

PENJADWALAN *FLOW SHOP* MENGGUNAKAN PENDEKATAN *CROSS ENTROPY-GENETIC* ALGORITHM UNTUK MEMINIMASI *MAKESPAN* DI PT. XYZ

Arnan Jinawi¹⁾, Budi Santoso²⁾, Tutuk Safirin³⁾

^{1),2)}Program Studi Teknik Industri

Universitas Pembangunan Veteran Jawa Timur

Jl. Rungkut Madya, Gunung Anyar, Kec. Gunung Anyar, Kota Surabaya, Jawa Timur, Indonesia,
60294.

E-mail: arnanjinawi@gmail.com¹⁾ dan budisantosoupn@gmail.com²⁾, mochtusa@gmail.com³⁾

ABSTRAK

Era pandemi ini memaksa seluruh lapisan masyarakat, khususnya pada sektor industri, untuk terus beradaptasi dengan keadaan. Salah satunya adalah PT. XYZ yang bergerak pada industri pengemasan secara flow shop. Dampak dari pandemi menyebabkan perusahaan ini juga memberlakukan pembatasan jumlah karyawan yang nantinya akan berpengaruh terhadap berubahnya waktu penjadwalan produksi. Untuk tetap menjalankan proses produksinya, perusahaan melakukan penyesuaian penjadwalan produksi dengan tujuan untuk meminimasi total waktu makespan. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk membandingkan antara metode perusahaan secara LPT dengan metode CEGA. Metode CEGA digunakan untuk melakukan penjadwalan dengan cara mengurutkan prioritas job yang akan dikerjakan terlebih dahulu. Metode CEGA mampu memberikan nilai makespan yang lebih baik yaitu sebesar 129,621 jam atau berbeda sekitar 15,51% dari metode sebelumnya. Metode ini mampu menghemat 20,13 jam atau lebih efisien 13,44% dari metode yang telah diterapkan oleh perusahaan. Metode CEGA dianalisis dengan menggunakan Matlab untuk menunjang proses perhitungan.

Kata Kunci: *Penjadwalan, Flow Shop, Cross Entropy-Genetic Algorithm*

ABSTRACT

The pandemic era is forcing every elements of society, especially the industrial sectors to adapt the current situation. PT. XYZ is one of the industries that operate the flow shop packaging industry. The industry has to restrict amount of employees that cause some changes in the production schedule. To maintain it's process, a scheduling adjustment is needed to minimize the makespan. This research aims to compare a LPT method used by the industry to CEGA method. The CEGA method used to sequence the orders by the customers. The CEGA method has better results, which is 129,621 hours or 15,51% different from the previous method. The CEGA method is also able to save 20,13 hours or 13,44% more efficeint than the previous method applied by the industry. The CEGA method is analyze using Matlab to support the calculation process.

Keywords: *Scheduling, Flow Shop, Cross Entropy-Genetic Algorithm*

I. PENDAHULUAN

Berbagai upaya telah dilakukan oleh pelaku industri di Indonesia seperti *work from home*, pengurangan karyawan dengan sistem *shift*, dan sebagainya untuk menghindari penularan virus. Salah satu upaya yang juga dapat dilakukan oleh pengusaha adalah dengan memperbarui rencana penjadwalan dengan berbagai keterbatasan tenaga kerja. Melalui sistem penjadwalan produksi, diharapkan kegiatan produksi perusahaan akan tetap berjalan dengan berbagai peningkatan efisiensi waktu kerja.

PT. XYZ merupakan perusahaan manufaktur, secara *flow shop*, yang memproduksi kardus kemasan berbahan dasar kertas untuk produk makanan hingga elektronik. Kecepatan waktu penyelesaian suatu *job* selalu menjadi prioritas perusahaan. Namun terdapat salah satu kendala yaitu dilakukannya pembatasan jumlah karyawan, untuk mencegah penularan virus, sebanyak kurang lebih 25%-50% dari jumlah normal. Hal tersebut secara tidak langsung akan mempengaruhi efektivitas dan efisiensi *output* kegiatan produksi perusahaan dari kondisi normal. Dengan kondisi tersebut, perusahaan akan berusaha untuk melakukan melakukan suatu upaya penjadwalan agar kegiatan produksi tetap optimal.

Dengan permasalahan demikian, akan diusulkan penjadwalan produksi untuk meminimasi *makespan* dengan menggunakan metode metaheuristik yaitu CEGA dengan harapan bahwa penelitian ini memberikan performa yang lebih baik sebagaimana pada penelitian penjadwalan *flow shop* oleh Utama (2019) dan penelitian *energy consumption* oleh Utama (2019). Penjadwalan sebelumnya dilakukan dengan mengurutkan *job* yang memiliki total waktu pengerjaan paling lama atau secara LPT. Penjadwalan dilakukan dengan mengurutkan prioritas *job* yang nantinya akan mempengaruhi waktu penyelesaian pada permasalahan. *Output* dari penelitian adalah bentuk urutan *job* dan nilai *makespan*. Sementara *output* dari penjadwalan secara efektif akan ditampilkan dalam bentuk *simple timetable* dan *Gantt Chart* (Heizer, 2011)

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Penjadwalan

Pinedo (2016) menyatakan bahwa penjadwalan merupakan proses pengambilan keputusan yang menjadi hal dasar dalam berbagai industri manufaktur dan jasa. Menurut Kho (2019), penjadwalan merupakan proses-proses yang mengatur, mengendalikan, dan mengoptimalkan kerja dan beban kerja dalam proses produksi atau proses manufaktur. Ukuran performansi merupakan tujuan yang akan dicapai dari penjadwalan produksi (Baker & Trietsch, 2018). Beberapa kriteria penjadwalan urutan *job* adalah sebagai berikut:

1. *Flow Tiime* (Fi), adalah waktu yang dibutuhkan oleh suatu pekerjaan/*job* mulai dari pekerjaan tersebut masuk sampai pekerjaan tersebut selesai dikerjakan.
2. *Completion Time* (Ci), waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pekerjaan mulai dari saat tersedianya pekerjaan ($t = 0$) sampai pada pekerjaan selesai dikerjakan.
3. *Mean flow time* merupakan waktu rata-rata dari seluruh pekerjaan untuk melewati seluruh rangkaian proses produksi.
4. *Mean weight flow time*, memiliki arti yang hampir sama dengan mean flow time, hanya saja mempertimbangkan prioritas pengerjaan setiap *job*.
5. *Maximum Lateness*, yaitu besarnya simpangan maksimum atau selisih waktu penyelesaian seluruh *job* yang dijadwalkan terhadap batas waktu penyelesaian *job*.
6. *Tardiness*, ukuran keterlambatan yang bernilai positif jika pekerjaan dapat diselesaikan lebih cepat dari dari *due date*-nya, sebagaimana sebaliknya.
7. Utilitas mesin, merupakan rasio dari jumlah mesin yang dibebankan pada mesin dengan rentang waktu untuk menyelesaikan seluruh tugas pada semua
8. Minimasi *makespan*, yaitu jangka waktu penyelesaian seluruh *job* yang akan dijadwalkan yang merupakan jumlah dari seluruh proses.

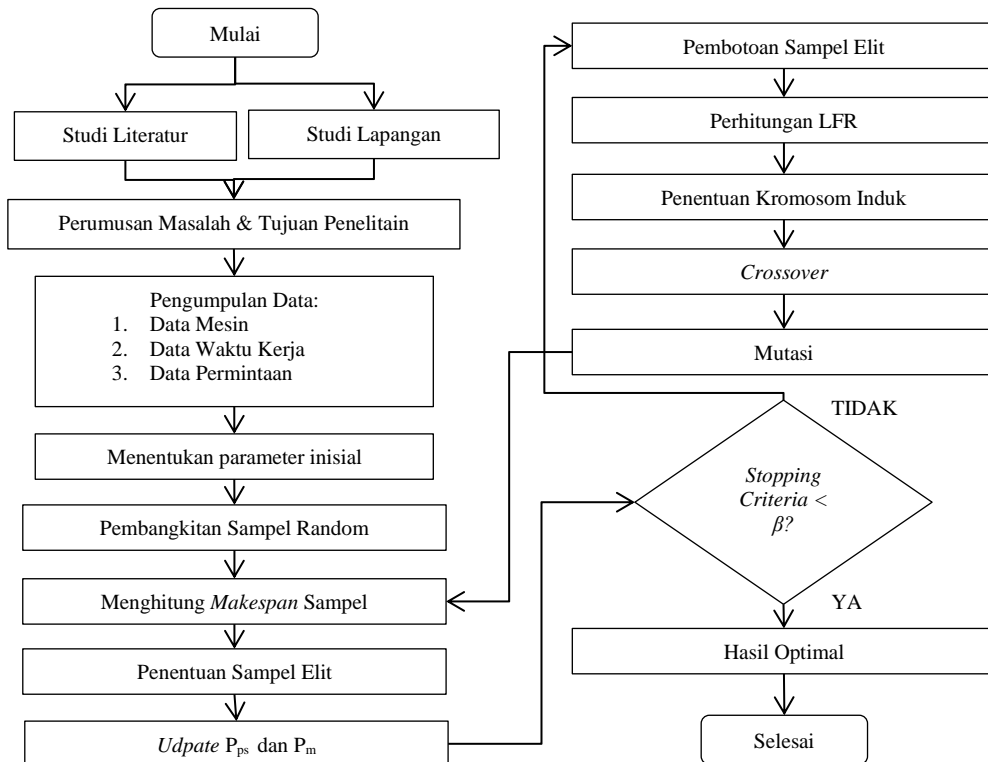
B. Metode Cross Entropy-Genetic Algorithm

Metode metaheuristik dapat didefinisikan sebagai metode lanjut berbasis heuristik untuk menyelesaikan persoalan optimasi secara efisien (Iqbal, 2020). Metode CEGA merupakan pengembangan dari metode *Cross Entropy* yang dihibridasi dengan metode *Genetic Algorithm*. Metode ini dilakukan dengan penerapan kaidah pembangkitan data random sebagaimana CE (Ardiansyah, 2016) dan mekanisme perbaikan data seperti *crossover* dan mutasi pada GA (Santosa, 2017). Dikembangkannya hibridasi metode ini juga dikarenakan pada metode CE tidak adanya mekanisme yang mempertahankan sampel terbaik antar iterasi sebagaimana pada penelitian Rahmawati (2017).

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini memiliki tujuan untuk meminimasi nilai *makespan* dengan menggunakan metode CEGA. Adapun variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Variabel Bebas
Yang termasuk variabel terikat pada penelitian ini adalah waktu penyelesaian (*makespan*) yang optimal
2. Variabel Terikat
Yang termasuk dalam variabel bebas dalam penelitian ini adalah :
 - a. Data Kapasitas Mesin
Data ini berisikan jumlah, tipe, dan kapasitas mesin untuk memproses satu tugas pada satu waktu. Mesin yang digunakan untuk melakukan proses produksi berjumlah 3 (tiga) macam, yaitu: *Corrugator Machine* (M1) sebanyak 1 (satu) untuk membentuk dimensi dan *flute* kardus, *Flexo Printing Machine* (M2) sebanyak 2 (dua) untuk mencetak desain kemasan, dan *Diecut Machine* (M3) sebanyak 10 (sepuluh) untuk membentuk pola.
 - b. Data Waktu Kerja
Data waktu kerja merupakan besarnya waktu pada tiap urutan proses operasi yang berlangsung pada tiap *job* yang kemudian dilakukan perhitungan waktu normal, waktu baku, dan waktu proses sebagaimana pada Sari (2020), Montororing (2018), dan Rachman (2018).
 - c. Data Permintaan
Data permintaan merupakan ini jumlah pesanan beserta waktu tenggat (*due date*) oleh konsumen. Permintaan pada penelitian ini sebanyak 10 (sepuluh) produk, yang diantaranya produk dengan kode sebagai berikut: ND-84 (J1), INA-54.2 (J2), ND-06 (J3), ND-85 (J4), ND-28 (J5), ND-31 (J6), ND-72 (J7), ND-70 (J8), ND-71 (J9), dan ND-61 (J10).
 - d. Data Metode Perusahaan
Data metode perusahaan menunjukkan urutan *job* dan waktu penyelesaian (*makespan*) yang selama ini dilakukan oleh perusahaan menggunakan metode LPT.
Berikut merupakan langkah penyelesaian permasalahan penjadwalan dengan metode CEGA di PT. XYZ (Muharni, 2019):



Gambar 1. Langkah Penyelesaian Masalah dengan Metode CEGA

Penyelesaian diawali dengan penetapan parameter inisial algoritma yang diikuti dengan pembangkitan populasi sampel secara random. Kemudian akan dihitung *makespan* dari sampel tersebut menggunakan mekanisme *timetable*. Sampel elit ditentukan pada sampel yang memiliki *makespan* minimum. Proses *update* dilakukan untuk mengevaluasi sampel yang telah dibangkitkan. Jika *stopping criteria* terpenuhi maka algoritma selesai, jika tidak maka akan dilakukan pembobotan sampel elit dan perhitungan LFR. Penentuan kromosom induk dilakukan untuk memilih induk 1 dan induk 2 pada proses *crossover*. *Crossover* dilakukan secara *2-point crossover* untuk melakukan pindah silang data antar sampel induk 1 dan induk 2. Proses mutasi dilakukan untuk melahirkan sampel baru. Setelah mendapatkan populasi baru, akan dilakukan proses yang sama untuk menghitung *makespan*, *update* sampel, dan pemenuhan *stopping criteria* sebagai evaluasi algoritma. Jika *stopping criteria* terpenuhi maka algoritma akan selesai.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penyelesaian dari permasalahan ini akan dilakukan dengan dua metode sebagaimana berikut:

A. Metode LPT

Metode LPT merupakan algoritma heuristik dengan mekanisme proses dengan waktu operasi yang paling panjang akan dijadwalkan terlebih dahulu (Purwati, 2020). Berikut penyelesaian menggunakan metode LPT pada Tabel I, Tabel II, dan Tabel III:

TABEL I
WAKTU PROSES

Job \ Mesin	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10
M1	1,93	3,04	2,61	0,32	0,29	0,33	0,02	0,03	0,01	0,01
M2	24,30	37,92	32,02	4,13	1,92	4,11	0,30	0,34	0,15	0,10
M3	19,18	29,42	31,53	8,11	6,49	8,03	1,01	1,15	0,78	0,49

Keterangan: dalam satuan jam

TABEL II
PERHITUNGAN LPT

Job	M1	M2	M3	Ct	Rank
1	1,93	24,30	19,18	45,41	3
2	3,04	37,92	29,42	70,38	1
3	2,61	32,02	31,53	66,15	2
4	0,32	4,13	8,11	12,55	4
5	0,29	1,92	6,49	8,70	6
6	0,33	4,11	8,03	12,47	5
7	0,02	0,30	1,01	1,33	8
8	0,03	0,34	1,15	1,52	7
9	0,01	0,15	0,78	0,94	9
10	0,01	0,10	0,49	0,59	10

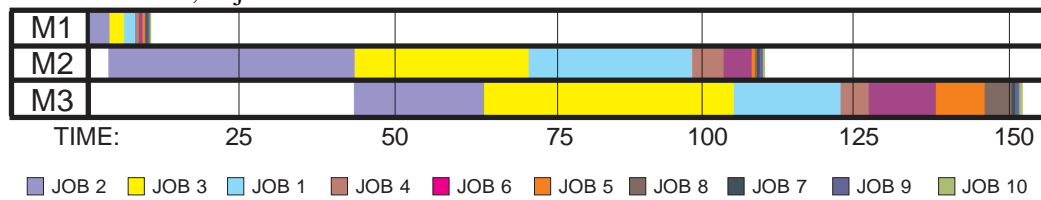
Keterangan: dalam satuan jam

TABEL III
PERHITUNGAN MAKESPAN LPT

Job	M1		M2		M3	
	Mulai	Selesai	Mulai	Selesai	Mulai	Selesai
2	0,00	3,04	3,04	40,96	40,96	70,38
3	3,04	5,64	40,96	72,98	72,98	104,51
1	5,64	7,57	72,98	97,28	104,51	123,69
4	7,57	7,88	97,28	101,42	123,69	131,80
6	7,88	8,22	101,42	105,53	131,80	139,83
5	8,22	8,51	105,53	107,45	139,83	146,31
8	8,51	8,53	107,45	107,80	146,31	147,47
7	8,53	8,56	107,80	108,09	147,47	148,48
9	8,56	8,57	108,09	108,24	148,48	149,26
10	8,57	8,58	108,24	108,34	149,26	149,75

Keterangan: dalam satuan jam

Metode LPT memiliki urutan *job*: 2-3-1-4-6-5-8-7-9-10 dengan nilai *makespan* adalah 149,75 jam.



Gambar 2 Gantt Chart Penjadwalan Metode LPT

B. Metode CEGA

1) Inisialisasi Parameter

Pada tahap ini akan ditetapkan parameter inisial adalah sebagai berikut:

- a. Jumlah sampel (N) = 10
- b. Parameter kejarangan (ρ) = 0,1
- c. Koefisien penghalusan (α) = 0,5
- d. Parameter pindah silang (Pps) = 1
- e. Parameter pemberhentian (β)=0,0001

2) Pembangkitan Sampel Random

Pada tahap ini adakan dilakukan pembangkitan populasi sampel secara random sebagaimana Tabel IV berikut:

TABEL IV
SAMPEL AWAL

Sampel	Urutan <i>job</i>									
Y1	10	1	2	3	8	4	6	7	5	9
Y2	5	4	9	3	6	2	1	7	10	8
Y3	3	9	10	7	2	5	1	8	6	4
Y4	7	10	9	2	8	6	5	4	3	1
Y5	5	6	2	7	1	9	10	3	8	4
Y6	3	9	10	5	1	8	2	4	7	6
Y7	8	3	9	2	5	1	6	4	10	7
Y8	3	9	5	4	6	2	10	8	1	7
Y9	1	7	10	5	8	2	9	6	3	4
Y10	8	7	1	6	4	10	2	5	3	9

3) Perhitungan *Makespan* Sampel

Dari sampel yang telah dibangkitkan diatas, kemudian dilakukan perhitungan *makespan* pada masing-masing sampel. Proses perhitungan *makespan* dilakukan sebagaimana mekanisme pada Tabel III di atas. Hasil dari perhitungan tersebut adalah pada Tabel V sebagai berikut:

TABEL V
NILAI MAKESPAN SAMPEL AWAL

Sampel	Urutan <i>job</i>										<i>Makespan</i> (jam)
Y1	10	1	2	3	8	4	6	7	5	9	153,28
Y2	5	4	9	3	6	2	1	7	10	8	131,81
Y3	3	9	10	7	2	5	1	8	6	4	145,47
Y4	7	10	9	2	8	6	5	4	3	1	144,91
Y5	5	6	2	7	1	9	10	3	8	4	141,90
Y6	3	9	10	5	1	8	2	4	7	6	145,93
Y7	8	3	9	2	5	1	6	4	10	7	145,45
Y8	3	9	5	4	6	2	10	8	1	7	140,81
Y9	1	7	10	5	8	2	9	6	3	4	144,68
Y10	8	7	1	6	4	10	2	5	3	9	140,76

4) Penentuan Sampel Elit

Pada tahap ini akan dilakukan penentuan sampel elit atau sampel dengan *makespan* terkecil beserta pengurutannya pada Tabel VI. Berikut merupakan penentuan jumlah dari sampel elit tersebut (Muharni, 2019):

$$Sampel\ elit = N \times \rho = 10 \times 0,1 = 1 \dots\dots\dots(1)$$

TABEL VI
PENGURUTAN JOB UNTUK MENENTUKAN SAMPEL ELIT

Sampel	Urutan <i>job</i>										<i>Makespan</i> (jam)
Y2	5	4	9	3	6	2	1	7	10	8	131,81
Y10	8	7	1	6	4	10	2	5	3	9	140,76
Y8	3	9	5	4	6	2	10	8	1	7	140,81
Y5	5	6	2	7	1	9	10	3	8	4	141,90
Y9	1	7	10	5	8	2	9	6	3	4	144,68
Y4	7	10	9	2	8	6	5	4	3	1	144,91
Y7	8	3	9	2	5	1	6	4	10	7	145,45
Y3	3	9	10	7	2	5	1	8	6	4	145,47
Y6	3	9	10	5	1	8	2	4	7	6	145,93
Y1	10	1	2	3	8	4	6	7	5	9	153,28

Dari tabel diatas, dapat ditentukan bahwa sampel elit adalah sampel Y2 dengan urutan *job*: 5-4-9-3-6-2-1-7-10-8.

5) *Update* Parameter Pindah Silang (P_{ps}) dan Parameter Mutasi (P_m)

Akan dilakukan pembaharuan P_{ps} dan P_m yang kemudian menjadi nilai evaluasi kriteria pemberhentian (Soenardi, 2018). Berikut merupakan perhitungan pembaharuan tersebut dengan menentukan nilai u dan $P_{ps(i)}$ (Muharni,2019) serta P_m (Utama, 2019):

$$u = \frac{\bar{Z}_e}{2 \times Z_{best}} = \frac{131,81}{2 \times 131,81} = 0,54 \dots\dots\dots(2)$$

Dimana Z_e =nilai rata-rata sampel elit, dan Z_{best} = nilai terbaik sampel elit.

$$P_{ps(i)} = (1 - \alpha) \times P_{ps} + (\alpha \times u) = (1 - 0,5) \times 1 + (0,5 \times 0,54) = 0,772 \dots\dots\dots(3)$$

Dimana $P_{ps(i)}$ = Parameter Pindah Silang baru

$$P_m = \frac{P_{ps(i)}}{2} = \frac{0,772}{2} = 0,386 \dots\dots\dots(4)$$

Dimana P_m =Parameter Mutasi

6) Pembobotan Sampel Elit

Pembotoan sampel elit adalah bernilai 1 karena pada penentuan sampel elit hanya didapatkan sebanyak satu sampel elit (Rahmawati, 2017).

7) Perhitungan *Linear Fitness Ranking* (*LFR*)

Hasil dari perhitungan nilai *LFR* dapat dilihat pada Tabel VII dengan menggunakan perhitungan berikut (Muharni, 2019):

$$LFR_i = F_{max} - (F_{max} - F_{min}) \times ((i - 1)/(N - 1)) \dots\dots\dots(5)$$

$$F_{max} = 1/Z(1); F_{min} = 1/Z(N) \dots\dots\dots(6)$$

Dimana: $Z(1)$ = nilai *makespan* ke-1, dan $Z(N)$ = nilai *makespan* ke-N ; N=jumlah sampelmyang dibangkitkan.

TABEL VII
HASIL PERHITUNGAN LFR

No	Sampel Awal	Sampel Baru	Linear Fitness Ranking
1	Y2	X1	0,006524
2	Y10	X2	0,006642
3	Y8	X3	0,006760
4	Y5	X4	0,006878
5	Y9	X5	0,006996
6	Y4	X6	0,007115
7	Y7	X7	0,007233
8	Y3	X8	0,007351
9	Y6	X9	0,007469
10	Y1	X10	0,007587
Total			0,070555

8) Penentuan Kromosom Induk

Pada tahap ini akan ditentukan kromosom induk untuk proses *crossover*. Kromosom yang dibutuhkan adalah sebagai Induk 1 dan Induk 2. Berikut merupakan penentuan kromosom tersebut (Muharni, 2019):

A. Induk 1

Induk 1 diambil dari sampel elit yaitu Y2 dengan urutan *job*: 5-4-9-3-6-2-1-7-10-8.

B. Induk 2

Pemilihan Induk 2 dilakukan dengan membandingkan seluruh nilai LFR kumulatif dengan nilai random yang dibangkitkan pada tahap ini. Jika kumulatif LFR > r, maka terpilih menjadi Induk 2. Berikut pemilihannya sebagaimana pada Tabel VIII:

TABEL VIII
PENENTUAN INDUK 2

Sampel	Nilai LFR Kumulatif	Random Induk (r)	Notasi	Keterangan
X1	0,092468	-	-	Induk 1
X2	0,186609	0,1741	>	Terpilih sebagai Induk 2
X3	0,282425	0,1741	>	Terpilih sebagai Induk 2
X4	0,379914	0,1741	>	Terpilih sebagai Induk 2
X5	0,479077	0,1741	>	Terpilih sebagai Induk 2
X6	0,579914	0,1741	>	Terpilih sebagai Induk 2
X7	0,682425	0,1741	>	Terpilih sebagai Induk 2
X8	0,786609	0,1741	>	Terpilih sebagai Induk 2
X9	0,892468	0,1741	>	Terpilih sebagai Induk 2
X10	1	0,1741	>	Terpilih sebagai Induk 2

9) Crossover

Crossover dilakukan dengan mekanisme *2-point order crossover* dengan mekanisme sebagaimana pada penelitian Suryaputra (2018) dan Fanggidae (2019). Namun sebelum itu akan dilakukan seleksi dengan mempertimbangkan Parameter Pindah Silang (Pps) dan nilai random (R), dimana jika Pps > R maka akan dilakukan *crossover* dan jika Pps < R maka tidak dilakukan *crossover*. Penyeleksian untuk menentukan induk mana yang akan dilakukan *crossover* ada pada Tabel IX dan proses *crossover* pada Tabel X.

TABEL IX
SELEKSI INDUK 2 UNTUK CROSSOVER

Sampel	P _{ps}	R	Notasi	Keterangan
X1	0,772	-	-	Induk 1
X2	0,772	0,9306	>	Dilakukan <i>crossover</i>
X3	0,772	0,7755	>	Dilakukan <i>crossover</i>
X4	0,772	0,9571	>	Dilakukan <i>crossover</i>
X5	0,772	0,8503	>	Dilakukan <i>crossover</i>
X6	0,772	0,9016	>	Dilakukan <i>crossover</i>
X7	0,772	0,7961	>	Dilakukan <i>crossover</i>
X8	0,772	0,8497	>	Dilakukan <i>crossover</i>
X9	0,772	0,7891	>	Dilakukan <i>crossover</i>
X10	0,772	0,7947	>	Dilakukan <i>crossover</i>

Selanjutnya akan dibangkitkan nilai *random* (R_i) yang kemudian menjadi nilai *Crossover Point* dengan pembulatan untuk mengetahui gen mana yang akan dilakukan proses *crossover*. Pemilihan *Crossover Point* dengan cara (Fanggidae, 2019):

$$C_i = R_i \times \text{Jumlah Job} \dots\dots\dots (7)$$

Nilai dari *Crossover Point* akan dilakukan pembulatan ke satuan terdekat untuk mengetahui ada pada gen ke berapa titik-titik *crossover* tersebut. Gen antara rentang C1 dan C2 kemudian akan dilakukan penukaran antara Induk 1 dengan Induk 2. Berikut merupakan proses beserta hasil *crossover* pada Tabel XI:

TABEL X
CROSSOVER

Sampel	Urutan <i>Job</i>										Random		CP	
											R ₁	R ₂	C ₁	C ₂
X1 & X2	5	4	9	3	6	2	1	7	10	8	0,069	0,988	1	10
X1 & X3	8	7	1	6	4	10	2	5	3	9	0,535	0,513	5	5
X1 & X4	5	4	9	3	6	2	1	7	10	8	0,073	0,590	1	6
X1 & X5	5	6	2	7	1	9	10	3	8	4	0,863	0,917	9	9
X1 & X6	5	4	9	3	6	2	1	7	10	8	0,173	0,693	2	7
X1 & X7	7	10	9	2	8	6	5	4	3	1	0,449	0,709	5	7
X1 & X8	5	4	9	3	6	2	1	7	10	8	0,082	0,909	1	9
X1 & X9	8	3	9	2	5	1	6	4	10	7	0,066	0,941	1	10
X1 & X10	5	4	9	3	6	2	1	7	10	8	0,311	0,888	3	9
X10	10	1	2	3	8	4	6	7	5	9				
Sampel	Urutan <i>Job</i> Baru													
X1 & X2	5	4	9	3	6	2	1	7	10	8				
X1 & X3	8	7	1	6	4	10	2	5	3	9				
X1 & X4	5	4	9	3	6	2	1	7	10	8				
X1 & X5	3	9	5	4	6	2	10	8	1	7				
X1 & X6	5	4	9	3	6	2	1	7	10	8				
X1 & X7	5	6	2	7	1	9	10	3	8	4				
X1 & X8	5	4	9	3	6	2	1	7	10	8				
X1 & X9	1	7	10	5	8	2	9	6	3	4				
X1 & X10	5	4	9	3	6	2	1	7	10	8				
X6	7	10	9	2	8	6	5	4	3	1				
X1 & X7	5	4	9	3	6	2	1	7	10	8				
X1 & X8	8	3	9	2	5	1	6	4	10	7				
X1 & X9	5	4	9	3	6	2	1	7	10	8				
X1 & X10	3	9	10	7	2	5	1	8	6	4				
X1	5	4	9	3	6	2	1	7	10	8				
X9	3	9	10	5	1	8	2	4	7	6				
X1	5	4	9	3	6	2	1	7	10	8				
X10	10	1	2	3	8	4	6	7	5	9				

TABEL XI
HASIL *CROSSOVER*

Sampel	Hasil <i>Crossover</i>										Keterangan
X1 & X2	5	4	9	3	6	10	1	7	2	8	-
X1 & X3	8	7	1	6	4	2	10	5	3	9	Menjadi X2 Baru
X1 & X4	5	4	9	3	6	2	1	7	10	8	-
X1 & X5	3	9	5	4	6	2	10	8	1	7	Menjadi X3 Baru
X1 & X6	5	6	2	7	1	9	3	4	10	8	-
X1 & X7	5	4	9	3	6	2	10	1	8	7	Menjadi X4 Baru
X1 & X8	5	4	9	10	6	2	1	7	3	8	-
X1 & X9	1	7	3	5	8	2	9	6	10	4	Menjadi X5 Baru
X1 & X10	4	10	9	2	8	6	5	7	3	1	-
X6	7	4	9	3	6	2	1	5	10	8	Menjadi X6 Baru
X1 & X7	2	4	9	3	5	1	6	7	10	8	-
X1 & X8	8	3	9	5	6	2	1	4	10	7	Menjadi X7 Baru
X1 & X9	3	9	10	7	2	5	1	8	6	4	-
X1 & X10	5	4	9	3	6	2	1	7	10	8	Menjadi X8 Baru
X9	5	4	9	3	6	2	1	7	10	8	-
X1 & X10	10	1	2	3	8	4	6	7	5	9	Menjadi X9 Baru
X10	5	4	9	3	6	2	1	7	10	8	-
											Menjadi X10 Baru

10) Mutasi

Pada tahap ini akan dimunculkan individu baru dengan mempertimbangkan Parameter Mutasi (P_m) dan pemilihan sampel secara *random* (R). Mekanisme tahap ini dilakukan sebagaimana penelitian (Muharni, 2019) dengan mengganti rentang digit gen berdasarkan kategori:

- 1) *Flip Mutation* (membalik), $K=1$.
- 2) *Slide Mutation* (menggeser), $K=2$.
- 3) *Swap Mutation* (menukar), $K=3$.

Jika nilai $R < P_m$ maka akan dilakukan mutasi, dan jika $R > P_m$ maka tidak dilakukan mutasi sebagaimana pada Tabel XII. Proses mutasi dan hasilnya dilakukan sebagaimana Tabel XIII dan XIV. Untuk mengetahui berapa sampel yang akan dilakukan proses mutasi, akan diberlakukan rumus sebagai berikut (Muharni, 2019):

$$N_a = P_m \times N = 0,386 \times 10 = 3,86 \approx 4 \dots \dots \dots (8)$$

TABEL XII
SELEKSI MUTASI

Sampel	Random Mutasi (R)	P_m	Keterangan
X1	-	-	Tetap
X2	0,016	0,381	Mutasi
X3	0,741	0,381	Tidak mutasi
X4	0,664	0,381	Tidak mutasi
X5	0,513	0,381	Tidak mutasi
X6	0,298	0,381	Mutasi
X7	0,412	0,381	Tidak mutasi
X8	0,419	0,381	Tidak mutasi
X9	0,020	0,381	Mutasi
X10	0,024	0,381	Mutasi

TABEL XIII
PROSES MUTASI

No	Sampel	Random Mutation Point		Mutation Point*		Random K	K**	Kategori Mutasi		
		r1	r2	I	J					
1	X2	0,081	0,511	1	5	0,655	2	Swap		
2	X6	0,295	0,864	3	9	0,933	3	Slide		
3	X9	0,808	0,884	8	9	0,744	2	Swap		
4	X10	0,491	0,666	5	7	0,493	1	Flip		
No		Urutan Job Baru								
1	8	7	1	6	4	2	10	5	3	9
2	7	4	9	3	6	2	1	5	10	8
3	5	4	9	3	6	2	1	7	10	8
4	5	4	9	3	6	2	1	7	10	8

TABEL XIV
SAMPEL HASIL MUTASI

No	Sampel	Urutan Job									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	X1	7	6	9	3	8	4	10	2	1	5
2	X2	4	7	1	6	8	2	10	5	3	9
3	X3	3	9	5	4	6	2	10	8	1	7
4	X4	5	4	9	3	6	2	10	1	8	7
5	X5	1	7	3	5	8	2	9	6	10	4
6	X6	7	4	3	6	2	1	5	10	9	8
7	X7	8	3	9	5	6	2	1	4	10	7
8	X8	5	4	9	3	6	2	1	7	10	8
9	X9	5	4	9	3	6	2	1	10	7	8
10	X10	5	4	9	3	1	2	6	7	10	8

11) Pengecekan Syarat Pemberhentian

Pengecekan syarat pemberhentian dilakukan untuk menghentikan algoritma. Pemberhentian dilakukan apabila selisih parameter iterasi dengan parameter awal bernilai

lebih kecil dari Parameter Pemberhentian (β). Syarat pemberhentian pada algoritma penelitian ini adalah Parameter Pindah Silang iterasi ($P_{ps(i)}$) dan Parameter Pindah Silang awal (P_{ps}). Berikut perhitungan pengecekan syarat pemberhentian (Santosa, 2017):

$$|P_{ps(i)} - P_{ps}| < \beta \dots\dots\dots(9)$$

$$|0,763 - 1| < 0,0001$$

$$0,237 < 0,0001$$

Dengan demikian, algoritma penelitian belum memenuhi syarat pemberhentian sehingga perlu dilakukan iterasi tahap selanjutnya.

12) Perhitungan Makespan Baru

Pada tahap ini akan dilakukan perhitungan nilai *makespan* baru dengan harapan bahwa nilai *makespan* baru mampu memberikan solusi optimal bagi perusahaan. Proses perhitungan dilakukan sebagaimana pada Tabel III diatas. Berikut merupakan hasil perhitungannya pada Tabel XV:

TABEL XV
PERHITUNGAN MAKESPAN BARU

No	Sampel	Urutan Job										Makespan (jam)
1	X1	7	6	9	3	8	4	10	2	1	5	134,219
2	X2	4	6	9	2	8	3	7	10	1	5	139,737
3	X3	6	5	3	8	9	4	10	1	2	7	140,812
4	X4	7	6	9	3	4	2	5	8	1	10	131,806
5	X5	9	7	2	5	8	4	10	3	1	6	145,565
6	X6	7	9	10	5	4	6	8	2	1	3	136,037
7	X7	5	6	9	3	8	4	1	10	2	7	139,687
8	X8	2	9	4	10	1	7	6	3	8	5	131,806
9	X9	7	10	9	1	8	4	6	3	2	5	131,806
10	X10	4	8	2	10	5	3	9	1	6	7	140,849

Dari keseluruhan proses perhitungan menggunakan Matlab, akan didapat hasil urutan *job* optimal beserta nilai *makespan* sebagaimana berikut dengan nilai *makespan* pada Tabel XVI:

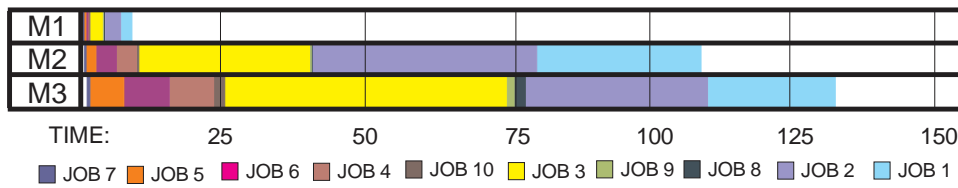
```

iteasi : 17
sequence:
 7 5 6 4 10 3 9 8 2 1
makespan:
 129.620792
stopping criteria: 0.000098
    
```

Gambar 3 Output CEGA dengan Matlab

TABEL XVI
PERHITUNGAN MAKESPAN AKHIR CEGA

Job ke-	M1		M2		M3	
	Mulai	Selesai	Mulai	Selesai	Mulai	Selesai
7	0	0,024	0,024	0,320	0,320	1,331
5	0,024	0,314	0,320	2,244	2,244	8,731
6	0,314	0,646	2,244	6,355	8,731	16,763
4	0,646	0,961	6,355	10,488	16,763	24,869
10	0,961	0,968	10,488	10,584	24,869	25,359
3	0,968	3,573	10,584	42,602	42,602	74,130
9	3,573	3,585	42,602	42,753	74,130	74,912
8	3,585	3,613	42,753	43,097	74,912	76,064
2	3,613	6,650	43,097	81,021	81,021	110,439
1	6,650	8,577	81,021	105,325	110,439	129,621



Gambar 4 Gantt Chart Penjadwalan Metode CEGA

C. Perbandingan Kedua Metode

Metode LPT memiliki urutan *job*: 2-3-1-4-6-5-8-7-9-10 dengan nilai *makespan* adalah 149,75 jam. Sedangkan metode CEGA memiliki urutan *job*: 7-5-6-4-10-3-9-8-2-1 dengan nilai *makespan* adalah 129,621 jam. Untuk mengetahui performansi dari kedua metode tersebut akan dilakukan perhitungan, sebagaimana pada Kartika (2017), sebagai berikut:

1. Efficiency Index (EI)

$$EI = \frac{\text{Makespan Metode (CEGA)}}{\text{Makespan Perusahaan (LPT)}} \dots\dots\dots(9)$$

$$EI = \frac{129,62}{149,75} = 0,865$$

Perhitungan EI dari kedua metode LPT dan CEGA adalah bernilai 0,865 yang menunjukkan bahwa $EI < 1$ atau metode CEGA memiliki performa penjadwalan yang lebih baik daripada metode LPT.

2. Efisiensi

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{Makespan Perusahaan} - \text{Makespan Metode}}{\text{Makespan Perusahaan}} \times 100\% \dots\dots\dots(10)$$

$$\text{Efisiensi} = \frac{149,75 - 129,62}{149,75} \times 100\% = 13,44\%$$

Nilai efisiensi dari kedua metode didapat sebesar 13,44% yang artinya metode CEGA dikatakan lebih efisien daripada metode LPT berdasarkan nilai *makespan*.

3. Relative Error (RE)

$$RE = \left| \frac{\text{Makespan Metode} - \text{Makespan Perusahaan}}{\text{Makespan Metode}} \right| \times 100\% \dots\dots\dots(11)$$

$$RE = \left| \frac{129,62 - 149,75}{129,62} \right| \times 100\% = 15,51\%$$

Perhitungan RE diatas menunjukkan bahwa metode LPT dan metode CEGA memiliki perbedaan sejauh 15,51%.

V. KESIMPULAN

Kedua metode yang diterapkan pada permasalahan penjadwalan, metode LPT dan metode CEGA, memberikan nilai *makespan* yang berbeda. Metode LPT dengan urutan *job*: Job 2 – Job 3 – Job 1 – Job 4 – Job 6 – Job 8 – Job 7 – Job 9 – Job 10 dan memiliki nilai *makespan* sebesar 149,75 jam, sedangkan metode CEGA dengan urutan *job*: Job 7 – Job 5 – Job 6 – Job 4 – Job 10 – Job 3 – Job 9 – Job 8 – Job 2 – Job 1 memiliki nilai *makespan* sebesar 129,62 jam. Berdasarkan perbandingan kedua metode, metode CEGA memiliki performansi yang lebih baik daripada metode LPT yaitu dengan *Efficiency Index* (EI) sebesar 0,865, memiliki efisiensi sebesar 13,44% , dan *Relative Error* (RE) sebesar 15,51%. Metode CEGA juga mampu menghemat waktu sebesar 20,13 jam dari metode perusahaan. Perbedaan waktu tersebut akan memiliki pengaruh yang lebih optimal sebagaimana keadaan pembatasan tenaga kerja perusahaan saat ini dengan harapan seluruh *job* yang masuk dapat selesai lebih cepat. Dengan perbedaan waktu yang relatif besar dan keadaan produksi yang semakin kompleks tersebut, metode CEGA sebaiknya dapat diterima

sebagai usulan penjadwalan baru sebagai estimasi waktu produksi yang lebih efisien dan menggantikan metode LPT yang telah digunakan oleh perusahaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Andriansyah, Suhendrianto, & Sentia, P. D. (2016). Algoritma Cross Entropy untuk Penentuan Rute Kendaraan dengan Penjemputan dan Pengantaran yang Mempertimbangkan Jendela Waktu dan Durasi Maksimum. *Seminar Nasional Teknik Industri Universitas Gadjah Mada*, 12-21.
- Baker, K. R., & Trietsch, D. (2018). *Principles of Sequencing and Scheduling: Second Edition*. New Jersey: Wiley.
- Fanggidae, A. (2019). Analisis Metode Single-Point Crossover (SPX), Two-Point Crossover (TPX) dan Multi-Point Crossover (MPX) pada Fungsi Nonlinear Dua Peubah dengan Binary Coding. *Jurnal Komputer dan Informatika*, 17-20.
- Heizer, J., & Render, B. (2011). *Operation Management, 10th Edition*. New Jersey: Pearson.
- Iqbal, M., Zariis, M., Tulus, & Mawengkang, H. (2020). Model Pendekatan Metaheuristik dalam Penyelesaian Optimasi Kombinatorial. *Seminar Nasional Teknologi Komputer & Sains*, 92-97.
- Kartika, T. H. (2017). Penjadwalan Produksi Dengan Menggunakan Metode Cross Entropy Genetic Algorithm Untuk Tipe Produksi Flow Shop Pada PT. Socfin Indonesia Kebun Tanah Besih. *Repository Institusi USU*.
- Kho, B. (2019, March). *Pengertian Penjadwalan (Scheduling) dalam Produksi*. Diambil kembali dari Ilmu Manajemen Industri: <https://ilmumanajemenindustri.com/pengertian-penjadwalan-scheduling-dalam-proses-produksi/>
- Montororing, Y. D. (2018). Usulan Penentuan Waktu Baku Proses Racking Produk Amplimesh dengan Metode Jam Henti pada Departemen Powder Coating. *Jurnal Teknik: Universitas Muhammadiyah Tangerang*, 53-63.
- Muharni, Y., Kulsum, & Utami, D. A. (2019). Usulan Penjadwalan Produksi Pipa ERW Menggunakan Metode Nawaz Ensore Ham dan Genetic Algorithm. *Jurnal Teknik Mesin Untirta*, 29-38.
- Muharni, Y., Saeful, A. I., & Rubyanti, T. E. (2019). Penjadwalan Flow Shop Mesin Paralel dengan Menggunakan Metode Longest Processing Time dan Cross Entropy-Genetic Algorithm pada Pembuatan Produk Steel Bridge B-60. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 213-225.
- Pinedo, M. L. (2016). *Scheduling: Theory, Algorithm, and Systems Fifth Edition*. New York: Springer.
- Purwati, & Sari, S. (2020). Analisis Penjadwalan Produksi dengan Metode Campbell Dudek Smith (CDS) di PT. ISM TBK. Divisi Bogasari Flour Mills Jakarta. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, 87-91.
- Rachman, R. (2018). Penjadwalan Produksi Garment Menggunakan Algoritma Heuristic Pour. *Jurnal Informatika*, 81-89.
- Rahmawati, N., & Santosa, B. (2017). Penerapan Algoritma Hybrid Cross Entropy-Genetic Algorithm dalam Penyelesaian Resource-Constrained Project Scheduling Problem. *Seminar Nasional Inovasi dan Aplikasi Teknologi di Industri*, C37.1-C37.5.
- Santosa, B., & Ai, T. J. (2017). *Pengantar Metaheuristik: Implementasi dengan Matlab*. Surabaya: ITS Tekno Sains.
- Sari, E. M., & Darmawan, M. M. (2020). Pengukuran Waktu Baku dan Analisis Beban Kerja pada Proses Filling dan Packaginf Produk Lulur Mandi di PT. Gloria Origita Cosmetics. *Jurnal ASIMETRIK: Jurnal Ilmiah Rekamaya & Inovasi*, 51-61.
- Soenardi, I. A., & Marpaung, B. (2018). Optimization Vehicle Routing Problem with Cross Entropy Method and Branch & Bound Algorithm. *Jurnal Teknik dan Ilmu Komputer*, 1-11.
- Suryaputra, J., Lubis, C., & Sutrisno, T. (2018). Pemilihan Crossover pada Algoritma Genetika untuk Program Aplikasi Pengenalan Karakter Tulisan Tangan. *Jurnal Ilmu Komputer dan Sistem Informasi*, 69-72.
- Utama, D. M., Ardiansyah, L. R., & Garside, A. K. (2019). Penjadwalan Flow Shop untuk Meminimasi Total Tardiness Menggunakan Algoritma Cross Entropy-Algoritma Genetika. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, 133-141.
- Utama, D. M., Widodo, D. S., Wicaksono, W., & Ardiansyah, L. R. (2019). A New Hybrid Metaheuristics Algorithm for Minimizing Energy Consumption in The Flow Shop Scheduling Problem. *IJTech*, 320-331.