

Minimasi Makespan Penjadwalan *Flowshop* Menggunakan Metode Algoritma *Campbell Dudek Smith (CDS)* Dan Metode Algoritma *Nawaz Ensore Ham (NEH)* Di PT Krakatau Wajatama

Muhamad Hidayat¹, Ratna Ekawati², Putro Ferro Ferdinant³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Industri Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

muhamadhidayat082666@rocketmail.com¹, ratna_145@yahoo.com², putro.ferro@ftuntirta.ac.id

ABSTRAK

PT Krakatau Wajatama merupakan perusahaan yang menggunakan sistem *flowshop* dan menggunakan aturan *First Come First Serve (FCFS)*. Pada penjadwalan *FCFS* ini order yang telah tiba lebih dahulu akan dilayani lebih dahulu. Apabila ada order yang tiba pada saat yang bersamaan maka mereka akan dikerjakan melalui antrian Metode *FCFS* memiliki beberapa kelemahan antara lain, memiliki besarnya *makespan* (waktu penyelesaian) dan dampak lain yang di akibatkan oleh hal tersebut adalah besarnya waktu *idle* dan besarnya *work in process (WIP)*, jika *makespan* terlalu besar dikhawatirkan kalau sewaktu-waktu terjadi keadaan dimana waktu penyelesaian dari job yang dikerjakan melewati *due date* yang telah ditentukan. Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu bagaimana meminimumkan *makespan* pada *PT Krakatau Wajatama* dan bagaimana mendapatkan urutan job yang terbaik yang digunakan oleh *PT Krakatau Wajatama*. Oleh karena itu untuk dapat menjawab tujuan dari penelitian tersebut perlu dilakukan penjadwalan metode *Campbell, Dudek, Smith (CDS)* dan metode *Nawaz, Ensore, Ham (NEH)*. Metode *Campbell, Dudek, Smith (CDS)* ini merupakan proses penjadwalan atau penugasan kerja berdasarkan atas waktu kerja yang terkecil yang digunakan dalam melakukan produksi dan metode *Nawaz, Ensore, Ham (NEH)* adalah penjadwalan dengan pekerjaan total waktu proses semua mesin lebih besar, seharusnya diberi bobot yang lebih tinggi untuk dimasukkan terlebih dahulu ke dalam jadwal. Hasil dari metode *CDS* dengan *makespan* sebesar 75,879 jam dan urutan job 1-2-3 *makespan* ini memiliki selisih sebesar 9,054 jam dari metode *FCFS* yang memiliki *makespan* sebesar 84,933 jam dan urutan job 1-3-2 dengan persentasi penurunan jarak 10,66 %, sedangkan untuk metode *NEH* didapatkan *makespan* sebesar 25,195 jam dan urutan job 3-2-1 *makespan* ini memiliki selisih sebesar 59,738 jam dari metode *FCFS* dengan persentasi penurunan jarak 70,33 %. Angka ini menunjukkan total *makespan* dan urutan job yang diperlukan untuk meminimasi waktu *idle* (menganggur).

Kata Kunci : *CDS, FCFS, Flowshop, Job, Makespan, NEH*

PENDAHULUAN

PT Krakatau Wajatama merupakan perusahaan yang menggunakan sistem *flowshop*. Penjadwalan *Flow Shop* merupakan suatu pergerakan unit-unit yang terus-menerus melalui suatu rangkaian stasiun-stasiun kerja yang disusun berdasarkan produk. Pada penjadwalan *flowshop*, sumber daya yang dialokasikan akan dilewati oleh setiap job memiliki rute atau urutan tahap pengerjaan yang sama. Sebagai perusahaan yang permintaannya bersifat *make to order*, perusahaan menyadari pentingnya ketepatan waktu penyelesaian dalam mempertahankan konsumen. Saat ini perusahaan menggunakan aturan *First Come First Serve (FCFS)*. Pada penjadwalan *FCFS* ini order yang telah tiba lebih dahulu akan dilayani lebih dahulu. Metode yang digunakan oleh perusahaan memiliki beberapa kelemahan antara lain, memiliki *waiting time* yang tinggi dan order yang memiliki waktu proses kecil diharuskan menunggu terlalu lama. Hal ini di akibatkan

karena besarnya *makespan* (waktu penyelesaian) dan dampak lain yang di akibatkan oleh hal tersebut adalah besarnya waktu *idle* dan besarnya *work in process (WIP)*, jika *makespan* terlalu besar dikhawatirkan kalau sewaktu-waktu terjadi keadaan dimana waktu penyelesaian dari job yang dikerjakan melewati *due date* yang telah ditentukan.

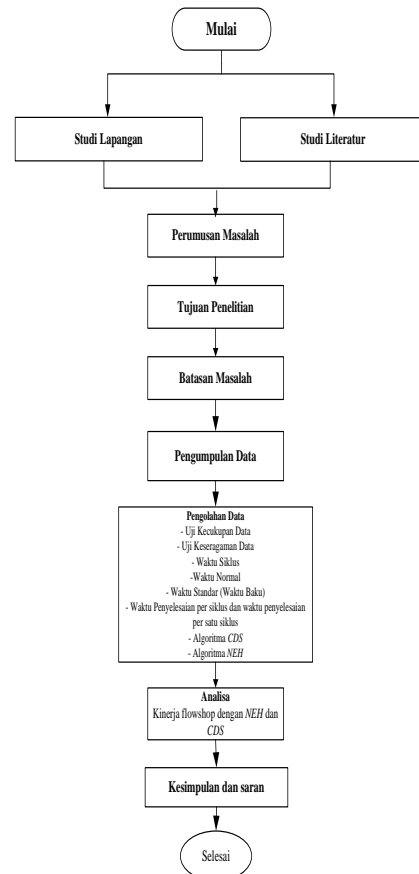
Untuk mengatasi hal tersebut perusahaan dapat menggunakan metode lain yang dapat menghasilkan *makespan* lebih kecil dari metode *FCFS* yang bersifat *flowshop*, maka penjadwalan yang ingin dianalisis adalah algoritma *Campbell, Dudek dan Smith (CDS)* dan algoritma *Nawaz, Ensore dan Ham (NEH)* dengan tujuan meminimumkan *makespan* dan mencari urutan job yang terbaik. Adapun tujuan dari metode ini adalah untuk meminimumkan *makespan* pada *PT Krakatau Wajatama* dan mendapatkan urutan job yang terbaik yang dapat digunakan oleh *PT Krakatau Wajatama*.

METODE PENELITIAN

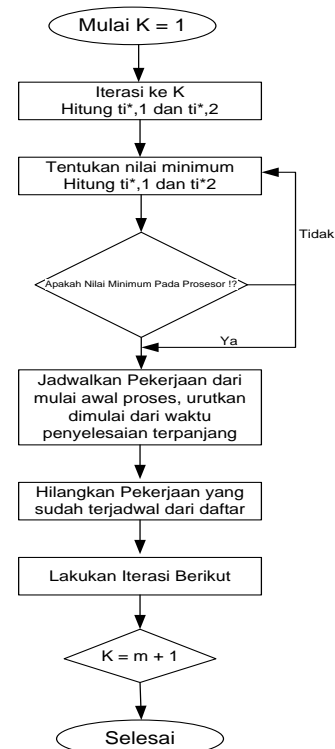
Langkah awal yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu mengidentifikasi permasalahan yang terjadi perusahaan yang akan digunakan sebagai landasan untuk menggambarkan latar belakang dari permasalahan yang dihadapi. Informasi-informasi yang dibutuhkan didapatkan dari observasi langsung di PT. Krakatau Wajatama, wawancara dengan pihak pemasaran, Produksi, dan perawatan. Setelah mengumpulkan informasi tentang data penjualan produk, data mesin, data waktu *set up*, data waktu siklus di setiap mesin, *rating factor*, dan data *allowance* menjadi suatu dasar rekomendasi untuk perbaikan proses penjadwalan produksi dan menetapkan tujuan penelitian yang akan dicapai. Setelah data-data didapatkan kemudian meminimasi *makespan* menggunakan metode algoritma *Campbell, dudek, Smith (CDS)*, metode *Nawas, Enscore, Ham (NEH)*, dan mendapatkan urutan *job* yang terbaik dalam menyelesaikan penjadwalan *flowshop* yang dapat digunakan oleh PT Krakatau Wajatama. Setelah dilakukan pengumpulan data maka langkah selanjutnya yaitu hitunglah jumlah uji kecukupan data, uji keseragaman data, waktu siklus, waktu normal, waktu standar, waktu penyelesaian, dan jumlah kan waktu proses setiap *job* yang di dapat dari waktu penyelesaian.

Setelah itu, untuk dapat meminimasi *makespan* menggunakan metode algoritma *CDS*, terlebih dahulu dilakukan beberapa langkah. Langkah pertama tentukan jumlah iterasi, langkah kedua ambil penjadwalan pertama, langkah ketiga lakukan aturan *Johnson*, langkah keempat pindahkanlah tugas-tugas tersebut dari daftarnya dan susun dalam bentuk deret penjadwalan, langkah kelima nilai *makespan* selain menggunakan *ganttt chart* dapat juga dengan menyisipkan waktu menunggu (*idle time*) dan urutan parsial dengan *makespan* terkecil menjadi urutan final dan stop.

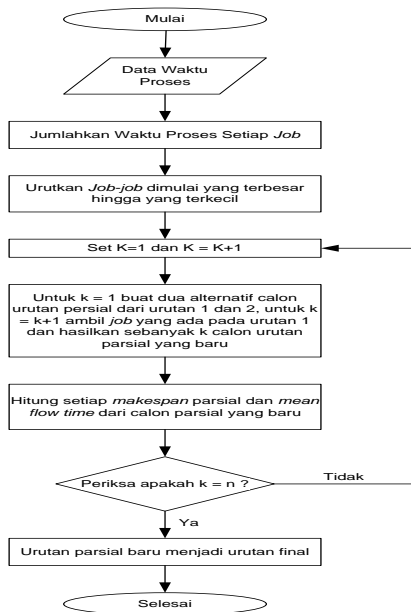
Adapun meminimasi *makespan* menggunakan metode algoritma *NEH*. Langkah pertama urutkan *job-job* menurut jumlah prosesnya dimulai dari yang terbesar hingga terkecil dan hasil urutan ini disebut dengan daftar pengurutan *job-job*, langkah kedua ambil *job* yang menempati urutan pertama dan kedua pada daftar pengurutan *job-job* kemudian hitung jumlah *makespan* parsial dan *mean time*, langkah ketiga hilangkan *job* pertama dari daftar dan ambil *job* kedua dan ketiga kemudian hitung jumlah *makespan* dan *mean time*, langkah keempat hilangkan *job* kedua dari daftar dan ambil *job* pertama dan ketiga kemudian hitung jumlah *makespan* dan *mean time*, langkah kelima pilih calon parsial yang memiliki *makespan* terkecil, langkah keenam ambil *job* pertama, *job* kedua, dan *job* ketiga dalam calon urutan parsial baru kemudian hitung setiap *makespan* dan *flow time* dari parsial baru, pilih calon parsial yang memiliki *makespan* terkecil, urutan parsial baru menjadi urutan final dan stop



Gambar 1. Flowchart penelitian



Gambar 2. Flowchart Algoritma CDS



Gambar 3. Flowchart Algoritma NEH

HASIL DAN PEMBAHASAN

Langkah yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu pengumpulan data. Data yang digunakan yaitu data penjualan produk, data mesin, data waktu siklus di section L1132, waktu set up, rating factor di mesin RF, allowance di mesin RF,

Tabel 1. Data penjualan produk

Job	Section	Jumlah (PCS)
1	L1132	4173
2	L1232	9900
3	L1212	3193

Tabel 2. Data Mesin

NO	Nama Mesin	Jumlah (Unit)
1	Reheating Furnace	1
2	Roughing Mill	1
3	Two High Mill	1
4	Universal Mill	2
5	Finishing Mill	1
6	Cooling Bed	1
7	Roller Straight	1
8	Stacking Machine	1

RF = Reheating Furnace UM = Universal Mill
 RS = Roller Straight RM = Roughing Mill
 FM = Finishing Mill SM = Stacking Machine
 THM = Two High Mill CB = Cooling Bed

Tabel 3. Data waktu siklus untuk section L1132

NO	Waktu siklus pada masing-masing mesin (detik)							
	RF	RM	THM	UM	FM	CB	RS	SM
1	180,9	92,2	92,6	272,4	281,7	288,2	65,3	64,3
2	180,8	91,6	91,7	271,9	281,2	281,3	64,3	65,3
3	182	91,2	91,1	277,8	282,2	282,4	64,5	62,1
4	185,4	91,2	91,3	275,6	282,7	287,2	68,4	61,9
5	180,1	92,3	91,4	275,9	288,1	285,3	63,4	63,5
6	181,1	91,9	92,3	274,2	283,9	289,1	65,1	65,4
7	181,7	93,7	91,2	273,9	284,3	281,7	62,9	62,2
8	180,4	91,6	91,7	275,3	282,3	282,4	63,8	62,7
9	180,6	95,9	91,7	273,6	284,2	284,3	69,3	62,5
10	185,6	95,6	92,1	276,1	281,8	283,9	66,3	62,9
11	180,5	91,7	93,8	275,8	283,1	285,9	61,4	63,6
12	185,3	93,4	91,2	277,3	289,6	283,8	64,4	61,4
13	184,6	93,2	93,4	277,4	287,6	283,2	69,4	65,4
14	183,1	93,7	93,6	276,4	281,3	288,3	65,4	65,3
15	183,7	92,9	94,7	275,8	285,6	288,3	65,9	63,9
16	182,2	94,3	94,1	271,9	287,1	284,3	67,8	64,7
17	180,9	91,6	94,1	272,1	281,5	289,4	66,6	61,2
18	184,1	92,8	91,9	274,3	286,3	283,6	63,5	61,8
19	180,7	91,6	91,7	275,8	288,8	282,2	63,1	61,4
20	185,2	91,9	91,5	275,6	282,2	282,6	66,3	62,3

Tabel 4. Data waktu set up

NO	Nama Mesin	waktu set-up (detik)
1	Reheating Furnace	180
2	Roughing Mill	180
3	Two High Mill	180
4	Universal Mill	300
5	Finishing Mill	300
6	Cooling Bed	300
7	Roller Straight	60
8	Stacking Machine	60

Tabel 5. Rating Factor untuk mesin RF

Mesin	Faktor	Kelas	Lambang	Penyesuaian	Total
Reheating Furnace	Keterampilan	Good	C1	0,06	0,07
	Usaha	Average	D	0	
	Kondisi Kerja	Average	D	0	
	Konsistensi	Good	C	0,01	

Tabel 6. Allowance untuk mesin RF

Mesin	Faktor	Kelonggaran	Total
Reheating Furnace	Tenaga yang di keluarkan	12	45,5
	Sikap Kerja	2,5	
	Gerakan Kerja	5	
	Kelelahan Mata	6	
	Keadaan Temperatur	5	
	Keadaan Atmosfer	5	
	Keadaan Lingkungan	5	
Hambatan yang tidak terhindarkan	5		

Perhitungan Uji Kecukupan Data

Derajat ketelitian dan tingkat keyakinan mencerminkan tingkat kepastian yang diinginkan oleh pengukur setelah memutuskan tidak akan melakukan pengukuran dalam jumlah yang banyak (sampel). Pada penelitian ini digunakan tingkat ketelitian 5% yang menunjukkan penyimpangan maksimum hasil pengukuran dari waktu penyelesaian sebenarnya dan tingkat keyakinan sebesar 95% menunjukkan besarnya keyakinan pengukur akan ketelitian data waktu yang telah diamati dan dikumpulkan. Perhitungan uji kecukupan data section L1132 pada mesin *Reheating Furnace* (RF). Untuk menghitung kecukupan data dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut

$$N' = \left[\frac{k / s \sqrt{N \sum X^2 - (\sum X)^2}}{\sum X} \right]^2 \quad (1)$$

$$N' = 0,17$$

Perhitungan Uji Keseragaman Data

Untuk mendeteksi data yang diambil sudah seragam atau tidak maka dilakukan uji keseragaman data. Data dikatakan seragam apabila data berada pada batas kontrol atas (BKA) dan batas kontrol bawah (BKB). Apabila data berada di luar batas maka data dinyatakan tidak seragam. Perhitungan BKA dan BKB untuk section L1132 pada mesin *Reheating Furnace* (RF) adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned} \text{BKA} &= X + k\sigma \\ &= 186,38 \text{ detik} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{BKB} &= X - k\sigma \\ &= 178,50 \text{ detik} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{N - 1}} \quad (4)$$

$$\alpha = 1,97$$

Perhitungan Waktu Siklus

Waktu penyelesaian satu satuan produksi mulai dari bahan baku mulai diproses di tempat kerja dan merupakan jumlah waktu tiap-tiap elemen *job*.

$$\text{WS} = \sum X_i / N \quad (5)$$

$$\text{WS} = 182,445 \text{ detik}$$

Perhitungan Waktu Normal

Dalam hal ini operator dilihat bekerja di atas normal sehingga $p > 1$. Sebagai contoh perhitungan dapat untuk *job 1* di mesin *RF* mempunyai waktu siklus sebesar 182,445 detik dengan faktor penyesuaian sebagai berikut. Karena operator bekerja di atas normal maka $p = 1 + 0,14 = 1,14$. Maka W_n untuk mesin *RF* sebesar = $182,445 \times 1,14 = 195,216$ detik.

Perhitungan Waktu Standar

Waktu yang dibutuhkan secara wajar oleh pekerja normal untuk menyelesaikan pekerjaannya yang dikerjakan dalam sistem kerja terbaik saat itu. Pada *job*

1 di mesin *RF* diperoleh $W_n = 195,216$ dan diberikan *allowance* 45,5% maka :

$$W_b = W_n \times 100 / (100 - \text{Allowance}) \quad (6)$$

$$W_b = 358,194 \text{ detik}$$

Perhitungan Waktu Penyelesaian

Perhitungan waktu penyelesaian untuk *job 1* pada mesin *RF* adalah sebagai berikut :

$$\text{Waktu Penyelesaian } (t_{ij}) = \frac{\text{Waktu } setup + \text{waktu baku} \times \text{Jumlah permintaan}}{\text{Jumlah mesin}}$$

$$t_{ij} = 180 + \left(358,194 \times \frac{4173}{1} \right) = 1.494.926,778 \text{ detik}$$

Kapasitas mesin per siklus pengerjaan produk di setiap mesin tidak sama, sehingga perlu diperhitungkan dengan cara membandingkan setiap waktu pengerjaan yang diperoleh dari perhitungan di atas dengan kapasitas mesin per satu siklus kerja.

Tabel 7. Kapasitas Mesin Untuk Satu Siklus Kerja

Mesin	Kapasitas mesin/ 1 siklus kerja (unit/siklus)
RF	81
RM	81
THM	81
UM	81
FM	81
CB	81
RS	81
SM	81

Karena data yang dihasilkan sangat besar dalam satuan detik maka dikonversikan ke dalam satuan jam untuk memudahkan pengurutan pada penjadwalan

$$\begin{aligned} &= \text{Waktu Penyelesaian} / \text{konversi dari detik ke jam} / \\ &\text{kapasitas mesin per 1 siklus kerja} \\ &= 1.494.926,778 / 3600 / 81 = 5,126 \text{ jam} \end{aligned}$$

Tabel 8. Waktu Penyelesaian Masing-masing *job* pada setiap mesin

No	Job	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
1	L1132	5,127	2,036	2,333	3,127	7,153	6,744	1,367	1,395
2	L1232	12,189	4,882	5,591	7,415	17,042	15,999	3,240	3,308
3	L1212	3,937	1,570	1,800	2,390	5,494	5,188	1,059	1,087

Perhitungan Metode CDS

Semua data yang telah dikumpulkan selanjutnya diolah dengan menggunakan metode *Campbell, Dudek, dan Smith* (CDS) dimana data yang dimasukkan hanya yang memiliki *makespan* terkecil.

Tabel 9. Perhitungan dengan menyisipkan *idle time*

No	Job	M1	M2	Idle Time M2	New Time	M3	Idle time m3	New time	M4
1	L1132	5,127	2,036	5,127	7,163	2,333	7,163	9,496	3,127
2	L1232	12,189	4,882	10,152	15,034	5,591	12,701	18,292	7,415
3	L1212	3,937	1,570	0	1,570	1,800	0	1,800	2,390

Tabel 9. Perhitungan dengan menyisipkan *idle time* (lanjutan)

No	Job	Idle time m4	New time	M5	Idle time m5	New time	M6	Idle time m6
1	L1132	9,496	12,623	7,153	12,623	19,776	6,744	19,776
2	L1232	15,165	22,580	17,042	15,427	32,469	15,999	25,724
3	L1212	0	2,390	5,494	0	5,494	5,188	0

Tabel 9. Perhitungan dengan menyisipkan *idle time* (lanjutan)

No	Job	New time	M7	Idle time m7	New time	M8	Idle time m8
1	L1132	26,521	1,367	26,521	27,888	1,395	27,888
2	L1232	41,723	3,240	40,356	43,597	3,308	42,201
3	L1212	5,188	1,059	1,947	3,006	1,087	0
					Total	5,790	70,089

$$t_{(1),2} = t_{(1),2} = 5,127$$

$$t_{(1),2} = \max [0, (t_{(1),1} + t_{(2),1} - t_{(1),2} - I_{(i),2})]$$

$$t_{(1),2} = \max [0, (5,127 + 12,189 - 2,036 - 5,127)]$$

$$= \max [0, 10,152] = 10,152$$

$$t_{(1),3} = \max [0, (5,127 + 12,189 + 3,937 - 2,036 - 4,882 - 5,127 - 10,152)] = 0$$

$$t_{(1),2}^{New} = t_{(i),1} + I_{(i),2} = 2,036 + 5,127 = 7,163$$

$$M.S = F_{(n)m} = \sum_{t=1}^n t(i)m + \sum_{t=1}^n I(i)m$$

$$M.S = 5,790 + 70,089 = 75,879 \text{ Jam}$$

Dari iterasi penjadwalan dengan metode *Campbell Dudek* dan *Smith (CDS)* diatas maka yang terpilih adalah urutan 1-2-3 dengan *makespan* = 75,879 jam.

Perhitungan Metode NEH

Setelah didapat *makespan* menggunakan metode *CDS* maka penjadwalan berikutnya dengan metode algoritma *NEH*. Adapun urutan *job* dimulai dari yang memiliki dua *job* (set $K = 2$, ambil 2 jumlah *job* dari yang terbesar hingga terkecil) dimana data yang dimasukkan hanya urutan *job* yang memiliki *makespan* terkecil..

Tabel 10. Penjadwalan Parsial Urutan 3-1

job 1	job 3
29,283	22,524

Hitung jumlah *makespan* parsial dan *mean time* parsial dari calon urutan parsial.

Tabel 11. Penjadwalan Parsial Urutan 3-1

Mesin	Job	Durasi (jam)	Mulai (jam)	Selesai (jam)
1	3	3,936	0	3,936
1	1	5,126	3,936	9,063
2	3	1,569	3,936	1,569
2	1	2,036	1,569	3,606
3	3	1,800	1,569	3,370
3	1	2,332	3,370	5,703
4	3	2,390	3,370	5,760
4	1	3,127	5,760	8,887
5	3	5,493	5,760	11,254
5	1	7,153	11,254	18,407
6	3	5,187	11,254	16,441
6	1	6,744	16,441	23,186
7	3	1,059	16,441	17,500
7	1	1,367	17,500	18,868
8	3	1,087	17,500	18,588
8	1	1,395	18,588	19,983

C_{max} = Waktu penyelesaian setiap *job* terakhir pada mesin terakhir

$$= 19,983 \text{ jam}$$

\bar{F} = Jumlah waktu penyelesaian mesin terakhir dibagi dengan jumlah *job*

$$= (18,588+19,983)/2 = 19,285 \text{ jam}$$

Setelah didapat *makespan* dengan urutan *job* yang memiliki dua *job* kemudian tambahkan urutan *job* ke dalam urutan parsial (ambil *job* pertama, *job* kedua dan *job* ketiga dalam calon urutan parsial baru) dimana data yang dimasukkan hanya urutan *job* yang memiliki *makespan* terkecil.

Tabel 12. Penjadwalan Parsial Urutan 3-2-1

Mesin	Job	Durasi (jam)	Mulai (jam)	Selesai (jam)
1	3	3,936	0	3,936
1	2	12,188	3,936	16,125
1	1	5,126	16,125	21,251
2	3	1,569	3,936	5,506
2	2	4,882	5,506	10,388
2	1	2,036	10,388	12,424
3	3	1,799	5,506	7,306
3	2	5,591	7,306	12,897
3	1	2,332	12,897	15,230
4	3	2,390	7,306	9,696
4	2	7,415	9,696	17,111
4	1	3,127	17,111	20,238
5	3	5,493	9,696	15,190
5	2	17,041	15,190	32,231
5	1	7,153	32,231	39,384
6	3	5,188	15,190	20,378
6	2	15,999	20,378	36,377
6	1	6,744	36,377	43,122
7	3	1,059	20,378	21,437
7	2	3,240	21,437	24,678
7	1	1,367	24,678	26,045
8	3	1,087	21,437	22,525
8	2	3,307	22,525	25,832
8	1	1,395	25,832	27,228

$$\begin{aligned}
C_{\max} &= \text{Waktu penyelesaian setiap } job \text{ terakhir pada} \\
&\quad \text{mesin terakhir} \\
&= 27,228 \text{ jam} \\
\bar{F} &= \text{Jumlah waktu penyelesaian mesin terakhir} \\
&\quad \text{dibagi dengan jumlah } job \\
&= (22,525+25,832+27,228)/3 = 25,195 \text{ jam}
\end{aligned}$$

Jika ada calon urutan parsial baru yang memiliki *makespan parsial* terkecil yang sama, pilihlah calon urutan parsial baru tadi yang memiliki mean *flow time parsial* yang lebih kecil. Jika sama juga calon urutan parsial baru tadi secara acak. Dari calon parsial baru tadi yang terpilih adalah urutan 3-2-1. Urutan parsial baru menjadi urutan final dan stop adalah job 3-2-1, dengan *makespan* = 27,228 jam dan *Flow Time* 25,195 jam.

Perbandingan Metode FCFS dengan Metode CDS dan NEH.

Tabel 11. Penjadwalan Parsial Urutan 3-1

	FCFS	CDS	NEH
Makespan	84,933 jam	75,879 jam	25,195 jam
Urutan Job	1-3-2	1-2-3	3-2-1

Untuk membandingkan antara metode yang diuji (algoritma CDS dan algoritma NEH) dengan metode yang digunakan oleh perusahaan (FCFS) maka dibandingkan berdasarkan parameter *Efficiency Index (EI)* dan *Relative Error (RE)*.

Perbandingan antara metode FCFS dengan metode *Campbell dudek dan smith (CDS) Efficiency Index (EI)* = $\frac{F_{\max}-FCFS}{F_{\max}-CDS} = \frac{84,933}{75,879}$ jam = 1,11, karena nilai $EI > 1$ maka metode CDS mempunyai *performance* yang lebih baik dibandingkan metode FCFS yang digunakan oleh perusahaan tersebut. *Relative Error (RE)* = $\frac{(F_{\max}-FCFS)-(F_{\max}-CDS)}{F_{\max}-FCFS} \times 100\% = \frac{84,933-75,879}{84,933} = 10,66\%$, maka besarnya selisih nilai *makespan* yang diperoleh oleh kedua metode adalah 10,66%.

Perbandingan antara metode FCFS dengan metode *Nawaz enscore dan ham (NEH) Efficiency Index (EI)* = $\frac{F_{\max}-FCFS}{F_{\max}-NEH} = \frac{84,933}{25,195}$ jam = 3,37, karena nilai $EI > 1$ maka metode NEH mempunyai *performance* yang lebih baik dibandingkan metode FCFS yang digunakan oleh perusahaan tersebut. *Relative Error (RE)* = $\frac{(F_{\max}-FCFS)-(F_{\max}-NEH)}{F_{\max}-FCFS} \times 100\% = \frac{84,933-25,195}{84,933} = 70,33\%$, maka besarnya selisih nilai *makespan* yang diperoleh oleh kedua metode adalah 70,33%.

Perbandingan antara metode *Campbell dudek dan smith* dengan metode *Nawaz enscore dan ham (NEH) Efficiency Index (EI)* = $\frac{F_{\max}-CDS}{F_{\max}-NEH} = \frac{75,879}{25,195}$ jam = 3,01, karena nilai $EI > 1$ maka metode NEH mempunyai *performance* yang lebih baik dibandingkan metode CDS yang digunakan oleh perusahaan tersebut. *Relative Error (RE)* = $\frac{(F_{\max}-CDS)-(F_{\max}-NEH)}{F_{\max}-CDS} \times 100\% = \frac{75,879-25,195}{75,879} = 66,79\%$, maka besarnya selisih nilai

makespan yang diperoleh oleh kedua metode adalah 66,79%.

Setelah didapat hasil penjadwalan metode CDS dan NEH, maka dilakukan perbandingan antara metode perusahaan dengan kedua metode tersebut. Untuk membandingkan antara metode yang diuji (algoritma CDS dan algoritma NEH) dengan metode yang digunakan oleh perusahaan (FCFS) maka dibandingkan berdasarkan parameter *Efficiency Index (EI)* dan *Relative Error (RE)* didapat bahwa hasil penjadwalan antara metode NEH dan CDS adalah algoritma NEH paling cepat atau paling kecil *makespan* yang didapatkan dibandingkan dengan algoritma CDS karena pada perhitungan NEH, langsung didapatkan kombinasi dari *job-job* yang diteliti sehingga dari hal tersebut dapat dilihat kombinasi yang lainnya. Dari kombinasi-kombinasi tersebut, tidak perlu dihitung semuanya karena dengan algoritma NEH ini, hanya urutan dengan *makespan* yang terkecil saja yang akan digunakan sebagai acuan untuk perhitungan selanjutnya dan kombinasi yang lainnya akan tereleminasi dengan terpilihnya urutan dengan *makespan* yang terkecil. Untuk itu, dari proses perhitungannya metode NEH paling tepat dan paling terinci untuk menghitung meminimasi *makespan* dibandingkan dengan metode CDS karena metode CDS hanya berdasarkan pengelompokkan dua mesin. Pada dasarnya masalah penjadwalan *flowshop* akan erat kaitannya dengan permutasi karena akan timbul berbagai macam kemungkinan yang akan terjadi pada *job* yang akan dijadwalkan dan ini terlihat pada metode NEH sehingga urutan yang didapat akan lebih optimal. Maka, metode NEH lebih optimal daripada metode CDS dan FCFS karena memiliki *makespan* yang lebih kecil.

Dalam hal ini ketiga metode usulan atau salah satunya digunakan oleh perusahaan tergantung berapa banyak permintaan dan berapa lama proses dalam pengerjaannya harus benar-benar dipertimbangkan. Waktu kelonggaran dan faktor penyesuaian juga berpengaruh dalam lama atau tidaknya suatu proses pengerjaan *job*. Perlunya meningkatkan *skill* atau kemampuan tenaga kerja agar selalu konsisten dalam pengerjaannya serta perlunya penambahan fasilitas, mengingat kondisi pabrik yang berdebu. Serta pengawasan yang lebih ketat dan manajemen perusahaan dalam program motivasi kerja pada para pekerja agar bisa meminimasi waktu *idle* (menganggur) yang menyebabkan penumpukkan *job*.

KESIMPULAN

Penjadwalan produksi *flowshop* di PT Krakatau Wajatama yang dapat dipilih dari dua alternatif yaitu metode *CDS* dan metode *NEH* adalah metode *NEH* karena *makespan* paling kecil yaitu 25,195 jam. Urutan penjadwalan produksi *flowshop* di PT Krakatau Wajatama dengan metode *NEH* yaitu pada urutan *job* 3-2-1

DAFTAR PUSTAKA

- Anggiat, H.O. 2009., Analisis Perbandingan Kinerja Antara Algoritma *Heuristic Pour* dan Algoritma *Nawaz Ensore* dan *Ham* (NEH) Dalam Menyelesaikan Penjadwalan Flowshop pada PT Cakra Compact Aluminium Industries, *Tugas Akhir*, Jurusan Teknik Industri, Universitas Sumatera Utara, Medan. (Tidak Publikasi)
- Baker, K.R., 1974, *Introduction to Sequencing and Scheduling*, John Wiley and Sons, Inc. New York.
- Baroto, T, 2002., Perencanaan dan Pengendalian Produksi, Ghalia Indonesia, Jakarta.
- Bedworth D.D., Bailey J. E., 1987. *Integrated Production Control System*, John Wiley and Sons, Inc. New York.
- Christianta, Y., 2012, Jurnal Penjadwalan Produksi dengan Metode *Campbell Dudek And Smith* (CDS), Teknik Industri Sekolah Tinggi Teknik Musi, Palembang
- Desiana. L 2010., Usulan Penjadwalan Produksi Dengan Perbandingan Metode *Campbell Dudek Smith* (NEH) dan *Nawaz Ensore* dan *Ham* (NEH) pada PT Superex Raya, *Tugas Akhir*, Jurusan Teknik Industri, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten.(Tidak Publikasi)
- Ginting, R., 2008, *Diktat Penjadwalan Mesin*, Departemen Teknik Industri Fakultas Teknik USU, Medan.
- Michael, P., 2002. *Scheduling: Theory, algorithms, and System*. Prentice Hall Internasional, New Jersey.

