, sampel elit harus dipertahankan keberadaannya. Tahap selanjutnya yaitu melakukan mutasi terhadap ketiga kromosom tersebut. Mutasi yang dilakukan ada 3 jenis yaitu *flip mutation*, *swap mutation* dan *slide mutation*. Berikut ini merupakan contoh perhitungan proses mutasi pada sampel Z2 dan cara penentuan penggunaan jenis mutasi.

$$Rand\ i = 0.1115$$

$$Rand\ j = 0.6431$$

$$I, J = \text{ceil}(n \times rij)$$

$$I = \text{ceil}(5 \times 0.1115) = 0.557 \approx 1$$

$$J = \text{ceil}(5 \times 0.6431) = 3.215 \approx 4$$

Menurut [1], untuk menentukan jenis mutasi pada kromosom, dapat dilakukan dengan rumus:

$$k = \text{ceil}(Rand\ k \times 3)$$

Dari hasil tersebut, terdapat ketentuan hasil sebagai berikut:

$k = 1$: *flip mutation* (membalik)

$k = 2$: *swap mutation* (menukar)

$k = 3$: *slide mutation* (menggeser)

Maka pada Tabel 9 dapat dijabarkan hasil proses mutasi pada ketiga kromosom terpilih.

Tabel 9. Hasil Proses Mutasi

Sampel	Hasil Cross Over	Random Mutasi	Probabilitas Mutasi (Pm)	Keterangan	Random (ri,rj)	Nilai I,J dengan n = 5	Random K	Nilai K dengan k = 3	Proses Mutasi	Hasil Akhir
S9	51432	0.03156	0.375	Tetap Induk						
S10	51432	0.00694	0.375	Dimutasi	0.1450 0.4889	$\frac{0.7254}{2.4447} = 1$ $\frac{1}{3}$	0.03049	0.091=1	<i>Flip Mutation</i>	54132
S6	12435	0.3455	0.375	Dimutasi	0.1115 0.6431	$\frac{0.5576}{3.2154} = 1$ $\frac{1}{4}$	0.59564	1.782=2	<i>Swap Mutation</i>	13425
S2	14352	0.94869	0.375	Tidak Dimutasi						
S8	42135	0.55741	0.375	Tidak Dimutasi						
S5	31254	0.79088	0.375	Tidak Dimutasi						
S3	24351	0.1264	0.375	Dimutasi	0.12966 0.73908	$\frac{0.6483}{3.6954} = 1$ $\frac{1}{4}$	0.13956	0.418=1	<i>Flip Mutation</i>	25341
S4	31425	0.91209	0.375	Tidak Dimutasi						
S1	12435	0.67069	0.375	Tidak Dimutasi						
S7	42153	0.56825	0.375	Tidak Dimutasi						

Langkah 12: Menghitung Nilai Fungsi Tujuan (*Makespan*) dari Populasi Baru

Setelah melakukan proses mutasi, maka akan diperoleh sampel baru berupa urutan pekerjaan yang baru yang akan dihitung nilai *makespan*-nya. Adapun berikut ini (Tabel 10) merupakan hasil perhitungan nilai fungsi tujuan (*makespan*) dari sample baru.

Sampel	Urutan Pekerjaan Baru	Makespan (Menit)
S9	51432	8393
S10	54132	8393
S3	25341	8544
S5	31254	8794
S6	13425	9117
S4	31425	9117
S1	12435	9120
S2	14352	9329
S7	42153	9429
S8	42135	9680

Berdasarkan Tabel 10 diketahui bahwa nilai *makespan* dengan metode CEGA didapat nilai minimumnya adalah 8393 menit dengan urutan *job* 5-1-4-3-2 dan 5-4-1-3-2.

Penjadwalan Metode CEGA menggunakan MATLAB

Berikut ini merupakan *pseudocode* untuk studi kasus dalam penelitian ini sebagai panduan dalam menerjemahkan ke dalam bahasa pemrograman pada MATLAB.

a. *Pseudocode*

Berikut ini merupakan *pseudocode* untuk studi kasus penjadwalan mesin paralel menggunakan algoritma CEGA sebagai panduan dalam menerjemahkan ke dalam bahasa pemrograman pada MATLAB (Gambar 5).

```

Determine Initial Parameter
Generate Initial Random Population
Calculate Objective Function
(Makespan)
For i to N
If Stopping Criteria is achieve
Then stop
If Stopping Criteria not achieve
Select elite sample
    jumlahSampelElit = rho * N
Weighting elite sample
Calculate Linier Fitness Rangkaing
    Fmax = 1/min(i);
    Fmin = 1/max(i);
    LFR(i) = Fmax - ((Fmax - Fmin) *
        ((i-1)/(jumlahSampel-1)));
Crossover Update Parameter
    Pps(i) = (1-α) * u + (Pps * α)
Elitism Sample
Select parents for crossover process
    i1 = Parents
    If LFR Kumulatif > R, then parents
Crossover Process
    i = i+1
    i1 = No Crossover
    If R < Pps, then Cross Over
Mutation Process
    Select Ceil = R * N
    i1 = No Mutation
    
```

Gambar 5. Program Menggunakan *Software* MATLAB

Dalam penjadwalan metode CEGA menggunakan MATLAB dilakukan iterasi sebanyak 3 kali dengan mengubah parameter nilai koefisien *smooth* rendah (0.1), sedang (0.5) dan tinggi (0.9). Dari hasil *run* dengan *software* matlab (Gambar 6), didapatkan nilai

minimum *makespan* dari ketiga iterasi tersebut adalah 8393 menit. Lalu dilakukan *running* yang kedua agar bilangan *random* pada setiap nilai acak berubah, tetap dihasilkan nilai minimum *makespan* adalah sebesar 8393 menit, maka dapat disimpulkan bahwa hasil sudah konvergen dan tidak ada *makespan* yang lebih minimum lagi, sehingga *stopping criteria* telah terpenuhi. Adapun berikut ini (Gambar 6) merupakan grafik hasil *running* program Ke- 1 dengan 3 iterasi.

```

nilaiMinimum =

    1.0e+03 *

    8.3940    0.0001
    8.3940    0.0005
    8.3940    0.0009
    
```

Gambar 6. Hasil *Running* Program Menggunakan *Software* MATLAB

Dari Gambar 7 hasil *running* program pada *software* Matlab, diketahui bahwa nilai minimum dari penjadwalan produksi dengan metode CEGA diperoleh nilai 8393 pada ketiga iterasi. Berikut ini merupakan *ganttt chart* penjadwalan dengan *makespan* terkecil yaitu sampel S9 dengan urutan *job* 5-1-4-3-2 dan sampel S10 dengan urutan 5-4-1-3-2.

Gambar 7. *Gantt Chart* Penjadwalan Produksi Sampel 9 (kiri) dan Sampel 10 (kanan)

Perbandingan Penjadwalan Metode Eksisting, LPT dan CEGA

Berikut ini merupakan tabel perbandingan penjadwalan metode *eksisting*, metode LPT, dan metode CEGA.

Tabel 11. Perbandingan Penjadwalan Metode *Eksisting*, LPT dan CEGA

No	Metode	Urutan <i>Job</i>	Makespan (Menit)	Efisiensi
1	Eksisting	1-2-3-4-5	9117	
2	LPT	5-4-3-2-1	8393	7,94%
3	CEGA	5-1-4-3-2	8393	7,94%
4	CEGA	5-4-1-3-2	8393	7,94%

Contoh Perhitungan:

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{Makespan Perusahaan} - \text{Makespan Metode LPT}}{\text{Makespan Perusahaan}} \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi} = \frac{9117 - 8393}{9117} \times 100\% = 7,94\%$$

Berdasarkan Tabel 11 diketahui bahwa walaupun hasil urutan *job* berbeda namun hasil penjadwalan metode LPT dan CEGA menghasilkan nilai efisiensi yang sama apabila dibandingkan dengan metode *eksisting* perusahaan yaitu sebesar 7,94%. Karena metode usulan mempunyai *makespan* yang sama, maka perlu dilakukan analisa lebih lanjut untuk memilih metode usulan terbaik yaitu dengan cara membandingkan *idle time* mesin,

berdasarkan *ganttt chart* ketiga metode tersebut, dapat dilihat bahwa metode LPT memiliki *idle time* mesin yang paling sedikit hanya terjadi saat menunggu *job* awal yang dikerjakan di mesin tersebut, Maka berdasarkan kondisi tersebut, peneliti mengusulkan urutan *job* dengan metode LPT yaitu 5-4-3-2-1 sebagai metode usulan terbaik.

KESIMPULAN

Berikut ini merupakan kesimpulan penelitian penjadwalan yang telah dilakukan:

1. Usulan urutan pekerjaan yang lebih baik adalah 5-4-3-2-1.
2. Makespan eksisting sebelum dilakukan usulan *flow shop scheduling* adalah 9117 menit dan *makespan* setelah dilakukan usulan *flow shop scheduling* adalah 8393 menit dengan metode LPT dan CEGA.
3. Persen efisiensi *makespan* adalah sebesar 7,94% baik itu menggunakan metode LPT maupun CEGA.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Widodo, Dian Setiya., 2015. Penjadwalan Flow Shop Dengan Pendekatan Cross Entropy-Genetic Algorithm Untuk Menurunkan Makespan Pada Pembuatan Roda Gigi. *Jurnal Teknik Industri HEURISTIC*. Vol 12 No 2.
- [2]. K. R. Baker and D. Trietsch., 2013. *Principles Of Sequencing And Scheduling*: John Wiley & Sons.
- [3]. Widodo, D.S., Santoso, P. B., dan Siswanto, E., 2014. Pendekatan Algoritma Cross Entropy Genetic Algorithm Untuk Menurunkan Makespan Pada Penjadwalan Flow Shop. *Journal of Engineering and Management in Industrial System* Vol. 2.
- [4]. Kroese, Dirk P., 2009. *Cross-Entropy Method*, Brisbane: Mathematics Department, Univerisity of Queensland.
- [5]. De Boer., Pieter-Tjerk., Kroese Dirk P., Mannor S., and Rubinstein R.Y., 2003, *A tutorial on the Cross-Entropy Method*, Haifa: Department of Industrial Engineering, Technion – Israel Institute of Technology.
- [6]. Budiman M.A., 2010, *Pendekatan Cross Entropy-Genetic Algorithm Untuk Permasalahan Penjadwalan Job Shop Tanpa Waktu Tunggu Pada Banyak Mesin*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [7]. Basori, Sayid dan Suparno., 2009. *Pendekatan Cross Entropy Untuk Minimasi Bikriteria Makespan Dan Total Tardiness Pada Penjadwalan Produksi Flowshop Dengan Mesin Paralel*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [8]. Nurkhalida, L., dan Santosa, B., 2012. *Pendekatan Cross Entropy-Genetic Algorithm Pada Permasalahan Multi Objective Job shop Scheduling*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.