

ANALISIS PENJADWALAN PRODUKSI BATU TAHAN API DENGAN MENGGUNAKAN METODE *CAMPBELL DUDEK SMITH (CDS)*, *NAWAZ ENSCORE HAM (NEH)*, DAN *PALMER* UNTUK MENGURANGI *MAKESPAN* DI PT. X

Shita Dwi Annisya¹⁾, Joumil Aidil Saifudin²⁾

^{1, 2)}Program Studi Teknik industri

Fakultas Teknik

Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

Jl. Rungkut Madya Surabaya 60294

e-mail: shitadannisya@yahoo.com¹⁾, joumilaidils19@gmail.com²⁾, joumilaidi.ti@upnjatim.ac.id³⁾

ABSTRAK

PT. X merupakan perusahaan manufaktur yang bergerak pada industri pembuatan batu tahan api. Dalam operasionalnya perusahaan harus melakukan penjadwalan produksi yang baik. Perusahaan memiliki kapasitas mesin produksi di perusahaan yang masih mencukupi tetapi hasil produksi belum dapat memenuhi permintaan konsumen tepat waktu sehingga terjadi keterlambatan. Hal ini dikarenakan total waktu penyelesaian (*makespan*) yang tinggi. Oleh karena itu, perusahaan memerlukan suatu metode penjadwalan yang ditetapkan untuk menyelesaikan pekerjaan-pekerjaan tersebut. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui metode penjadwalan produksi batu tahan api yang efisien sehingga dapat mengurangi total waktu pengerjaan (*makespan*) dalam pemenuhan permintaan batu tahan api. Ada beberapa metode yang dapat digunakan sebagai usulan yaitu *Campbell Dudek Smith*, *Nawaz Enscore Ham (NEH)*, dan *Palmer* untuk penentuan urutan *job* yang dikerjakan. Hasil dari penelitian ini yaitu dengan metode *Campbell Dudek Smith (CDS)* dengan *makespan* sebesar 1449805 detik dipilih karena mempunyai *makespan* yang lebih kecil dari metode perusahaan. Sehingga terjadi penghematan *makespan* sebesar 140290 detik (8,82%) dari kondisi semula.

Kata Kunci : Penjadwalan Produksi, *Earliest Due Date (EDD)*, *Campbell Dudek Smith (CDS)*, *Nawaz Enscore Ham (NEH)*, *Palmer*.

ABSTRACT

PT. X is a manufacturing company engaged in the refractory stone industry. The operation of company must make a good production scheduling. The company has a production machine capacity in the company that is still sufficient but the production results have not been able to meet consumer demand on time so that there is a delay. This is because the total turnaround time (makespan) is high. Therefore, companies need a scheduling method that is set to complete the work. The purpose of this research is to find out an efficient method of scheduling the production of refractory stones so that it can reduce the total processing time (makespan) in meeting the demand for refractory stones. There are several methods that can be used as proposals, namely Campbell Dudek Smith, Nawaz Enscore Ham (NEH), and Palmer for determining the order in which jobs are carried out. The results of this study are the Campbell Dudek Smith (CDS) method with a makepan of 1449805 seconds chosen because it has smaller makespan than the company method. So that savings the makespan of 140290 seconds (8.82%) from the original condition.

Keywords : *Production Scheduling*, *Earliest Due Date (EDD)*, *Campbell Dudek Smith (CDS)*, *Nawaz Enscore Ham (NEH)*, *Palmer*.

I. PENDAHULUAN

Penjadwalan produksi didefinisikan sebagai proses pengalokasian sumber-sumber maupun mesin-mesin yang ada, dimana hal ini berfungsi untuk menjalankan sekumpulan tugas dalam jangka tertentu. Penjadwalan ini sangat penting padaperusahaan yang menggunakan sistem *make to order*, dimana produk baru akan diproduksi sesuai permintaan dari konsumen (Krishman, et.al., 2016)

PT. X merupakan perusahaan manufaktur yang bergerak pada industri pembuatan batu tahan api. Dalam operasionalnya PT. X harus melakukan penjadwalan produksi yang baik. Perusahaan ini memproduksi dengan sistem antrian *make to order*. PT. X selalu mengedepankan ketepatan waktu dalam memenuhi kebutuhan *customer*. Kapasitas mesin produksi di perusahaan masih mencukupi tetapi hasil produksi belum dapat memenuhi permintaan konsumen tepat waktu sehingga terjadi keterlambatan. PT. X selama ini menggunakan metode penjadwalan EDD (*Earliest Due Date*) yaitu *job* yang harus selesai paling awal akan dikerjakan terlebih dahulu. Dalam memenuhi permintaan *customer* sistem penjadwalan tersebut kurang tepat karena masih adanya keterlambatan produksi.

Berdasarkan permasalahan diatas, maka diperlukan suatu penjadwalan produksi yang diharapkan mampu menjadwalkan *job* dengan tepat namun tetap memperhatikan kualitas produk, yaitu dengan menghitung *makespan*. *Makespan* adalah total waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan suatu *job*. Dalam penelitian ini digunakan suatu penjadwalan dengan menggunakan metode *Campbell Dudek Smith* (CDS), *Nawaz Ensore Ham* (NEH), dan *Palmer*. Penggunaan metode tersebut akan menghasilkan alternatif-alternatif penjadwalan yang kemudian akan dipilih penjadwalan yang menghasilkan *makespan* yang paling kecil. Sehingga, penjadwalan produksi dapat dihasilkan dengan tepat dalam permasalahan ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Penjadwalan Produksi

Penjadwalan adalah suatu proses pengambilan keputusan yang memainkan peranan penting dalam kebanyakan bidang manufaktur dan pelayanan industri (Utomo, 2019). Dalam suatu perusahaan industri, penjadwalan diperlukan dalam mengalokasikan tenaga operator, mesin dan peralatan produksi. Penjadwalan merupakan alat ukur yang baik bagi perencanaan agregat. Pesanan-pesanan aktual pada tahap ini akan ditugaskan pertama kalinya pada sumberdaya tertentu yang kemudian dilakukan pengurutan kerja pada tiap-tiap pusat pemrosesan sehingga dicapai utilitas kapasitas yang ada. Penjadwalan yaitu sekumpulan pekerjaan di tiap departemen dengan menggunakan sekumpulan teori penjadwalan (Ariyani, 2010).

Menurut Kurniawati dan Karim (2016), penjadwalan terhadap produksi adalah salah satu solusi terkait ketetapan waktu, agar bisa memutuskan pekerjaan mana yang akan dilakukan untuk para konsumen. Penjadwalan *flowshop* adalah penjadwalan *job* dengan urutan mesin yang sama tanpa adanya perulangan (Risa, et.al., 2015).

B. Pengukuran Waktu Kerja

Pengukuran waktu adalah pekerjaan mengamati pekerja dan mencatat waktu kerja setiap elemen atau siklus menggunakan alat-alat yang telah disiapkan (Febianti, et.al., 2017). Pada garis besarnya, teknik-teknik pengukuran waktu kerja ini dapat dibagi menjadi dua, yaitu pengukuran waktu kerja langsung dan pengukuran waktu kerja tidak langsung. Pengukuran waktu kerja langsung dikenal dengan istilah *stopwatch time study* dimana metode ini cocok diaplikasikan untuk pekerjaan yang berlangsung singkat dan berulang (Roidelindho, 2017). Sedangkan pengukuran waktu kerja secara tidak langsung adalah pengukuran waktu kerja dimana perhitungan waktu kerja dilakukan tanpa pengamat harus berada ditempat pekerjaan yang akan diukur (Sutalaksana, et.al., 2012).

- 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 (Abidin, et.al., 2017). Adapun rumus menentukan BKA dan BKB sebagai berikut:

$$BKA = \bar{x} + k \cdot \sigma \dots\dots\dots (1)$$

$$BKB = \bar{x} - k \cdot \sigma \dots\dots\dots (2)$$

Dimana : \bar{x} = rata-rata waktu pengamatan

σ = standar deviasi

k = tingkat kepercayaan

Untuk tingkat kepercayaan 99% maka K=3

Untuk tingkat kepercayaan 95% maka K=2

Untuk tingkat kepercayaan 68% maka K=1 (Bora, et.al., 2017).

- Uji Kecukupan Data

Uji kecukupan data dilakukan untuk mendapatkan apakah jumlah data hasil pengamatan cukup untuk melakukan penelitian. Apabila $N' = N$, maka jumlah data sudah cukup. Apabila $N' > N$, maka jumlah data belum cukup. Adapun perumusan pengujian kecukupan data adalah sebagai berikut :

$$N' = \left[\frac{\frac{k}{s} \sqrt{N(\sum x^2) - (\sum x)^2}}{\sum x} \right]^2 \dots\dots\dots (3)$$

Dimana : N' = jumlah pengamatan teoritis yang seharusnya dilakukan

N = jumlah pengamatan yang telah dilakukan

s = tingkat ketelitian

x = data waktu pengamatan

k = tingkat kepercayaan (Montororing, 2018).

- Waktu Siklus

Rumus menghitung waktu siklus rata-rata adalah:

$$W_s = \frac{\sum x_i}{N} \dots\dots\dots (4)$$

- Waktu Normal

Rumus menghitung waktu normal adalah sebagai berikut:

$$W_n = W_s \times P \dots\dots\dots (5)$$

- Waktu Baku

Rumus menghitung waktu baku adalah:

$$W_b = W_n \times \frac{100\%}{100\% - Allowance} \dots\dots\dots (6)$$

- Perhitungan Waktu Penyelesaian

Rumus untuk menghitung waktu penyelesaian adalah (Sulaksmi, et.al., 2014):

$$\text{Waktu penyelesaian} = \frac{WB \times \text{jumlah permintaan}}{\text{jumlah mesin}} \dots\dots\dots (7)$$

C. Metode Campbell Dudek Smith (CDS)

Metode CDS merupakan pengembangan dari aturan yang dikemukakan oleh Jhonson, yang proses penjadwalan dilakukan berdasarkan waktu kerja yang terkecil yang digunakan dalam melakukan produksi (Nova, et.al., 2017). Metode ini pada dasarnya memecahkan persoalan n job pada m mesin flow shop dengan membagi m mesin ke dalam dua grup, kemudian pengurutan job pada kedua mesin tadi menggunakan algoritma Johnson (Yohanes, 2014). Untuk mendapatkan urutan pekerjaan metode CDS ini dapat menghasilkan k iterasi (alternatif urutan job) $k = m-1$ (Ervil dan Nurmayuni, 2018).

Setelah dilakukan iterasi selanjutnya akan dipilih iterasi yang memiliki makespanterkecil (Saputro dan Mundari, 2018). Menurut Ginting (dikutip dalam Darmawan dan Pramesti, 2018), Untuk penjadwalan n job terhadap m mesin, dilakukan algoritma Johnson sebagai berikut:

- Ambil penjadwalan pertama ($k=1$). Untuk seluruh job yang ada, carilah harga $t^*_{i,1}$ dan $t^*_{i,2}$ yang minimum yang merupakan waktu proses pada mesin pertama dan kedua, dimana $t^*_{i,1} = t_{i,1}$ dan $t^*_{i,2} = t_{i,2}$.
- Jika waktu minimum didapat pada mesin yang pertama, (misl $t_{i,1}$), selanjutnya tempatkan tugas tersebut pada awal deret penjadwalan dan bila minimum didapat pada mesin kedua (missal $t_{i,2}$), tugas tersebut ditempatkan pada posisi akhir dari deret penjadwalan.
- Pindahkan tugas-tugas tersebut dari daftarnya dan susun dalam bentuk deret pejadwalan. Jika masih ada job yang tersisa ulangi lagi langkah 1, sebaliknya bila tidak ada lagi job yang tersisa, berarti penjadwalan telah selesai. Dengan demikian, waktu proses dari kedua mesin yaitu mesin pertama ($t^*_{i,1}$) dan mesin kedua ($t^*_{i,2}$) pada penjadwalan ke- k adalah:

$$t^*_{i,1} = \sum_{k=1}^k t_{i,k} \dots\dots\dots (7)$$

$$t^*_{i,2} = \sum_{k=1}^k t_{1,m-k+1} \dots\dots\dots (8)$$

Keterangan :

- $t_{i,1}$ = Waktu proses suatu job ke- i dan mesin ke-1
- $t_{i,2}$ = Waktu proses suatu job ke- i dan mesin ke-2
- k = Konstulasi dengan nilai 1 s/d ($m-1$)
- m = Jumlah mesin yang dipakai
- $t_{i,k}$ = Waktu proses suatu job ke- i dengan konstulasi awal dengan nilai $k = 1$
- $t_{i,m-k+1}$ = Waktu proses suatu job ke- i dengan konstulasi awal dengan nilai $k = k + 1$
- Jika jadwal ke- $k = (m-1)$ sudah tercapai berarti penjadwalan job sudah selesai.

D. Metode Nawaz Enscore Ham (NEH)

Algoritma *heuristic* ini mengusulkan bahwa job dengan total waktu proses yang lebih besar seharusnya diberikan prioritas yang lebih besar dari pada job dengan total waktu proses yang lebih kecil (Ariyanti, et.al., 2018). Menurut Ginting (dikutip dalam Kurniawati dan Karim, 2016), Langkah-langkah dalam penyelesaian metode NEH adalah:

- Hitung waktu total proses masing-masing job.
 $T = \sum_{i=1}^m t_i \dots\dots\dots (9)$
- Dimana:
 T = total seluruh waktu penyelesaian setiap job
 t = waktu proses setiap job
 i = job yang dikerjakan
- Urutkan job berdasarkan berdasarakan waktu proses terbesar.
- Setelah itu, dimulai dengan mencoba dua urutan pertama kemudian hitung *makespan* dari kemungkinan urutan dua job tersebut. Pilih urutan dengan *makespan* (C_{max}) dan *mean flow time* (\bar{F}) parsial yang terkecil. Urutan dengan *makespan* yang terbesar akan dibuang atau tidak digunakan.
- Setelah didapat *makespan* dengan urutan job yang memiliki dua job kemudian tambahkan urutan dalam urutan parsial dimana data yang dimasukkan hanya urutan job yang memiliki *makespan* terkecil.
- Jika ada calon urutan parsial baru yang memiliki *makespan* parsial yang sama, pilihlah calon urutan parsial baru tadi yang memiliki *mean flow time* parsial yang lebih kecil. Jika sama juga pilih calon urutan parsial baru tadi secara acak.

- Lakukan terus menerus perhitungan tersebut hingga didapat urutan dengan *makespan* terkecil.

E. *Palmer*

Penjadwalan job dengan algoritma Palmer dimulai dengan menghitung slope index (SI) dari masing-masing *job* (Kuswandi, 2010). Indeks prioritas ini akan memberikan nilai lebih besar kepada *job*-*job* yang memiliki waktu proses yang cenderung meningkat dari mesin ke mesin. Dengan demikian *job* yang memiliki indeks prioritas terbesar akan dijadwalkan lebih awal. Langkah-langkah penjadwalan produksi dengan metode *Palmer* :

- Menulis matriks waktu pengerjaan *job* pada mesin.
- Menghitung *indeks* prioritas.

$$S_i = \sum_{j=1}^m (2j - m - 1) t_{ij} \dots\dots\dots (10)$$

Dimana :

S_i = Nilai *slope* indeksnya

M = Jumlah mesin yang dipakai

j = Mesin ke- n yang digunakan untuk memproses *job* i

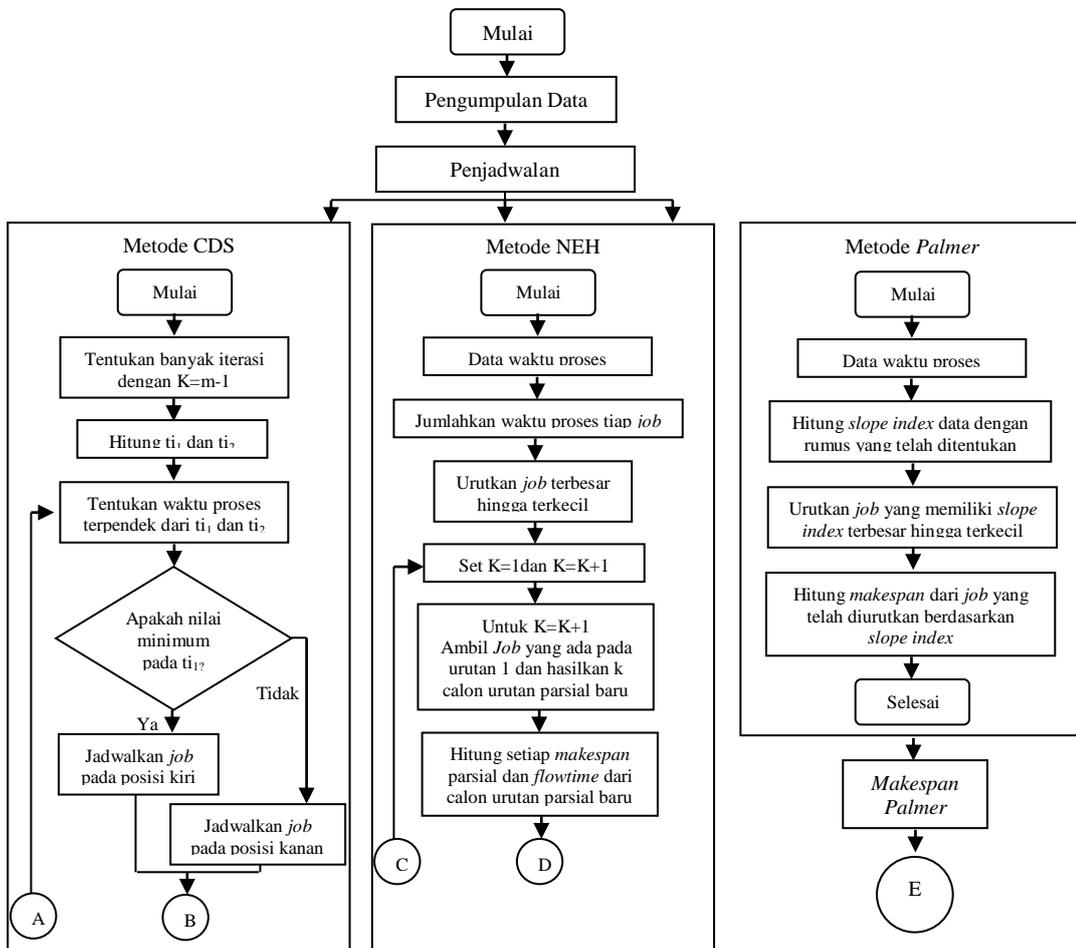
i = *Job* yang diproses

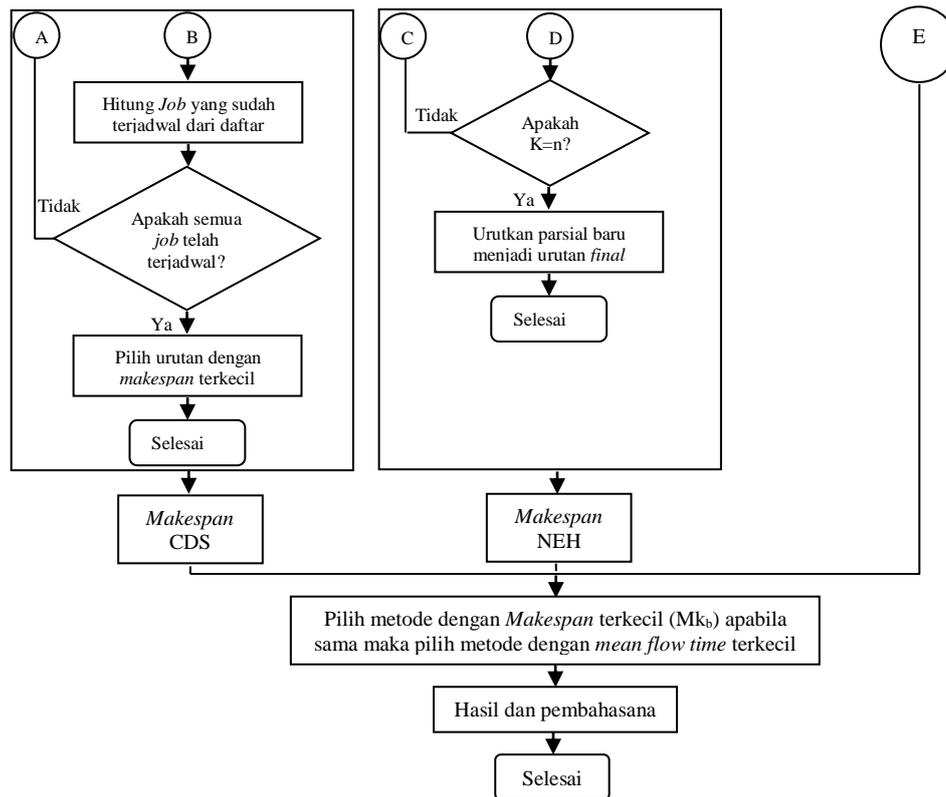
t_{ij} = waktu proses pekerjaan ke- i pada mesin ke- j

- Menentukan urutan *job* berdasarkan nilai *indeks* prioritas terbesar.
- Menghitung total waktu penyelesaian *job* (Mail, et.al., 2018).

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *Campbell Dudek Smith (CDS)*, *Nawaz Enscore Ham (NEH)*, dan *Palmer*. Adapun langkah-langkah penyelesaian masalah sebagai berikut:





GAMBAR 1. LANGKAH-LANGKAH PENYELESAIAN MASALAH

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengumpulan Data

Pada pengumpulan data ini terbagi menjadi empat variabel, yaitu data permintaan, data jumlah mesin, data *due date*, dan data pengamatan waktu proses. Pengumpulan data tersebut adalah sebagai berikut.

1) Data Permintaan

Data Permintaan yang harus diselesaikan oleh perusahaan adalah sebagai berikut :

TABEL I
DATA PERMINTAAN

Bulan	Job	Jumlah Permintaan (pcs)
Januari 2020	1	11000
	2	3000
	3	5000
	4	6000
	5	6000

Sumber Informasi: PT. X

2) Data Jumlah Mesin Tiap Stasiun Kerja

Masing-masing stasiun kerja memiliki jumlah mesin sebagai berikut :

TABEL II
DATA JUMLAH MESIN TIAP STASIUN KERJA

Mesin	Jumlah Mesin
M1	2
M2	2
M3	2
M4	2
M5	2

Sumber Informasi: PT. X

3) Data *Due Date* Tiap *Job*

Masing-masing stasiun kerja memiliki jumlah mesin sebagai berikut :

TABEL III
DATA *DUE DATE* TIAP *JOB*

<i>Job</i>	<i>Due Date</i>
1	6 Januari 2020
2	9 Januari 2020
3	13 Januari 2020
4	16 Januari 2020
5	17 Januari 2020

Sumber Informasi: PT. X

4) Data Pengamatan Waktu Proses

Berikut adalah data pengamatan yang diperoleh dari waktu proses pada stasiun kerja *job 1*

TABEL IV
DATA PENGAMATAN WAKTU PROSES PADA *JOB 1*

No	Waktu Pengamatan (detik)				
	M1	M2	M3	M4	M5
1	8,37	17,80	1,37	18,43	35,12
2	8,41	16,94	1,46	19,40	35,11
3	7,80	16,44	1,36	17,42	35,10
4	8,53	16,50	1,41	16,45	35,06
5	8,26	17,45	1,32	19,21	35,12
6	7,50	17,65	1,33	18,43	35,16
7	9,05	15,64	1,34	18,31	35,12
8	9,50	15,67	1,46	16,70	35,09
9	9,10	16,89	1,46	18,62	35,16
10	8,45	18,15	1,42	16,30	35,07
11	9,53	15,57	1,36	18,20	35,12
12	9,50	17,20	1,5	18,32	35,12
13	9,00	16,22	1,51	16,88	35,08
14	8,53	17,20	1,40	18,88	35,10
15	9,90	15,37	1,42	16,61	35,10

Sumber Informasi: Data Primer

B. *Pengolahan Data*

Pada pengolahan data, terdapat beberapa perlakuan terhadap data yang telah dikumpulkan sebelumnya. Perlakuan-perlakuan tersebut meliputi uji keseragaman dan kecukupan data, perhitungan waktu siklus, waktu normal, waktu baku, waktu pengerjaan *job*, dan perhitungan proses penjadwalan. Perhitungan-perhitungan tersebut adalah sebagai berikut.

1) Uji Keseragaman Data Waktu Kerja

Perhitungan uji keseragaman data waktu kerja pada M1 pada *job 1*, Karena data yang diambil berdistribusi normal maka tingkat kepercayaan yang digunakan adalah 95% dengan nilai $k = 2$ dan nilai S (derajat ketelitian) 5%. Data dikatakan seragam apabila data berada dalam Batas Kontrol Atas (BKA) dan Batas Kontrol Bawah (BKB),

- Hitung rata-rata dari sub group

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{N} = \frac{131,43}{15} = 8,76 \text{ detik}$$

- Standart Deviasi

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{x})^2}{N-1}} = \sqrt{\frac{(8,37-8,76)^2 + (8,53-8,76)^2 + \dots + (9,90-8,76)^2}{15-1}} = 0,68 \text{ detik}$$

- Batas Kontrol Atas (BKA) Dan Batas Kontrol Bawah (BKB)

$$BKA = \bar{x} + k \cdot \sigma = 8,76 + (2 \times 0,68) = 10,12 \text{ detik}$$

$$BKB = \bar{x} - k \cdot \sigma = 8,76 - (2 \times 0,68) = 7,4 \text{ detik}$$

$$BK = \bar{x} = 8,76 \text{ detik}$$

2) Uji Kecukupan Data Waktu Kerja

Setelah dilakukan uji keseragaman data waktu kerja maka kita dapat melakukan uji kecukupan data dengan rumus sebagai berikut :

$$N' = \left[\frac{k/s \sqrt{N \sum X^2 - (\sum X)^2}}{\sum X} \right]^2 = \left[\frac{\frac{2}{0,05} \sqrt{(15 \times 1158,07) - (131,43)^2}}{131,43} \right]^2 = 9$$

Karena data $N' \leq N$ yaitu $9 \leq 15$ maka data yang digunakan sudah cukup.

3) Perhitungan Waktu Siklus

Dari uji kecukupan data waktu kerja maka kita dapat menghitung waktu siklus rata-rata dengan rumus sebagai berikut :

$$WS = \bar{x} = \frac{\sum X_i}{N} = \frac{131,43}{15} = 8,76 \text{ detik}$$

4) Perhitungan Waktu Normal

Perhitungan terhadap faktor penyesuaian ditetapkan berdasarkan metode *Westing House* dengan *performance rating* sebesar 0,97. Maka didapat Waktu Normal (WN) sebagai berikut :

$$WN = WS \times P = 8,76 \times 0,97 = 8,5 \text{ detik}$$

5) Perhitungan Waktu Baku

Untuk stasiun kerja *jaw crusher job* 1 faktor kelonggaran yang diberikan adalah sebesar 36,5%. Besar faktor kelonggaran pada stasiun kerja *jaw crusher* sama nilainya untuk tiap-tiap *job*. Maka diperoleh Waktu Baku (WB) :

$$WB = WN \times \frac{100\%}{100\% - Allowance} = 8,5 \times \frac{100\%}{100\% - 36,5\%} = 13,4 \text{ detik/pes}$$

TABEL V
TABEL WAKTU BAKU TIAP *JOB* PADA TIAP STASIUN KERJA (DETIK)

Job	M1	M2	M3	M4	M5
1	13,4	21,29	1,8	27,78	47,62
2	28,06	45,51	5,33	63,23	130,69
3	29,15	48,53	5,53	61,61	129,15
4	16,06	26,95	2,55	40,43	61,41
5	22,91	37,06	3,88	49,12	90,52

Sumber Informasi: Data Sekunder

6) Perhitungan Waktu Pengerjaan *Job*

Waktu pengerjaan untuk *job* 1 pada mesin *jaw crusher* adalah sebagai berikut:

$$Job\ 1 = \frac{WB \times \text{jumlah permintaan}}{\text{jumlah mesin}} = \frac{13,4 \times 11000}{2} = 73700 \text{ detik}$$

TABEL VI
TOTAL WAKTU Pengerjaan *JOB* PADA TIAP-TIAP STASIUN KERJA
BULAN JANUARI 2020 (DETIK)

Job	M1	M2	M3	M4	M5
1	73700	117095	9900	152790	261910
2	42090	68265	7995	94845	196035
3	72875	121325	13825	154025	322875
4	48180	80850	7650	121290	184230
5	68730	111180	11640	147360	271560

Sumber Informasi: Data Sekunder

7) Penjadwalan Perusahaan

Dalam kondisi riil perusahaan menggunakan sistem EDD (*Earliest Due Date*) yaitu *job* yang harus selesai paling awal akan dikerjakan terlebih dahulu maka didapat urutan *job* 1 – 2 – 3 – 4 – 5 . Dari urutan penjadwalan *job* tersebut didapat nilai *makespan* sebesar 1590095 detik atau sama dengan 441 jam 41 menit 35 detik.

8) Penjadwalan Dengan Metode CDS

Pada penjadwalan metode CDS perhitungan iterasi $k=m-1$, sehingga terdapat iterasi sebanyak 4 kali. Dimana iterasinya sebagai berikut:

- Iterasi 1

TABEL VII
HASIL PERBANDINGAN ITERASI 1

Job	M1	M2(M5)
1	73700	261910
2	42090	196035
3	72875	322875
4	48180	184230
5	68730	271560

Sumber Informasi:Data Sekunder

Dari tabel diatas diurutkan berdasarkan aturan *Johnson* sehingga diperoleh urutan *job 2 – 4 – 5 – 3 – 1* dengan *makespan* sebesar 1449805 detik.

- Iterasi 2

TABEL VIII
HASIL PERBANDINGAN ITERASI 2

Job	M1+M2 (M1)	M4+M5 (M2)
1	190795	414700
2	110355	290880
3	194200	476900
4	129030	305520
5	179910	418920

Sumber Informasi:Data Sekunder

Dari tabel diatas diurutkan berdasarkan aturan *Johnson* sehingga diperoleh urutan *job 2 – 4 – 5 – 1 – 3* dengan *makespan* sebesar 1449805 detik.

- Iterasi 3

TABEL IX
HASIL PERBANDINGAN ITERASI 2

Job	M1+M2+M3 (M1)	M3+M4+M5 (M2)
1	200695	424600
2	118350	298875
3	208025	490725
4	136680	313170
5	191550	430560

Sumber Informasi:Data Sekunder

Dari tabel diatas diurutkan berdasarkan aturan *Johnson* sehingga diperoleh urutan *job 2 – 4 – 5 – 1 – 3* dengan *makespan* sebesar 1449805 detik.

- Iterasi 4

Tabel X
HASIL PERBANDINGAN ITERASI 3

Job	M1+M2+M3+M4 (M1)	M2+M3+M4+M5 (M2)
1	353485	541695
2	213195	367140
3	362050	612050
4	257970	394020
5	338910	541740

Sumber Informasi:Data Sekunder

Dari tabel diatas diurutkan berdasarkan aturan *Johnson* sehingga diperoleh urutan *job 2 – 4 – 5 – 1 – 3* dengan *makespan* sebesar 1449805 detik.

TABEL XI
HASIL PENJADWALAN DENGAN METODE *CAMPBELL DUDEK SMITH* (CDS)

Iterasi CDS	Urutan Job	Makespan	F
Iterasi 1	J2 – J4 – J5 – J3 – J1	1449805 detik	901082 detik
Iterasi 2	J2 – J4 – J5 – J1 – J3	1449805 detik	888889 detik
Iterasi 3	J2 – J4 – J5 – J1 – J3	1449805 detik	888889 detik
Iterasi 4	J2 – J4 – J5 – J1 – J3	1449805 detik	888889 detik

Pilih *makespan* terkecil antara tahap 1 sampai dengan tahap 5, maka penjadwalannya adalah dengan J2 – J4 – J5 – J1 – J3 dengan *makespan* 1449805 detik atau sama dengan 402 jam 43 menit 25 detik.

9) Penjadwalan Dengan Metode NEH

TABEL XII
MAKESPAN SETIAP JOB

Job	Makespan
1	615395
2	409230
3	684925
4	442200
5	610470

Sumber Informasi: Data Sekunder

Adapun untuk urutan *job* dimulai dari *job* yang memiliki dua *job* dari yang terbesar hingga yang terkecil. Dimana urutan yang dipilih adalah urutan yang memiliki *makespan* terkecil.

TABEL XII
PENJADWALAN PARSIAL URUTAN 3-1

Mesin	Job	Durasi	Mulai	Selesai
1	3	72875	0	72875
1	1	73700	72875	146575
2	3	121325	72875	194200
2	1	117095	194200	311295
3	3	13825	194200	208025
3	1	9900	208025	217925
4	3	154025	208025	362050
4	1	152790	362050	514840
5	3	322875	362050	684925
5	1	261910	684925	946835

Sumber Informasi: Data Sekunder

$C_{max} = 946835$

$\bar{F} = 815880$

Simbol : $C_{max} = \text{Completion time maximal}$

$\bar{F} = \text{Mean flow time}$

Setelah didapatkan urutan dengan *makespan* terkecil, maka Ambil *job* selanjutnya yang memiliki *makespan* tinggi Kemudian buatlah urutan parsial serta hitung C_{max} dan \bar{F} dari urutan parsial tersebut. Ambil urutan yang mempunyai C_{max} terkecil. Apabila C_{max} sama, maka ambil urutan yang mempunyai \bar{F} terkecil. Apabila \bar{F} sama, maka ambil secara acak.

TABEL XIV
REKAPITULASI METODE NEH

Iterasi	Calon Urutan	C_{max}	\bar{F}
1	3-1	946835	815880
	1-3	1008625	847187,5
2	3-1-5	1218395	950051,7
	5-3-1	1195255	913023,3
	3-5-1	1158230	893103,3
3	3-5-1-4	1402625	1065608
	4-3-5-1	1298545	885613,8
	3-4-5-1	1402625	1024355
	3-5-4-1	1402625	1046188
4	4-3-5-1-2	1494580	1007407
	2-4-3-5-1	1449805	911345
	4-2-3-5-1	1494580	953759
	4-3-2-5-1	1494580	979127
	4-3-5-2-1	1494580	994232

Sumber Informasi: Data Sekunder

Dari tabel diatas diketahui bahwa hasil perhitungan metode *Nawaz Enscore Ham* (NEH), didapatkan urutan pengerjaan *job* dengan C_{max} terkecil yaitu 1449805 detik atau sama dengan 402 jam 43 menit 25 detik. dengan nilai \bar{F} sebesar 855998 detik. Dengan urutan prioritas yaitu *job* 2-4-3-5-1.

10) Penjadwalan Dengan Metode *Palmer*

Dalam menyelesaikan masalah dalam pendekatan *Palmer*, setiap *job* diberi indeks prioritas. Indeks prioritas ini akan memberikan nilai lebih besar kepada *job-job* yang memiliki waktu proses yang cenderung meningkat dari mesin ke mesin. Dengan demikian *job* yang memiliki indeks prioritas terbesar akan dijadwalkan lebih awal.

$$S_i = \sum_{j=1}^m (2j - m - 1) t_{ji}$$

$$= [((2 \times 1) - 5 - 1) t_{i,1} + ((2 \times 2) - 5 - 1) t_{i,2} + ((2 \times 3) - 5 - 1) t_{i,3} + ((2 \times 4) - 5 - 1) t_{i,4} + ((2 \times 5) - 5 - 1) t_{i,5}]$$

$$= [-4 t_{i,1} - 2 t_{i,2} + 0 t_{i,3} + 2 t_{i,4} + 4 t_{i,5}]$$

Sehingga :

$$S_1 = [-4.(73700) - 2.(117095) + 0.(9900) + 2.(152790) + 4.(261910)]$$

$$= 824230$$

$$S_2 = [-4.(42090) - 2.(68265) + 0.(7995) + 2.(94845) + 4.(196035)]$$

$$= 668940$$

$$S_3 = [-4.(72875) - 2.(121325) + 0.(13825) + 2.(154025) + 4.(322875)]$$

$$= 1065400$$

$$S_4 = [-4.(48180) - 2.(80850) + 0.(7650) + 2.(121290) + 4.(184230)]$$

$$= 625080$$

$$S_5 = [-4.(68730) - 2.(111180) + 0.(11640) + 2.(147360) + 4.(271560)]$$

$$= 883680$$

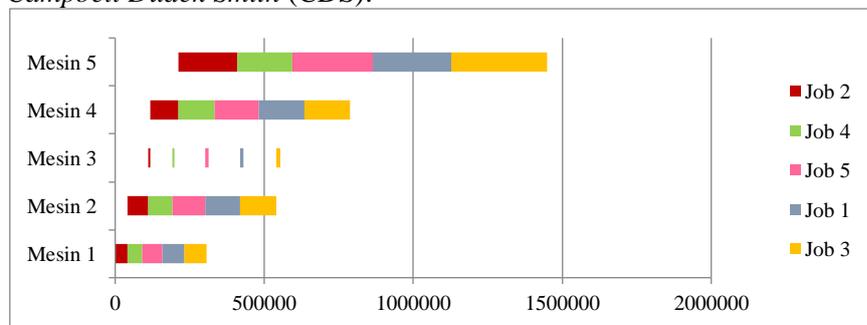
Berdasarkan perhitungan *slope index* diatas didapatkan urutan dari *slope* indeks terbesar adalah *job* 3 – 5 – 1 – 2 – 4 sehingga diperoleh *makespan* sebesar 1598660 detik atau sama dengan 444 jam 4 menit 20 detik.

11) Perbandingan Metode EDD dengan Metode CDS, NEH dan *Palmer*

TABEL XV
HASIL PENJADWALAN PRODUKSI KEEMPAT METODE

Metode Penjadwalan	Urutan Job	Makespan	\bar{F}
EDD (Metode Perusahaan)	J1 – J2 – J3 – J4 – J5	1590095 detik	1093952 detik
<i>Campbell Dudek Smith</i>	J2 – J4 – J5 – J1 – J3	1449805 detik	888889 detik
<i>Nawaz Enscore Ham</i>	J2 – J4 – J3 – J5 – J1	1449805 detik	911345 detik
<i>Palmer</i>	J4 – J2 – J1 – J5 – J3	1598660 detik	1174579 detik

Dari tabel diatas, diketahui bahwa metode *Campbell Dudek Smith* (CDS) dan *Nawaz Enscore Ham* (NEH) mempunyai *makespan* yang sama, sehingga akan dipilih metode dengan *mean flow time* (\bar{F}) yang lebih kecil. Diperoleh penjadwal dengan hasil *makespan* minimum yaitu dengan urutan pengerjaan job J2 – J4 – J5 – J1 – J3 dengan *makespan* sebesar 1449805 detik atau sama dengan 402 jam 43 menit 25 detik dan *mean flow time* sebesar 888889 detik, karena *makespan*-nya lebih kecil dibandingkan kondisi riil perusahaan yaitu 1590095 detik atau sama dengan 441 jam 41 menit 35 detik, sehingga terjadi penghematan *makespan* sebesar 140290 detik atau sama dengan 38 jam 58 menit 10 detik (8,82%) dari kondisi semula. Berikut ini peta penjadwalan dengan menggunakan metode *Campbell Dudek Smith* (CDS):



GAMBAR 2. PETA PENJADWALAN BULAN JANUARI 2020 DENGAN CDS

V. KESIMPULAN

Hasil penelitian didapatkan menunjukkan makespan minimum yaitu metode *Campbell Dudek Smith* (CDS) dengan urutan penjadwalan J2 – J4 – J5 – J1 – J3 dengan *makespan* sebesar 1449805 detik dan *mean flow time* sebesar 888889 detik. Adapun urutan penjadwalan perusahaan dengan metode *Earliest Due Date* (EDD) adalah J1 – J2 – J3 – J4 – J5 dengan *makespan* sebesar 1590095 detik dan *mean flow time* sebesar 1093952 detik. Sehingga terjadi penghematan *makespan* sebesar 140290 detik atau sama dengan 38 jam 58 menit 10 detik (8,82%) dari kondisi semula.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Zainal, Kulsum, dan Akbar Gunawan. (2017). "Usulan Penjadwalan Produksi di Pd Salando Menggunakan Algoritma *Campbell, Dudek, Smith* (CDS) Dan *Nawaz, Ensore, Ham* (NEH) Untuk Meminimasi *Makespan*". Jurnal Teknik industri, Vol. 5, No. 3, hal. 295-301.
- Ariyani, Enny. (2010). Sistem Produksi, Yayasan Humaniora: Klaten
- Ariyanti, Silvi, Adianto, dan Ricky Miharja. (2018). "Usulan Penjadwalan Produksi Benang Menggunakan Metode NEH Dan Metode Algoritma *Johnson* Untuk Meminimasi Waktu Produksi Di Pt. Laksana Kurnia Mandiri Sejati". Jurnal Ilmiah Teknik Industri, Vol. 6, No. 3, hal.157-164.
- Bora, M. Ansyar, Irawan, dan Albertus Laurensius Setyabudhi. (2017). "Analisa Perhitungan Waktu Standar *Service Ringan* untuk Meningkatkan Kepuasan Pelanggan". Jurnal Program Teknik Industri, Sekolah Tinggi Teknik Ibnu Sina, Vol. 2, No. 1, hal. 81-90.
- Darmawan, Luviana Firlyanti dan Diah Pramesti. 2018. "Analisis Penjadwalan Produksi Produk Oxygen Sensor dengan Menggunakan Metode *Heuristic Gupta* dan *Campbell Dudek and Simth* Di PT. Denso Indonesia". Jurnal IKRA-ITH Teknologi, Vol. 2, No. 3, hal. 23-33.
- Ervil, Riko dan Della Nurmayuni. (2018). "Penjadwalan Produksi Dengan Metode *Campbell Dudek Smith* (CDS) Untuk Meminimumkan Total Waktu Produksi (*Makespan*)". Jurnal Sains dan Teknologi, Vol. 18, No. 2, hal.1-5.
- Febianti, Evi, Ade Irman Saeful M., dan Zikry. (2017). "Penjadwalan Produksi *Flowshop* dengan Metode *Campbell Dudek Smith, Nawaz Ensore Ham* Dan *Heuristic Pour*". Jurnal Seminar Nasional Teknologi IV, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman, ISSN: 2598-7429.
- Khisman, Roy, Evi Febrianti, dan Lely Herlina. (2016). "Penjadwalan Produksi *Flow Shop* Menggunakan Metode *Campbell Dudek Smith* (CDS) dan *Nawaz Ensore Ham* (NEH)". Jurnal Teknik Industri, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Vol.4, No.1.
- Kurniawati, Dwi Agustina dan Muchammad Syafii Karim. (2016). "Penjadwalan Produksi *Flowshop* dengan Metode *Ignall-Scharge* dan Algoritama *Nawaz, Ensore and Ham* (NEH) Di CV. Bestone Indonesia". Jurnal Sains, Teknologi dan Industri, Vol. 13, No. 2, hal. 229-241.
- Kuswandi, Imron. (2010). "Minimasi *Makespan* Dengan Penjadwalan Produksi Pada Tipe Produksi Berulang". Jurnal Teknik Industri, Vol. 11, No. 1, hal. 84-93.
- Mail, Abdul, Muhammad Nusran, Nurul Chairani, Taufik Nur, dan Resky Faturrahman. (2018). "Analisis Penjadwalan Produksi dengan Menggunakan Metode *Campbell Dudek Smith* dan *Palmer* pada PT. Bobi Agung Indonesia". *Journal Of Industrial Engineering Management*, Vol. 8, No. 2, hal. 41-47.
- Monitorong, Yuri D. R. (2018). "Usulan Penentuan Waktu Baku Proses Racking Produk *Amplimesh* Dengan Metode Jam Henti Pada Departemen *Powder Coating*". Jurnal Teknik: Universitas Muhammadiyah Tangerang, Vol. 7, No. 2, hal. 53-63.
- Nova, M. K. M. H., Muhammad Adha Ilhami, dan Kulsum . (2017). "Usulan Penjadwalan Produksi Dengan Menggunakan Metode *Campbell Dudek Smith, Heuristic Pour*, dan *Palmer* untuk Meminimasi *Makespan* Di PT. Krakatau Wajutama". Jurnal Teknik Industri, Vol.5, No.1, hal 46-51.
- Risa, Helmi, dan Marisi Aritonang. (2015). "Perbandingan Metode *Campbell Dedek Smith* dan *Palmer* dalam Meminimasi Total Waktu Penyelesaian Studi Kasus: Astra Konveksi Pontianak". Jurnal Bimaster, Vol. 4, No 3, hal. 181-190.
- Roidelindho, Kiki. (2017). "Penentuan Beban Kerja dan Jumlah Tenaga Kerja Optimal pada Produksi Tahu". Jurnal Rekayasa Sistem Industri, Vol. 3, No. 1, hal. 47-81.
- Saputro, Irwan Adi dan Siti Mundari. (2017). "Penjadwalan Mesin pada Sistem Produksi *Flowshop* untuk Meminimalkan Keterlambatan". Jurnal Teknik Industri HEURISTIC, Vol. 14, No. 1, hal. 45-58.
- Sulaksmi, Andri, Annisa Kesya Garside, dan Fithriany Hadziqah. (2014). "Penjadwalan Produksi Dengan Algoritma *Heuristik Pour* (Studi Kasus: Konveksi One Way – Malang)". Jurnal Teknik Industri, Vol. 15, No. 1, hal. 35-44.
- Sutalaksana, Iftikar Z., Ruhanna Anggawisastra, dan Jan H. Tjakraatmadja. (2012). Teknik Perancangan Sistem Kerja. Institut Teknologi Bandung: Bandung.
- Utomo, Ilham Nurcahyo. (2019). "Analisis Penjadwalan Produksi Bak *Dump Truck* Dengan Metode *Campbell Dudek Smith, Palmer*, dan *Dannebring* Untuk Meminimumkan *Makespan* di PT. Surya Putra Barutama". Skripsi. Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur.
- Yohanes, Antoni. (2014). "Penjadwalan Produksi Di *Line B* Menggunakan Metode *Campbell-Dudek-Smith* (CDS)". Jurnal Dinamika Teknik, Vol. 8, No. 1, hal. 7-15.