

PENJADWALAN OPERASI MESIN PRODUKSI DENGAN METODE CDS (CAMPBELL DUDEK SMITH) DI PT TJOKRO BERSAUDARA BALIKPAPANINDO

Sadat N S. Sidabutar^{*}, Muh. Amin, Anggraini Putri

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Universitas Balikpapan

Jl. Pupuk Raya Balikpapan. Telp/Fax. 0542-764205

Email: sadat_766hi_s@yahoo.com

ABSTRACT

Scheduling as scheduling activities, workshop schedules, maintenance schedules and so on. Scheduling can be said to be optimal if it has the smallest total processing time value (makespan). Tjokro Brothers Balikpapanindo is still often experiencing delays due to not scheduling production optimally and still applying the FCFS (First Come First Served) scheduling method. Based on the above problems, the method used in this study is the Campbell Dudek Smith (CDS) method. Conclusion this research, producing two iteration namely, iteration first is 1956 minutes and iteration second 1960 minutes, and before scheduling produce makespan of 2008 minutes

Keyword: Scheduling, CDS (Campbell Dudek Smith), makespan, flowshop.

ABSTRAK

Penjadwalan sebagai aktivitas pembuatan jadwal, jadwal bengkel, jadwal perawatan dan sebagainya. Penjadwalan bisa dikatakan optimal apabila memiliki nilai total waktu proses (makespan) terkecil. PT. Tjokro Bersaudara Balikpapanindo saat ini masih sering terjadi kelambatan karena belum melakukan penjadwalan produksi secara optimal dan masih menerapkan metode penjadwalan FCFS (First Come First Served). Berdasarkan permasalahan diatas, metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode Campbell Dudek Smith (CDS). Kesimpulan penelitian ini, menghasilkan dua iterasi yaitu, iterasi pertama adalah 1956 menit dan iterasi kedua 1960 menit, dan sebelum penjadwalan menghasilkan makespan sebesar 2008 menit.

Kata Kunci: Penjadwalan, CDS (Campbell Dudek Smith), makespan, flowshop.

PENDAHULUAN

Menurut Baker (1974), penjadwalan (*scheduling*) adalah alokasi sumber-sumber atau mesin-mesin untuk melaksanakan sekumpulan tugas dalam jangka waktu tertentu. Berbeda dengan Baker, Forgy (1991) mendefinisikan penjadwalan sebagai aktivitas pembuatan jadwal, baik induk, jadwal bengkel, jadwal perawatan dan sebagainya.

PT Tjokro Bersaudara Balikpapanindo adalah perusahaan yang bergerak di bidang jasa fabrikasi dan *machining*. Setiap harinya, perusahaan tersebut selalu menerima *job* dari *customer* yang menuntut untuk selalu selesai tepat waktu tanpa adanya kendala. Namun selama ini masih sering terjadi kelambatan karena PT Tjokro Bersaudara Balikpapanindo belum melakukan penjadwalan produksi secara optimal. Sejumlah *job* pun sering terlambat selesai, sehingga hal ini kemungkinan besar mengurangi kepuasan pelanggan.

Penjadwalan bisa dikatakan optimal apabila memiliki nilai total waktu proses (*makespan*) terkecil. Dalam meminimumkan nilai *makespan*, terdapat beberapa metode salah satunya adalah metode *Campbell Dudek Smith* (CDS). Metode ini

memiliki tujuan dalam perhitungan yaitu untuk meminimalkan nilai *makespan* untuk setiap *job* dari (n) *job* pada (m) mesin, sehingga waktu proses produksi perusahaan dapat ditekan. Proses produksi pada setiap mesin dilakukan berdasarkan urutan *job* dengan waktu minimal

Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, dapat disimpulkan rumusan masalah yaitu, Bagaimana penerapan metode *Campbell Dudek Smith* di perusahaan, dan Bagaimana hasil yang didapat setelah menerapkan metode *Campbell Dudek & Smith*?

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah, Mengetahui penerapan metode *Campbell, Dudek & Smith* di perusahaan, dan Mengetahui hasil yang didapat setelah menerapkan metode *Campbell Dudek & Smith*.

Batasan Masalah

Dalam penelitian ini terdapat beberapa batasan masalah, yakni sebagai berikut :

1. Pada penelitian ini hanya membahas mengenai waktu pengerjaan setiap *job*.
2. Tidak membahas secara spesifik tentang barang-barang yang dikerjakan.
3. Selain 10 *job* pada penelitian ini, semua produk yang dikerjakan tidak ikut dijadwalkan.

TINJAUAN PUSTAKA

Definisi Penjadwalan Produksi

Menurut Thomas E. Morton dan David W. Pentico (2001) penjadwalan merupakan proses pengorganisasian, pemilihan dan penentuan waktu penggunaan sumber daya yang ada untuk menghasilkan *output* seperti yang diharapkan dalam waktu yang diharapkan pula. Berbeda dengan Thomas dan David, John E Biegel (1974) mendefinisikan penjadwalan produksi sebagai suatu kegiatan memasukkan sejumlah produk yang telah direncanakan kedalam proses pengerjaannya.

Berdasarkan definisi dari beberapa ahli yang telah disebutkan tersebut, maka dapat ditarik satu definisi dari penjadwalan adalah kegiatan perencanaan untuk mengalokasikan sumber daya baik mesin maupun tenaga kerja guna menjalankan sekumpulan tugas sesuai proses dalam jangka waktu tertentu.

Tujuan dan Sasaran Penjadwalan

Hartini (2010) menyimpulkan beberapa tujuan yang ingin dicapai dengan dilaksanakannya penjadwalan produksi adalah :

- a) Meningkatkan utilisasi mesin
- b) Menurunkan *Work in Process*
- c) Menyerahkan pesanan tepat waktu
- d) Meningkatkan keuntungan

Sasaran penjadwalan, khususnya untuk *flowshop* adalah minimasi waktu alir rata-rata dan minimasi kelambatan. Hal ini dilakukan dengan cara :

1. Minimasi waktu alir rata-rata (*mean flow time*) yang dilakukan dengan menggunakan aturan *Shortest Processing Time* (SPT)
2. Minimasi waktu alir rata-rata berbobot (*weighted mean flow time*), yang dilakukan dengan menggunakan aturan *Weighted Shortest Processing Time* (WSPT)
3. Minimasi kelambatan rata-rata (*Mean Lateness*), yang dilakukan dengan menggunakan SPT
4. Minimasi keterlambatan maksimum, yang dilakukan dengan menggunakan aturan *Earliness Due Date* (EDD)
5. Minimasi jumlah pekerjaan yang terlambat, yang dilakukan dengan menggunakan *Algoritma Hodgson*.
6. Minimasi keterlambatan rata-rata (*mean tardiness*), yang dapat menggunakan aturan *Slack* ataupun *Algoritma Wilkerson Irwin*.

Istilah Dalam Penjadwalan

Istilah-istilah yang biasa digunakan dalam penjadwalan, diantaranya :

1. Waktu Proses (*Processing Time*) adalah perkiraan lamanya waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan sebuah tugas.
2. *Makespan* adalah waktu penyelesaian semua *job*.
3. *Due date* adalah batas waktu penyerahan produk yang dijanjikan kepada pelanggan
4. *Completion Time* adalah rentang waktu antara awal pekerjaan pada tugas pertama, disaat $t = 0$, dan waktu ketika sebuah tugas i diselesaikan.
5. *Lateness* adalah penyimpangan *completion time* dan *due date* sebuah tugas.
6. *Tardiness* adalah nilai keterlambatan sebuah tugas. Akan bernilai positif jika tugas terlambat dan jika bernilai negatif tugas dinyatakan *early*.
7. *Early* adalah suatu nilai keterlambatan yang menyatakan bahwa tugas diselesaikan sebelum *due date*-nya.
8. *Flow time* adalah rentang waktu antara titik dimana sebuah tugas siap dikerjakan dan titik saat selesainya. Merupakan hasil penjumlahan *processing time* dan waktu tunggu tugas sebelum dikerjakan.
9. *Slack* adalah sisa waktu antara *due date* dan *processing time* sebuah tugas.
10. *Heuristic* adalah sebuah prosedur pemecahan masalah untuk menghasilkan hasil yang baik tetapi tidak menjamin hasil yang optimal.
11. *Ready Time* menunjukkan saat suatu pekerjaan (*job*) dapat dikerjakan atau siap dijadwalkan.

Elemen Penjadwalan Mesin Produksi

Dalam penjadwalan terdapat tiga elemen penting yang harus diperhatikan, Hartini (2010) sebagai berikut:

1. *Job*, dapat didefinisikan sebagai suatu pekerjaan yang harus diselesaikan untuk mendapatkan suatu produk.
2. Operasi, Matriks *routing* berisikan informasi mengenai urutan pengerjaan dan jenis mesin yang digunakan dalam setiap operasi.

Tabel 1. Matrik *Routing*

		OPERASI		
		1	2	3
JOB	1	1	2	3
	2	1	2	3
	3	1	2	3
	4	1	2	3

Setiap operasi mempunyai waktu proses. Waktu proses t_{ij} adalah waktu pengerjaan yang diperlukan untuk melakukan operasi tersebut. Waktu proses operasi untuk suatu *job* biasanya telah diketahui sebelumnya dan mempunyai besar tertentu.

Tabel 2. Waktu Proses

		OPERASI		
		1	2	3
JOB	1	4	3	2
	2	1	4	4
	3	3	2	3
	4	3	3	1

Pada matriks waktu proses, operasi 1 dari *job* 1 memiliki waktu proses 4 satuan waktu dan pada matriks *routing*, operasi 1 dan *job* 1 dikerjakan di mesin 1. Untuk menuliskan kondisi tersebut seringkali digunakan notasi O_{ijk} untuk merepresentasikan suatu operasi j dari *job* i diproses di mesin k dan t_{ijk} untuk merepresentasikan waktu proses suatu operasi j dari *job* i diproses di mesin k .

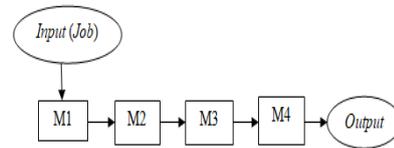
3. Mesin, adalah sumber daya yang diperlukan untuk mengerjakan proses penyelesaian suatu *job*. Hal tersebut harus memenuhi tiga kondisi berikut :
 - a. *Routing* tiap *job* diikuti
 - b. Setiap mesin hanya memproses satu *job* pada satu waktu, dan pemrosesan tidak diinterupsi
 - c. Waktu proses dari tiap operasi telah ditentukan

Klasifikasi Penjadwalan Produksi

Masalah penjadwalan produksi dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa faktor, yaitu (Conway, 2001):

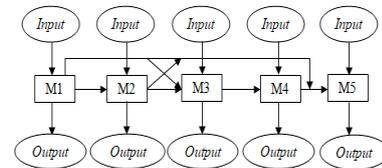
1. Jumlah mesin, Berdasarkan jumlah mesin yang digunakan dalam proses dibagi menjadi dua bagian, yaitu:
 - a. Penjadwalan pada mesin tunggal
 - b. Penjadwalan pada mesin jamak
2. Pola kedatangan *job*, Berdasarkan pola kedatangan *job* juga dibagi menjadi dua, yaitu:
 - a. Penjadwalan statis, Semua *job* datang bersamaan, tidak ada *job* yang datang di tengah-tengah pada saat jadwal dilaksanakan.
 - b. Penjadwalan dinamis, Kedatangan *job* tidak menentu, *job* datang secara acak selama diadakan penjadwalan.
3. Sistem Informasi, terdiri dari dua bagian, yaitu:
 - a. Informasi bersifat deterministik, Informasi yang diperoleh pasti, misalnya informasi tentang karakteristik *job* yaitu saat kedatangan, batas waktu penyelesaian, perbedaan kepentingan di antara *job-job* yang dijadwalkan, banyaknya operasi, serta waktu proses tiap operasi.
 - b. Informasi bersifat stikastik, Diperoleh tidak pasti tetapi memiliki kecenderungan yang jelas atau menyangkut adanya distribusi probabilitas tertentu.

4. Aliran Proses, terdiri dari tiga bagian, yaitu:
 - a. *Pure Flowshop*, Setiap *job* melewati seluruh mesin yang bekerja dari proses awal hingga proses akhir sesuai dengan urutan.



Gambar 1. Pola Aliran *Pure Flowshop*

- b. *General Flowshop*, Masing-masing *job* tidak selalu melewati seluruh mesin yang bekerja atau *job* tidak harus dikerjakan pada semua jenis mesin.



Gambar 2. Pola Aliran *General Flowshop*

Contoh tabel proses *Flowshop* :

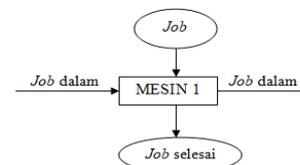
Tabel 3. Proses *Flowshop*

Job	Mesin		
	A	B	C
1	M1	M2	M3
2	M1	M2	M3
3	M1	M2	M3

Keterangan :

- M1: Waktu proses tahap pertama masing-masing *job* pada mesin A
- M2: Waktu proses tahap kedua masing-masing *job* pada mesin B
- M3: Waktu proses tahap ketiga masing-masing *job* pada mesin C

- c. *Job shop*, Setiap *job* bergerak dari satu mesin menuju mesin yang lainnya dengan pola yang random. Pola alirannya sebagai berikut:



Gambar 3 Pola Aliran *Jobshop*

Contoh tabel proses *job shop*

Tabel 4 Proses *Jobshop*

Job	Mesin		
	A	B	C
1	M1	M2	M3
2	M2	M1	M3
3	M3	M2	M1

Proses *jobshop* memiliki karakteristik pengurutan mesin yang sama berdasarkan fungsi, sebagaimana aliran *job* dari satu mesin ke mesin yang lainnya.

Metode Campbell Dudek & Smith

Pada metode *Campbell Dudek Smith* (1970) proses penjadwalan dilakukan berdasarkan waktu kerja terkecil yang digunakan dalam melakukan produksi. Dalam permasalahan ini, digunakan (n) *job* dan (m) mesin. Metode ini dilakukan pada urutan yang pertama sebagai berikut:

$$t_{j,1}^k = t_{j,1} \text{ dan } t_{j,2}^k = t_{j,m} \quad (1)$$

Sebagai waktu proses pada mesin pertama dan mesin terakhir. Untuk urutan yang kedua dirumuskan dengan :

$$t_{j,1}^k = t_{j,1} + t_{j,2} \quad (2)$$

$$t_{j,2}^k = t_{j,m} + t_{j,m-1} \quad (3)$$

Sebagai waktu proses pada dua mesin pertama dan dua mesin yang terakhir untuk urutan ke-k :

$$t_{j,1}^k = \sum_{i=1}^k t_{j,i} \quad (4)$$

$$t_{j,2}^k = \sum_{i=m+1-k}^m t_{j,i} \quad (5)$$

Keterangan:

$j = \text{job}$

$i = \text{mesin}$

$m = \text{jumlah mesin yang bekerja (awal-akhir)}$

$k = 1, 2, 3, \dots, (m-1)$

Tahapan Metode Campbell Dudek Smith (CDS)

Perhitungan metode *Campbell Dudek Smith* dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut :

1. Ambil urutan pertama $k = 1$. Untuk seluruh tugas yang ada, cari harga $t_{j,1}^k$ dan $t_{j,2}^k$ yang minimal yang merupakan waktu proses mesin pertama dan kedua pada iterasi ke-k.
2. Jika waktu minimum didapat pada mesin pertama (misal $t_{j,1}^k$) selanjutnya tempatkan tugas tersebut pada urutan awal, bila waktu minimal didapat pada mesin kedua (misal $t_{j,2}^k$) tugas tersebut ditempatkan pada urutan terakhir.
3. Pindahkan tugas-tugas tersebut dari daftarnya dan urutkan. Total waktu $t_{1,1}$ yaitu waktu proses *job* 1 pada mesin 1. Total waktu $t_{1,2}$ yaitu $t_{1,1} + t_{1,2}$. Total waktu $t_{2,1}$ yaitu $t_{1,1} + t_{2,1}$. Total waktu $t_{2,2}$ yaitu $\max \{t_{1,2}, t_{2,1}\} + t_{2,2}$ dan seterusnya. Jika masih ada tugas yang tersisa ulangi kembali langkah 1, sebaliknya jika tidak ada lagi tugas yang tersisa, berarti pengurutan telah selesai.

METODOLOGI PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari 2019 di PT Tjokro Bersaudara Balikpapanindo, Jl. MT. Haryono No 25 RT 51, Gunung Samarinda.

Obyek Penelitian

Mesin yang dipakai ada 3, yakni mesin las *spray*, mesin bubut dan mesin gerinda. Dibawah ini nama-nama 10 *job* atau produk-produk yang dikerjakan pada 3 mesin tersebut.

1. *Case Assy* HD 1500-7
2. *Retainer* HD 785-7
3. *CASE Assy* wa600-3
4. *Shaft ACC fuel* QSK 23C
5. *Crankshaft Assy* D155A-6 (CR140)
6. *Crankshaft Assy* HD785-7 (CR12V)
7. *Case PTO* PC 1250 SP-8R
8. *FIP Drive* GD825A-2
9. *Crankshaft* GD825A-5
10. *Crankshaft Assy* WA600-3

Metode Penelitian

Beberapa langkah yang dilakukan untuk mengumpulkan data-data penelitian.

1. Observasi, dilakukan observasi langsung ke perusahaan untuk mengetahui masalah-masalah apa yang terjadi di lapangan.
2. Identifikasi Masalah, mengidentifikasi suatu masalah dapat dilakukan dengan mencari penyebab timbulnya masalah dan mencari solusinya.
3. Studi Literatur, pada tahapan studi literatur dilakukan untuk menunjang penelitian, melalui teori-teori pendukung penelitian untuk pemecahan masalah yang tepat.
4. Pengumpulan Data, data-data yang diperlukan adalah data mesin-mesin yang digunakan, data *job* yang dikerjakan dan data waktu proses setiap *job*.
5. Pengolahan Data, data kemudian diolah untuk dibuat penjadwalan dan selanjutnya di analisis.

Variabel Penelitian

Pada penelitian ini, variabel penelitian terdiri dari:

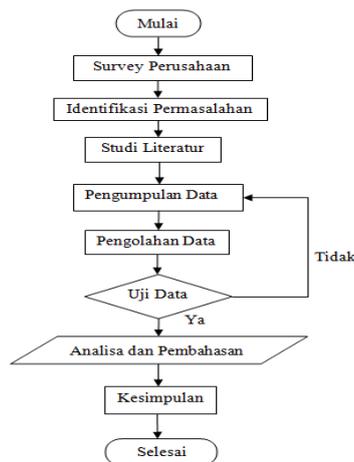
- a. Variabel Bebas, adalah waktu proses yang dibutuhkan setiap *job*.
- b. Variabel Terikat, adalah waktu penyelesaian semua *job*.
- c. Variabel Kontrol, adalah batas waktu akhir suatu *job* harus selesai dikerjakan.

Hipotesa

Berdasarkan beberapa analisa yang sudah dibahas sebelumnya, maka diharapkan:

1. Dengan menggunakan metode *Campbell Dudek Smith* tidak ada *job* yang terlambat.
2. Nilai *makespan* lebih kecil ketika menggunakan metode CDS (*Campbell Dudek Smith*) dibanding menggunakan metode yang dipakai perusahaan yakni FCFS (*First Come First Served*).

Diagram Alir Penelitian



Gambar 4 Diagram Alir Penelitian

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Data-data Penelitian

Penjadwalan mesin di PT Tjokro Bersaudara Balikpapanindo selama ini menggunakan metode FCFS (*First Come First Served*). Metode tersebut melakukan pengurutan berdasarkan *job* yang datang lebih awal akan dikerjakan terlebih dahulu. Hal ini menyebabkan waktu penyelesaian semua *job* (*makespan*) menjadi lebih lama. Data-data pekerjaan yang dikerjakan oleh perusahaan pada 3 mesin dan 10 *job* (tabel 5 dan tabel 6), yakni :

- a) Mesin Las Spray (Mesin 1)
- b) Mesin Bubut (Mesin 2)
- c) Mesin Gerinda (Mesin 3)

Tabel 5 Daftar *Job* Pada 3 Mesin Selama Bulan Februari 2019

No	Nama	Due Date (Hari)
1	Case Assy HD 1500-7	5
2	Retainer HD 785-7	4
3	CASE Assy wa600-3	6
4	Shaft ACC fuel QSK 23C	3
5	Crankshaft Assy D155A-6 (CR140)	4
6	Crankshaft Assy HD785-7 (CR12V)	4
7	Case PTO PC 1250 SP-8R	6
8	FIP Drive GD825A-2	4
9	Crankshaft GD825A-5	5
10	Crankshaft Assy WA600-3	4

Tabel di atas merupakan daftar *job* yang harus dikerjakan oleh PT Tjokro Bersaudara Balikpapanindo. Dari tabel tersebut diketahui ada 10 *job* yang dikerjakan dengan batas waktu akhir penyelesaian yang berbeda-beda. Terlihat bahwa batas waktu penyelesaian paling cepat yang diminta oleh pelanggan adalah 3 hari sementara itu batas waktu penyelesaian yang paling lama adalah 6 hari.

Tabel 6 Waktu Proses 10 *job* di 3 mesin

Job	Mesin 1 (Menit)	Mesin 2 (Menit)	Mesin 3 (Menit)
1	80	210	125
2	65	240	128
3	75	238	130
4	28	54	45
5	70	180	60
6	62	200	76
7	122	365	178
8	65	43	35
9	66	165	86
10	55	185	48

Dari tabel diatas terlihat waktu proses yang dibutuhkan setiap *job* sampai selesai dikerjakan melalui mesin 1, mesin 2 dan mesin 3. Tujuan dalam penjadwalan mesin produksi dengan metode CDS adalah meminimalkan nilai *makespan*. Nilai *makespan* sangat berkaitan dengan waktu operasi mesin.

Analisa

Waktu proses produksi setiap *job* dapat dipresentasikan dalam $t_{j,i}$, dimana j merupakan urutan *job* yang diproses dan i adalah urutan mesin yang bekerja. Didefinisikan $t_{j,i}$ adalah waktu proses produksi *job* ke- j pada mesin ke- i . Pada permasalahan penjadwalan mesin dengan metode CDS (*Campbell Dudek Smith*) terdapat (n) *job* dan (m) mesin yang bekerja. Masalah mesin diubah menjadi masalah dua mesin menggunakan algoritma Johnson. Algoritma Johnson diformulasikan dengan j *job* yang diproses pada dua mesin dengan $t_{j,1}$ adalah waktu proses *job* ke- j pada mesin 1 dan $t_{j,2}$ adalah waktu proses *job* ke- j pada mesin 2. Dengan data-data yang telah dikumpulkan, diketahui bahwa ada 10 *job* yang dikerjakan di 3 mesin.

Pengurutan proses produksi *job* berdasarkan min $t_{j,1}$ dan min $t_{j,2}$. Jika waktu minimal terdapat pada $t_{j,1}$ maka *job* ditempatkan pada urutan paling awal, dan jika waktu minimal terdapat pada $t_{j,2}$ maka *job* ditempatkan pada urutan paling akhir. Masalah dua mesin dapat diformulasikan untuk masalah (m) mesin dengan k sebagai iterasi, seperti yang sudah dirumuskan pada rumus 1 untuk iterasi pertama, rumus 2 dan 3 untuk iterasi kedua serta rumus 4 dan 5 untuk iterasi ke- $(m-1)$.

Tabel 7 Iterasi Dua Mesin

k	$t_{j,1}^k$ (total mesin pertama)	$t_{j,2}^k$ (total mesin kedua)
1	$t_{i,1}$	t_{m+1-1}
2	$t_{i,1} + t_{i,2}$	$t_{m+1-1} + t_{m+1-2}$
3	$t_{i,1} + t_{i,2} + t_{i,3}$	$t_{m+1-1} + t_{m+1-2} + t_{m+1-3}$
$m-1$	$t_{i,1} + t_{i,2} + t_{i,3} + \dots + t_{i,(m-1)}$	$t_{m+1-1} + t_{m+1-2} + t_{m+1-3} + \dots + t_{m+1-(m-1)}$

Perhitungan ini berlangsung terus dengan ketentuan $k = 1,2,3,\dots, (m - 1)$, artinya harga perhitungan k mulai dari 1 sampai dengan $m - 1$, bentuk perhitungan melalui tabel-tabel iterasi (k) dari 1 sampai dengan $m - 1$ tersebut dan setiap

tabel memiliki urutan *job* tersendiri dan terdapat p dimana $p = m - 1$.

Penjadwalan di PT Tjokro Bersaudara Balikpapanindo

PT Tjokro Bersaudara Balikpapanindo adalah perusahaan yang bergerak di bidang manufaktur. Dalam proses produksi terdapat beberapa kriteria yang telah dipenuhi, sebagai berikut:

- a. Material sudah tersedia dan siap untuk diproses
- b. Mesin-mesin yang dipergunakan tidak mengalami gangguan atau kerusakan
- c. Kemampuan operator dan alat bantu di perusahaan sama.
- d. Selama proses berlangsung tidak ada perubahan order yang tidak masuk penjadwalan.

Jika beberapa kriteria di atas sudah terpenuhi maka proses produksi sudah bisa dilaksanakan dan penjadwalan pun dapat diterapkan. Metode penjadwalan produksi yang diterapkan perusahaan saat ini adalah FCFS (*First Come First Served*). Penjadwalan produksi FCFS melakukan pengurutan proses produksi berdasarkan *job* yang datang lebih awal akan dikerjakan terlebih dahulu.

Berikut ini adalah nilai *makespan* dengan menggunakan metode FCFS.

Tabel 8. Penjadwalan Menggunakan Metode FCFS

Job	Waktu Proses		
	1	2	3
1	80	290	415
2	145	530	658
3	220	768	898
4	248	822	943
5	318	1002	1062
6	380	1202	1278
7	502	1567	1745
8	567	1610	1780
9	633	1775	1866
10	688	1960	2008

Proses perhitungannya untuk setiap mesin:

Tabel 9 Penjadwalan FCFS Mesin 1

No	M1	Job	Processing time	Start time	Finish time
1	1	1	80	0	80
2	1	2	65	80	145
3	1	3	75	145	220
4	1	4	28	220	248
5	1	5	70	248	318
6	1	6	62	318	380
7	1	7	122	380	502
8	1	8	65	502	567
9	1	9	66	567	633
10	1	10	55	633	688

Processing time adalah waktu yang dibutuhkan 1 *job* untuk selesai dikerjakan. *Start time* adalah waktu permulaan sebelum *job* 1 selesai dikerjakan. Nilai *start time* di dapat dari nilai maksimal *finish time* di mesin sebelumnya dan mesin yang dikerjakan. Terakhir adalah nilai *finish time* di dapat dari nilai *processing time* dijumlah *start time*.

Tabel 10 Penjadwalan FCFS Mesin 2

No	M2	Job	Processing time	Start time	Finish time
1	2	1	210	80	290
2	2	2	240	290	530
3	2	3	238	530	768
4	2	4	54	768	822
5	2	5	180	822	1002
6	2	6	200	1002	1202
7	2	7	365	1202	1567
8	2	8	43	1567	1610
9	2	9	165	1610	1775
10	2	10	185	1775	1960

Tabel 11 Penjadwalan FCFS Mesin 3

No	M3	Job	Processing time	Start time	Finish time
1	3	1	125	290	415
2	3	2	128	530	658
3	3	3	130	768	898
4	3	4	45	898	943
5	3	5	60	1002	1062
6	3	6	76	1202	1278
7	3	7	178	1567	1745
8	3	8	35	1745	1780
9	3	9	86	1780	1866
10	3	10	48	1960	2008

Hasil urutan produksi dengan metode FCFS adalah 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 8 – 9 – 10. Urutan tersebut menghasilkan nilai *makespan* sebesar 2008 menit atau 33,46 jam.

Penerapan Penjadwalan dengan Metode CDS

Berdasarkan data-data penelitian seperti daftar *job* yang dikerjakan pada tabel 5 dan waktu proses *job* seperti tabel 6 diketahui bahwa ada 10 *job* yang dikerjakan menggunakan 3 mesin. Masing-masing *job* memiliki alur operasi yang sama yaitu melalui mesin 1 - mesin 2 – mesin 3. Dengan urutan mesin yang sama untuk masing-masing *job* maka penjadwalan tersebut termasuk ke dalam jenis penjadwalan *flowshop*.

Untuk mendapatkan nilai *makespan* yang optimal maka digunakan metode CDS yang merupakan pengembangan dari Algoritma Johnson. Data yang akan diolah menggunakan metode CDS terdiri dari 10 *job* yang semuanya memiliki urutan pengolahan yang sama. Karena itu, metode CDS dapat diterapkan dan menghasilkan k iterasi. Banyaknya iterasi yakni :

$$k = m - 1 \longrightarrow k = 3 - 1 = 2$$

Kedua iterasi tersebut didapat dengan membandingkan waktu setiap *job* di masing-masing mesin.

Iterasi pertama, $k = 1$

$$t_{j,1}^k = \sum_{i=1}^k t_{j,i} \quad \text{dan} \quad t_{j,2}^k = \sum_{i=m+1-k}^m t_{j,i}$$

$$t_{j,1}^1 = t_{j,1} \quad \quad \quad t_{j,2}^1 = t_{j,3}$$

Berdasarkan data waktu proses pada Tabel 6, berikut adalah tabel untuk iterasi pertama.

Tabel 12 Iterasi Pertama PT Tjokro Bersaudara

Job	K = 1	
	$t_{j,1}^1$	$t_{j,2}^1$
1	80	125
2	65	128
3	75	130
4	28	45
5	70	60
6	62	76
7	122	178
8	65	35
9	66	86
10	55	48

Untuk $K = 1$ di PT Tjokro Bersaudara Balikpapanindo, menghasilkan urutan 4 – 6 – 2 – 9 – 3 – 1 – 7 – 5 – 10 – 8 sehingga didapat total waktu berikut.

Tabel 13 Total Waktu Iterasi Pertama PT Tjokro Bersaudara

Job	Waktu Proses		
	1	2	3
4	28	82	127
6	90	290	366
2	155	530	658
9	221	695	781
3	296	933	1063
1	376	1143	1268
7	498	1508	1686
5	568	1688	1748
10	623	1873	1921
8	688	1916	1956

Untuk mendapatkan nilai total waktu iterasi seperti pada tabel 13 diatas, berikut penjelasannya untuk setiap mesin.

Tabel 14 Total Waktu Iterasi Pertama M1

No	M1	Job	Processing time	Start time	Finish time
1	1	4	28	0	28
2	1	6	62	28	90
3	1	2	65	90	155
4	1	9	66	155	221
5	1	3	75	221	296
6	1	1	80	296	376
7	1	7	122	376	498
8	1	5	70	498	568
9	1	10	55	568	623
10	1	8	65	623	688

Tabel 15 Total Waktu Iterasi Pertama M2

No	M2	Job	Processing time	Start time	Finish time
1	2	4	54	28	82
2	2	6	200	90	290
3	2	2	240	290	530
4	2	9	165	530	695
5	2	3	238	695	933
6	2	1	210	933	1143
7	2	7	365	1143	1508
8	2	5	180	1508	1688
9	2	10	185	1688	1873
10	2	8	43	1873	1916

Tabel 16 Total Waktu Iterasi Pertama M3

No	M3	Job	Processing time	Start time	Finish time
1	3	4	45	82	127
2	3	6	76	290	366
3	3	2	128	530	658
4	3	9	86	695	781
5	3	3	130	933	1063
6	3	1	125	1143	1268
7	3	7	178	1508	1686
8	3	5	60	1688	1748
9	3	10	48	1873	1921
10	3	8	35	1921	1956

Setelah didapat nilai dari iterasi pertama, kemudian dilanjutkan untuk menjadi nilai makespan dari iterasi kedua

Iterasi kedua, untuk $K = 2$

$$t_{j,1}^k = \sum_{i=1}^k t_{j,i} \quad \text{dan} \quad t_{j,2}^k = \sum_{i=m+1-k}^m t_{j,i}$$

$$t_{j,1}^2 = t_{j,1} + t_{j,2}$$

$$t_{j,2}^2 = t_{j,2} + t_{j,3}$$

Tabel 17 Iterasi Kedua PT Tjokro Bersaudara

Job	K = 2	
	$t_{j,1}^2$	$t_{j,2}^2$
1	290	335
2	305	368
3	313	368
4	82	99
5	250	240
6	262	276
7	487	543
8	108	78
9	231	251
10	240	233

Untuk $K = 2$ di PT Tjokro Bersaudara Balikpapanindo, menghasilkan urutan 4 – 9 – 6 – 1 – 2 – 3 – 7 – 5 – 10 – 8 sehingga didapat total waktu berikut.

Tabel 18 Total Waktu Iterasi Kedua PT Tjokro Bersaudara

Job	Waktu Proses		
	1	2	3
4	28	82	127
9	94	259	345
6	156	459	535
1	236	669	794
2	301	909	1037
3	376	1147	1277
7	498	1512	1690
5	568	1692	1752
10	623	1877	1925
8	688	1920	1960

Proses perhitungan iterasi kedua :

Tabel 19 Total Waktu Iterasi Kedua M1

No	M1	Job	Processing time	Start time	Finish time
1	1	4	28	0	28
2	1	9	66	28	94
3	1	6	62	94	156
4	1	1	80	156	236
5	1	2	65	236	301
6	1	3	75	301	376
7	1	7	122	376	498
8	1	5	70	498	568
9	1	10	55	568	623
10	1	8	65	623	688

Tabel 20 Total Waktu Iterasi Kedua M2

No	M2	Job	Processing time	Start time	Finish time
1	2	4	54	28	82
2	2	9	165	94	259
3	2	6	200	259	459
4	2	1	210	459	669
5	2	2	240	669	909
6	2	3	238	909	1147
7	2	7	365	1147	1512
8	2	5	180	1512	1692
9	2	10	185	1692	1877
10	2	8	43	1877	1920

Tabel 21 Total Waktu Iterasi Kedua M3

No	M3	Job	Processing time	Start time	Finish time
1	3	4	45	82	127
2	3	9	86	259	345
3	3	6	76	459	535
4	3	1	125	669	794
5	3	2	128	909	1037
6	3	3	130	1147	1277
7	3	7	178	1512	1690
8	3	5	60	1692	1752
9	3	10	48	1877	1925
10	3	8	35	1925	1960

Berdasarkan penjelasan diatas didapat nilai *makespan* untuk masing-masing iterasi yang disajikan pada tabel 22 berikut ini.

Tabel 22 Nilai *makespan* setiap iterasi PT Tjokro Bersaudara

Iterasi (k)	Urutan Job	Makespan
1	4-6-2-9-3-1-7-5-10-8	1956
2	4-9-6-1-2-3-7-5-10-8	1960

Dari kedua iterasi pada tabel 22 maka diperoleh total waktu optimal atau nilai minimum *makespan* sebesar 1956 menit atau 32,6 jam dengan urutan pengerjaan *job* 4-6-2-9-3-1-7-5-10-8

Pembahasan

Dari hasil perhitungan menggunakan metode Champbell Dudek Smith di PT Tjokro Bersaudara Balikpapan yang telah dijelaskan sebelumnya, maka didapat dua iterasi untuk melakukan penjadwalan di perusahaan tersebut. Namun, sebelum digunakannya metode CDS di perusahaan

dapat dilihat pada tabel 8. bahwa nilai *makespan* untuk 10 *job* yang dikerjakan adalah 2008 menit atau 33,46 jam. Total waktu untuk mengerjakan semua *job* tersebut dinilai kurang optimal karena dengan waktu sebanyak itu banyak *job* juga yang akan terlambat untuk diselesaikan. Oleh karena itu metode penjadwalannya dapat diubah dengan menggunakan metode CDS agar nilai *makespan* dapat di optimalkan.

Berdasarkan hasil perhitungan, diketahui bahwa urutan produksi dengan metode CDS dan FCFS berbeda. Urutan dengan metode FCFS yakni 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10, sedangkan urutan yang dihasilkan dengan metode CDS adalah 4-6-2-9-3-1-7-5-10-8. *Makespan* yang dihasilkan dengan metode CDS lebih kecil dibandingkan dengan *makespan* yang dihasilkan dengan metode FCFS yang selama ini dijalankan oleh PT Tjokro Bersaudara Balikpapanindo. Penjadwalan dengan metode CDS menghasilkan *makespan* 1956 menit atau 32,6 jam. Sedangkan metode FCFS menghasilkan *makespan* sebesar 2008 menit atau 33,46 jam. Karena itu, pada penelitian ini terbukti bahwa metode CDS merupakan metode penjadwalan produksi yang menghasilkan solusi optimum untuk meminimasi nilai *makespan*.

PENUTUP

Berdasarkan analisa dan pembahasan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada pengerjaan 10 *job* 3 mesin di PT Tjokro Bersaudara Balikpapanindo digunakan metode CDS (*Campbell Dudek Smith*) guna menekan total waktu seluruh *job* untuk selesai dikerjakan atau nilai *makespan*. Penjadwalan operasi mesin produksi dengan metode CDS di perusahaan tersebut menghasilkan dua iterasi. Iterasi pertama menghasilkan nilai *makespan* sebesar 1956 menit atau 32,6 jam, dengan urutan *job* 4-6-2-9-3-1-7-5-10-8. Sedangkan pada iterasi kedua memiliki urutan *job* 4-9-6-1-2-3-7-5-10-8 dan menghasilkan nilai *makespan* sebesar 1960 menit 32,67 jam.
2. Sebelum digunakannya metode CDS (*Campbell Dudek Smith*), PT Tjokro Bersaudara Balikpapanindo belum melakukan penjadwalan operasi mesin secara optimal. Hal ini terbukti dari waktu total semua *job* selesai dikerjakan sebesar 2008 menit atau 33,46 jam. Namun, setelah dijadwalkan menggunakan metode CDS, nilai *makespan* dapat ditekan menjadi 1956 menit atau 32,6 jam. Nilai ini didapat dari iterasi pertama dengan urutan pengerjaan 4-6-2-9-3-1-7-5-10-8. Penggunaan metode CDS terbukti dapat menekan nilai *makespan* dari sebelum menggunakan dan setelah menggunakan metode CDS.

DAFTAR PUSTAKA

Baker, Kenneth R., Trietsch. 2009. *Principles of Sequencing and Scheduling*. America : John Wiley & Sons, Inc.

Biegel, John E, 1978, "*Production Control : A Quantitative Approach*", Prentice Hall Of India Private Limited, New Delhi.

Conway, Richard W., Maxwell, William L., Miller, Louis W. (2001). *Theory of Scheduling*. America : Addison-Wesley Publishing Company.

Hartini, Sri. 2011. *Teknik Mencapai Produksi Optimal*. Bandung: Lubuk Agung

Smith, Campbell, Dudek . (1970). *A Heuristic Algorithm for The n Job, m machine Sequencing Problem*. USA.