

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Manufaktur

Istilah manufaktur dikenalkan pertama kali pada tahun 1662. Asal muasal istilah ini yaitu dari bahasa latin. Menurut kamus besar bahasa Indonesia (2016), manufaktur berarti membuat atau menghasilkan sesuatu dengan tangan ataupun mesin. Manufaktur merupakan proses pembentukan suatu bahan baku menjadi suatu proses yang berteknologi dimana teknologi dalam industri manufaktur berkembang kian pesat (Sulistyarini, Novareza, dan Darmawan, 2018).

Setiap perusahaan memiliki strategi produksi berbeda dalam menjalankan kegiatannya. Menurut Mauergauz (2016), strategi produksi ini mendeskripsikan kesiapan produk untuk memenuhi permintaan pelanggan. Kesiapan ini menunjukkan bagaimana kecepatan produksi perusahaan dalam menerima *order* dan mempengaruhi kedudukan perusahaan di pasar. Strategi kesiapan produksi dan strategi merespon pasar menurut Mauergauz (2016) dan Autry, dkk (2013), terdiri dari:

1. *Make-to-Stock*, MTS

Konsep MTS yaitu produk standar diramalkan dan disimpan sebelum adanya permintaan. Banyak persediaan produk jadi dan terkadang terdapat WIP dan bahan baku. Strategi perencanaan MTS dapat digunakan bahkan untuk produksi dengan skala kecil dengan permintaan produk yang relatif stabil.

2. *Make-to-Order*, MTO

Strategi perencanaan MTO sering digunakan untuk produksi dengan skala besar, terutama ditingkat perencanaan yang lebih rendah. MTO merupakan strategi merespon pasar dimana perusahaan sudah menyiapkan material standar untuk diproduksi menjadi produk jadi untuk merespon permintaan pelanggan.

3. *Assembly-to-Order*, ATO

Strategi ATO merupakan modifikasi dari strategi MTS jika komposisi dari produk dapat disesuaikan dengan pesanan/*order*. Tetapi sebagian besar komponen akan menjadi *Make-to-Stock*. ATO merupakan strategi dimana perusahaan sudah menyiapkan *subassemblies* untuk nantinya dirakit ketika ada permintaan yang datang.

4. *Engineer-to-Order*, ETO

ETO merupakan strategi merespon pasar yang dimulai dari desain produk. Perusahaan tidak memiliki sistem inventori.

Pemilihan strategi produksi dipengaruhi oleh durasi dari siklus produksi, waktu tunggu yang dapat diterima untuk memenuhi pesanan dalam lingkungan yang kompetitif, kebutuhan untuk menyesuaikan produk dengan kebutuhan pelanggan, ketersediaan aset yang cukup, dan lain-lain (Mauergauz, 2016).

Menurut Mauergauz (2016), terdapat lima klasifikasi dari jenis produksi, yaitu:

1. *Single machine*

Tipe ini tidak hanya digunakan untuk perencanaan *job* dengan satu mesin tetapi berfungsi juga sebagai tipe dasar dalam mengembangkan algoritma untuk kasus yang lebih kompleks.

2. *Parallel machine*

Parallel machine dimungkinkan memiliki parameter yang benar-benar sama atau serupa, dan bisa saja sangat berbeda tetapi digunakan untuk mencapai satu tujuan yang sama.

3. *Flowshop*

Mesin-mesin disusun berdasarkan urutan proses dan semua operasi dari setiap *job* diselesaikan pada urutan yang sama.

4. *Jobshop*

Beberapa *job* yang berbeda dapat disusun pada berbagai urutan proses.

5. *Openshop*

Operasi yang berbeda dari setiap *job* dapat diselesaikan dalam berbagai urutan.

2.2 Pengukuran Waktu

Prinsip-prinsip pengukuran kerja yang terdiri dari teknik pengukuran waktu yang dibutuhkan, tenaga yang dikeluarkan dan pengaruh fisiologis serta psikologis dapat menentukan apakah sistem kerja yang diterapkan sudah baik. Menurut Astuti dan Iftadi (2016), salah satu pengukuran kerja yaitu berkaitan dengan pengukuran waktu kerja (*time study*). Menurut Sritomo dalam Astuti dan Iftadi (2016) teknik dalam melakukan pengukuran waktu dibagi menjadi dua, yaitu sebagai berikut:

- a. Pengukuran waktu secara langsung merupakan pengukuran waktu yang dilakukan secara langsung di lokasi pekerjaan dilakukan. Teknik ini terdiri dari jam henti (*stopwatch time study*) serta sampling pekerjaan (*work sampling*).

- b. Pengukuran waktu secara tidak langsung merupakan pengukuran waktu yang tidak dilakukan di tempat pekerjaan dilakukan. Teknik ini dilakukan dengan menggunakan metode standar data. Pengukuran waktu ini terdiri dari data waktu baku serta waktu gerakan.

2.2.1 Pengukuran Waktu Jam Henti (*Stopwatch Time Study*)

Pengukuran waktu jam henti digunakan untuk pekerjaan yang singkat serta berulang. Berdasarkan hasil pengukuran, maka akan didapat waktu baku yang menunjukkan waktu standar dalam menyelesaikan siklus pekerjaan. *Stopwatch* merupakan alat utama yang digunakan dalam pengukuran waktu jam henti. Kesederhanaan aturan serta cara yang paling banyak dikenal menjadikan pengukuran waktu jam henti sering digunakan.

Menurut Astuti dan Iftadi (2016) tahapan dalam penentuan waktu baku terdiri dari:

1. Penetapan tujuan pengukuran
 2. Melakukan penelitian pendahuluan
 3. Memilih dan melatih operator
 4. Melakukan penguraian pekerjaan menjadi elemen-elemen pekerjaan
 5. Menyiapkan alat-alat yang digunakan untuk pengukuran
 6. Melakukan pengukuran waktu siklus
 7. Menentukan tingkat ketelitian dan tingkat keyakinan
 8. Pengujian keseragaman data
 9. Perhitungan waktu baku
- **Tingkat Ketelitian dan Tingkat Keyakinan**
Tingkat ketelitian menunjukkan besarnya penyimpangan maksimal dari pengukuran yang dilakukan. Tingkat ketelitian dinyatakan dalam bentuk persentase (%). Sedangkan tingkat keyakinan menunjukkan seberapa besar keyakinan pengukur terhadap pemenuhan syarat ketelitian dari hasil yang diperoleh (Sutalaksana, Anggawisastra, dan Tjakraatmadja, 2006).
 - **Pengujian Keseragaman Data**
Menurut Sutalaksana, Anggawisastra, dan Tjakraatmadja (2006), Pengujian keseragaman merupakan pengujian yang didasarkan atas teori statistik terkait peta kontrol. Berikut ini merupakan prosedur dalam melakukan uji keseragaman:

1. Hitung rata-rata

Dengan Persamaan:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \dots\dots\dots (II.1)$$

2. Hitung Standar Deviasi

Dengan Persamaan:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (II.2)$$

3. Tentukan Batas Kontrol Atas (BKA) dan Batas Kontrol Bawah (BKB) (Astuti dan Iftadi, 2016), dengan Persamaan:

$$BKA = \bar{X} + k\sigma \dots\dots\dots (II.3)$$

$$BKB = \bar{X} - k\sigma \dots\dots\dots (II.4)$$

Keterangan:

\bar{X} = Rata-rata data

X_i = Data

n = Jumlah data

σ = Standar deviasi

k = Tingkat keyakinan

- Apabila tingkat keyakinan 99%, maka nilai $k = 2,58 \approx 3$
- Apabila tingkat keyakinan 95%, maka nilai $k = 1,96 \approx 2$
- Apabila tingkat keyakinan 68%, maka nilai $k = 1$

Batas kontrol yang terdiri dari BKA dan BKB, menunjukkan apakah data-data pada sudah seragam. Dikatakan seragam ketika data berada pada batas kontrol sehingga dapat dilanjutkan dengan uji kecukupan data.

• Pengujian Kecukupan Data

Pengujian kecukupan data ini dilakukan untuk menghitung banyaknya pengukuran yang perlu dilakukan. Selain itu uji kecukupan dilakukan untuk memastikan apakah data yang dikumpulkan telah mewakili populasi dari objek yang diteliti. Persamaan yang digunakan, yaitu:

$$N' = \left[\frac{\frac{k}{s} \sqrt{N \sum_{i=1}^N X_i^2 - (\sum_{i=1}^N X_i)^2}}{\sum_{i=1}^N X_i} \right]^2 \dots\dots\dots (II.5)$$

N' = Jumlah data secara teoritis

N = Jumlah pengamatan yang dilakukan

s = Derajat ketelitian

k = Tingkat kepercayaan

Data dinyatakan cukup ketika nilai N' kurang dari atau sama dengan N . apabila N' lebih dari N , maka harus dilakukan penambahan data.

2.2.2 Perhitungan Waktu Baku

Menurut Wignjosoebroto dalam Astuti dan Iftadi (2016), waktu baku yaitu waktu yang di butuhkan seorang pekerja dengan tingkat kemampuan rata-rata untuk menyelesaikan satu pekerjaan. Prinsip waktu baku yaitu menunjukkan waktu yang dibutuhkan untuk dapat menyelesaikan suatu jenis pekerjaan atau elemen kerja yang telah diukur pada waktu yang lalu. Sehingga, akan diketahui waktu penyelesaian ketika suatu pekerjaan dilakukan secara berulang. Penentuan waktu baku menurut Satalaksana, Anggawisastra, & Tjakraatmadja (2006) adalah sebagai berikut:

1. Waktu Siklus (W_s)

Waktu siklus yaitu waktu penyelesaian suatu pekerjaan yang didapat dari hasil observasi secara langsung menggunakan *stopwatch*. Waktu siklus dapat diartikan juga sebagai rata-rata waktu penyelesaian selama pengukuran. Waktu siklus dapat dihitung dengan Persamaan:

$$W_s = \frac{\sum X_i}{N} \dots\dots\dots (II.6)$$

Dengan:

- W_s = Waktu siklus
- $\sum X_i$ = Jumlah data pengukuran
- N = Banyaknya data atau pengukuran

2. Waktu Normal (W_n)

Waktu normal yaitu waktu penyelesaian dari suatu pekerjaan yang mempertimbangkan faktor-faktor menyesuaikan yang ada. Waktu normal dapat dihitung dengan Persamaan:

$$W_n = W_s \times p \dots\dots\dots (II.7)$$

Dengan:

- W_n = Waktu Normal
- W_s = Waktu Siklus
- P = Faktor Penyesuaian

Faktor penyesuaian (p) ditentukan oleh pendapat pengukur, dimana jika operator melakukan pekerjaanya dengan kecepatan yang tidak wajar, maka hasil perhitungan waktu perlu dilakukan penyesuaian atau dinormalkan terlebih dahulu. Pengukuran

waktu normal ini untuk mendapatkan siklus rata-rata yang wajar. Sedangkan ketika pekerja secara wajar, maka faktor penyesuaiannya (p) sebesar 1, ini berarti bahwa waktu siklus rata-rata sudah normal. Jika pekerjaan yang dilakukan terlalu lambat, maka untuk menormalkan kondisi tersebut dengan memberikan harga p kurang dari 1 ($p < 1$) dan untuk pekerjaan yang dilakukan dengan terlalu cepat maka harga p lebih dari 1 ($p > 1$). Salah satu cara yang dapat digunakan untuk menentukan besarnya faktor penyesuaian yaitu dengan *Westinghouse*. Tabel 2.1 menunjukkan tabel yang digunakan untuk penentuan faktor penyesuaian dengan cara *Westinghouse*.

3. Waktu Baku (W_b)

Waktu baku yaitu pertimbangan faktor kelonggaran pada waktu normal (W_n). Waktu baku dapat dihitung dengan Persamaan:

$$W_b = W_n \times (1+l) \dots\dots\dots (II.8)$$

Dengan:

- W_b = Waktu Baku
- l = Faktor Kelonggaran

Tabel 2.1 Penyesuaian menurut *Westinghouse*

SKILL			EFFORT		
+0,15	A1	Super Skill	+0,13	A1	Super Skill
+0,13	A2		+0,12	A2	
+0,11	B1	Excellent	+0,10	B1	Excellent
+0,08	B2		+0,08	B2	
+0,06	C1	Good	+0,05	C1	Good
+0,03	C2	Average	+0,02	C2	Average
0,00	D		0,00	D	
-0,05	E1	Fair	-0,04	E1	Fair
-0,10	E2		-0,08	E2	
-0,16	F1	Poor	-0,12	F1	Poor
-0,22	F2		-0,17	F2	
CONDITION			CONSISTENCY		
+0,06	A	Ideal	+0,04	A	Ideal
+0,04	B	Excellent	+0,03	B	Excellent
+0,02	C	Good	+0,01	C	Good
0,00	D	Average	0,00	D	Average
-0,03	E	Fair	-0,02	E	Fair
-0,07	F	Poor	-0,04	F	Poor

Sumber: Satalaksana, Anggawisastra, & Tjakraatmadja (2006)

Faktor kelonggaran (l) terdiri dari kebutuhan pribadi, hambatan-hambatan yang tidak dapat dihindarkan serta menghilangkan rasa *fatigue*. Hal tersebut dibutuhkan setiap pekerja dalam melakukan pekerjaannya yang tidak diamati, diukur, dicatat ataupun dihitung saat pengukuran dilakukan. Perhitungan waktu baku diawali dengan penentuan nilai kelonggaran pada setiap pekerja atau operator. Rasa *fatigue* dan kebutuhan pribadi dapat ditentukan dengan mangacu kepada tabel faktor kelonggaran.

Sedangkan hambatan-hambatan yang tidak dapat dihindarkan dapat ditentukan dengan pengukuran khusus seperti *sampling* pekerjaan. Faktor kelonggaran dinyatakan dalam presentase (%) yang dijumlahkan dari beberapa aspek terkait dengan kondisi pekerja serta lingkungan kerja. Tabel 2.2 menunjukkan faktor kelonggaran untuk pekerjaan yang dilakukan oleh pekerja/operator.

2.3 Peta-Peta Kerja

Peta kerja merupakan alat komunikasi yang jelas dan sistematis yang digunakan untuk menganalisis proses kerja dari awal hingga akhir. Informasi-informasi yang didapat dari peta kerja, dibutuhkan untuk memperbaiki sistem atau metode kerja (Astuti dan Iftadi, 2016). Perbaikan yang bisa dilakukan yaitu berkaitan dengan menghilangkan operasi yang tidak diperlukan, melakukan penggabungan operasi, menemukan urutan kerja yang lebih baik, menentukan mesin yang ekonomis dan lain sebagainya. Menurut Astuti dan Iftadi (2016), terdapat lambang-lambang untuk membuat peta kerja. Lambang peta kerja dikembangkan oleh Gilberth dengan mengusulkan 40 lambang lalu disederhanakan menjadi empat lambang yang dapat dilihat pada Tabel 2.3.

2.3.1 Macam-Macam Peta-Peta Kerja

Peta kerja dikelompokkan menjadi dua, yaitu peta kerja keseluruhan dan peta kerja setempat (Astuti dan Iftadi, 2016), berikut merupakan penjelasannya:

1. Peta Kerja Keseluruhan

Analisis kegiatan kerja secara keseluruhan dapat dilakukan dengan menggunakan peta kerja keseluruhan. Peta kerja ini melibatkan sistem kerja dalam pembuatan produk. Peta kerja keseluruhan terdiri dari:

- Peta Proses Operasi
- Peta Aliran Proses
- Diagram Alir

2. Peta Kerja Setempat

Analisis yang dilakukan pada kegiatan setempat dapat dilakukan dengan menggunakan peta kerja setempat. Peta ini digunakan untuk dapat menganalisis suatu pekerjaan dengan lebih detail di tempat kerja yang hanya melibatkan fasilitas dan orang dalam jumlah yang terbatas.

Tabel 2.2 Faktor kelonggaran

FAKTOR		CONTOH PEKERJAAN		KELONGGARAN (%)	
A.	Tenaga yang dikeluarkan		Ekivalen beban (Kg)	Pria	Wanita
1	Dapat diabaikan	Bekerja dimeja, duduk	tanpa beban	0,00 - 6,00	0,00 - 6,00
2	Sangat ringan	Bekerja dimeja, berdiri	0,00 - 2,25	6,00 - 7,5	6,00 - 7,5
3	Ringan	Menyekop, ringan	2,25 - 9,00	7,5 - 12,00	7,5 - 16,00
4	Sedang	Mencangkul	9,00 - 18,00	12,00 - 19,00	30
5	Berat	Mengayuh palu yang berat	19,00 - 27,00	19,00 - 30,00	
6	Sangat Berat	Memanggul beban	27,00 - 50,00	30,00 - 50,00	
7	Luar biasa berat	Memanggul kurang berat	diatas 50		
B.	Sikap kerja				
1	Duduk	Bekerja duduk, ringan		0,00 - 1,0	
2	Berdiri diatas dua kaki	Badan tegak, ditumpu dua kaki		1,0 - 2,5	
3	Berdiri diatas satu kaki	Satu kaki mengerjakan alat kontrol		2,5 - 4,0	
4	Berbaring	Pada bagian sisi, belakang atau depan badan		2,5 - 4,0	
5	Membungkuk	Badan dibungkukan bertumpu pada kedua kaki		4,0 - 10	
C.	Gerakan Kerja				
1	Normal	Ayunan beban dari palu		0	
2	Agak terbatas	Ayunan terbatas dari palu		0 - 5	
3	Sulit	Membawa beban berat satu tangan		0 - 5	
4	Pada anggota - anggota badan terbatas	Bekerja dengan tangan diatas kepala		5,00 - 10,00	
5	Seluruh anggota badan terbatas	Bekerja dilorong pertambangan yang sempit		10,00 - 15,00	
D.	Kelelahan Mata *)			Pencapaian Baik	Buruk
1	Pandangan yang terputus-putus	Membawa alat ukur		0,00 - 6,00	0,00 - 6,00
2	Pandangan yang hampir terus-menerus	Pekerjaan-pekerjaan yang teliti		6,00 - 7,5	6,00 - 7,5
3	Pandangan terus-menerus dengan fokus berubah-ubah	Memeriksa cacat-cacat pada kain		7,5 - 12,00	7,5 - 16,00
				12,00 - 19,00	16,00 - 30,00
4	Pandangan terus-menerus dengan fokus tetap	Pemeriksaan yang sangat teliti		19,00 - 30,00	
				30,00 - 50,00	







Sumber: Sutalaksana, Anggawisastra, & Tjakraatmadja (2006)

Tabel 2.2 Faktor kelonggaran (Lanjutan)

FAKTOR		CONTOH PEKERJAAN	KELONGGARAN (%)	
E.	Keadaan temperatur tempat kerja **)	Temperature (°C)	Kelemahan Normal	Berlebihan
1	Beku	Dibawah 0	diatas 10	diatas 12
2	Rendah	0 - 13	10 - 0,00	12 - 5,00
3	Sedang	13 - 22	5,00 - 0	8,00 - 0
4	Normal	22 - 28	0 - 5,00	0 - 8,00
5	Tinggi	28 - 38	5,00 - 40	8 - 100
6	Sangat Tinggi	diatas 38	diatas 40	diatas 100
F.	Keadaan atmosfer ***)			
1	Baik	Ruangan yang berventilasi baik, udara segar		0
2	Cukup	Ventilasi kurang baik, ada bau-bauan (tidak berbahaya)		0 - 5
3	Kurang baik	Adanya debu-debu beracun, atau tidak beracun tetapi banyak		5,00 - 10
4	Buruk	Adanya bau-bauan berbahaya yang mengharuskan menggunakan alat-alat pemapasan		10,00 - 20
G.	Keadaan lingkungan yang baik			
1	Bersih, sehat, cerah dengan kebisingan rendah			0
2	Siklus kerja berulang-ulang antara 5-10 detik			0 - 1
3	Siklus kerja berulang-ulang antara 0-5 detik			1 - 3
4	Sangat bising			0 - 5
5	Jika faktor-faktor yang berpengaruh dapat menurunkan kualitas			0 - 5
6	Terasa adanya getaran lantai			5 - 10
7	Keadaan-keadaan yang luar biasa (bunyi, kebersihan, dll)			5 - 15
*)	Kontras antara warna hendaknya diperhatikan			
**)	Tergantung juga pada keadaan ventilasi			
***)	Dipengaruhi juga oleh ketinggian tempat kerja dari permukaan laut dan keadaan iklim			
Catatan pelengkap: kelonggaran untuk kebutuhan probadi bagi pria= 0 - 2,5% : Wanita= 2 - 5,0%				

Sumber: Satalaksana, Anggawisastra, & Tjakraatmadja (2006)

Tabel 2.3 Uraian lambang peta kerja

No.	Lambang	Keterangan
1.	 OPERASI	Operasi merupakan lambang untuk benda kerja yang mengalami perubahan sifat (fisik ataupun kimiawi) maupun pemberian serta pengambilan informasi. Operasi biasanya terjadi pada sistem kerja atau suatu mesin.
2.	 PEMERIKSAAN	Pemeriksaan merupakan lambang yang digunakan ketika adanya pemeriksaan suatu objek atau kegiatan membandingkan objek dengan standar. Kegiatan pemeriksaan digunakan baik itu untuk pemeriksaan kuantitas ataupun kualitas.
3.	 TRANSPORTASI	Transportasi merupakan lambang untuk menandakan adanya perpindahan tempat baik itu dari benda kerja, pekerja maupun perlengkapan yang digunakan yang bukan bagian dari kegiatan operasi.
4.	 PENYIMPANAN	Lambang penyimpanan menunjukkan adanya proses penyimpanan benda kerja ke suatu tempat untuk jangka waktu yang lama (permanen). Prosedur perijinan diperlukan ketika benda kerja akan diambil.
5.	 MENUNGGU	Menunggu merupakan lambang yang menyatakan adanya kegiatan menunggu dari benda kerja, pekerja maupun perlengkapan dimana tidak terjadi kegiatan apapun. Kegiatan menunggu menunjukkan bahwa objek ditinggalkan untuk sementara waktu sampai diperlukan kembali.
6.	 AKTIVITAS GABUNGAN	Aktivitas gabungan merupakan lambang yang digunakan ketika adanya penggabungan aktivitas di satu tempat kerja antara kegiatan operasi serta kegiatan pemeriksaan.

Sumber: Astuti dan Iftadi (2016)

Peta-peta kerja setempat terdiri dari:

- Peta Manusia dan Mesin
- Peta Tangan Kiri dan Tangan Kanan
- Peta Proses Kelompok Kerja

2.3.2 Peta Proses Operasi

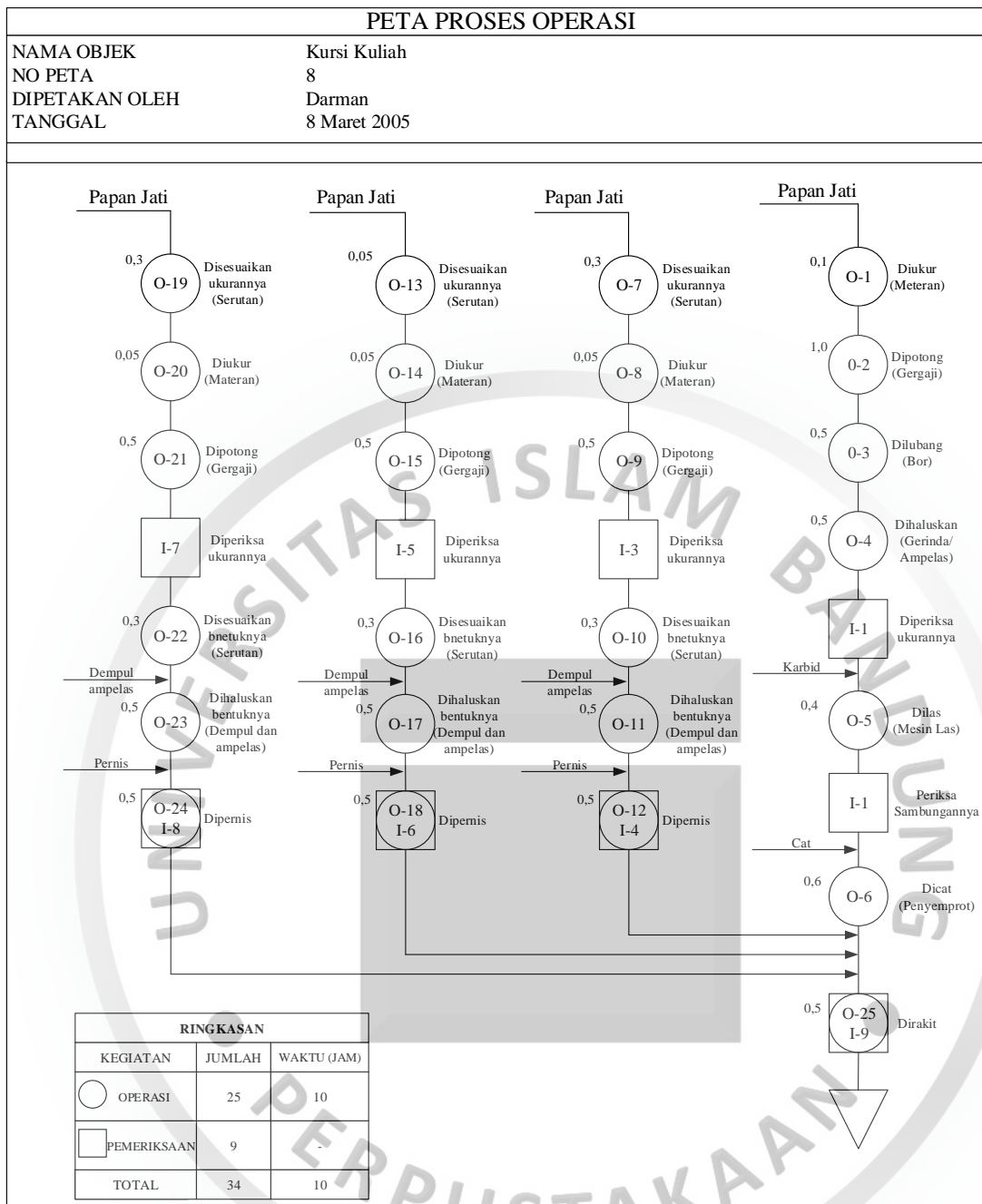
Peta proses operasi merupakan diagram yang memvisualisasikan dalam bentuk gambar mengenai langkah-langkah proses yang akan dialami bahan baku yang terdiri dari urutan-urutan proses dan pemeriksaan (Astuti dan Iftadi, 2016). Peta proses operasi digunakan untuk mengetahui kebutuhan mesin dan penganggarnya serta untuk memperkirakan bahan baku yang dibutuhkan. Menurut Sutalaksana, Anggawisastra dan Tjakraatmadja (2006), peta proses operasi mencatat kegiatan operasi serta pemeriksaan saja dan terkadang pada akhir proses terdapat kegiatan penyimpanan. Contoh peta proses operasi dapat dilihat pada Gambar 2.1.

Berdasarkan informasi yang disajikan pada peta proses operasi, maka manfaat yang didapatkan, yaitu:

- a. Mengetahui jumlah mesin yang dibutuhkan beserta anggarannya.
- b. Memperkirakan jumlah kebutuhan bahan baku dengan mempertimbangkan efisiensi tiap operasi.
- c. OPC menjadi alat dalam penentuan tata letak pabrik.
- d. OPC menjadi alat perbaikan cara kerja.
- e. OPC sebagai alat untuk melakukan latihan kerja.

Menurut Astuti dan Iftadi (2016), terdapat hal-hal yang perlu diperhatikan ketika akan menggambarkan peta proses operasi, yaitu:

1. Baris paling atas pada bagian “kepala” dituliskan dengan jelas jenis peta yang dibuat. Lalu selanjutnya isi identifikasi lain yang terdiri dari nama objek, nama pembuat peta, tanggal dipetakan, keterangan peta (peta keadaan sekarang atau usulan), nomor peta, dan nomor gambar.
2. Material yang akan diproses ditempatkan diatas garis horizontal.
3. Lambang peta ditempatkan pada arah vertikal (dari atas ke bawah, disesuaikan dengan urutan operasi).
4. Penomoran kegiatan operasi dilakukan secara berurutan.
5. Penomoran untuk kegiatan pemeriksaan tidak melanjutkan dari nomor kegiatan operasi (diberikan secara tersendiri) tetapi prinsipnya sama seperti kegiatan operasi.



Gambar 2.1 Peta proses operasi (Sutalaksana, Anggawisastra dan Tjakraatmadja, 2006)

2.4 Penjadwalan

Penjadwalan produksi merupakan perencanaan kapan pekerjaan-pekerjaan akan dimulai dan akan selesai, siapa yang akan melakukannya, dimana, dan permintaan yang mana. Rencana penjadwalan produksi diselesaikan dengan fungsi bongkar muat dan fungsi pengurutan di departemen produksi (Gupta dan Starr, 2014). Menurut Baker dan Trietsch (2019) penjadwalan dilakukan dengan tujuan untuk dapat meningkatkan konsumsi sumber daya, mengurangi produk *work in process* maupun jumlah pesanan yang antri dan mengurangi penundaan dalam melaksanakan pekerjaan

yang batas waktu penyelesaiannya diperkirakan. Penjadwalan produksi selalu menjadi permasalahan sistem karena pekerjaan, orang dan tim bersaing satu sama lain untuk fasilitas terbaik (Gupta dan Starr, 2014). Menurut Heizer dan Render (2011), keputusan penjadwalan dimulai dengan perencanaan kapasitas yang terdiri dari total fasilitas dan ketersediaan peralatan.

2.4.1 Tujuan Penjadwalan

Terdapat 3 tujuan penjadwalan produksi menurut Hopp dan Spearman (2011), yaitu:

1. Memenuhi *Due Dates* (Tanggal jatuh tempo)

Tujuan dasar dari penjadwalan produksi adalah untuk memenuhi *due dates*. *Due dates* bisa berasal langsung dari pelanggan atau dari kebutuhan material untuk proses produksi yang lainnya. Beberapa ukuran yang dapat digunakan untuk mengukur *due dates* yaitu *service level*, *fill rate*, *lateness*, dan *tardiness*.

2. Memaksimalkan Utilitas (Pemanfaatan)

Pemanfaatan utilitas berarti sama saja dengan mengembalikan investasi selama peralatan digunakan untuk meningkatkan pendapatan. Tetapi berdasarkan hukum kapasitas, utilitas tidak mungkin mencapai 100%. Ukuran yang berkaitan erat dengan utilitas, yaitu *makespan* yang didefinisikan sebagai waktu dibutuhkan untuk menyelesaikan pekerjaan.

3. Mengurangi WIP dan Waktu Siklus

Little's Law menyatakan bahwa pengurangan waktu siklus dan WIP adalah setara, asalkan *throughput* tetap konstan. Reduksi variabilitas umumnya merupakan komponen penting dari WIP dan program pengurangan waktu siklus.

2.4.2 Kriteria dalam Penjadwalan Produksi

Variabel ukur performansi yang telah dikembangkan dalam penjadwalan diantaranya sebagai berikut (Baker dan Trietsch, 2019):

1. *Processing time* (p_j), merupakan jumlah pemrosesan yang dibutuhkan oleh pekerjaan j .
2. *Due Date* (d_j), merupakan waktu dimana proses pekerjaan j akan selesai.
3. *Completion time* (C_j), merupakan waktu dimana proses pekerjaan j selesai.

$$C_{max} = \max \{C_j\}; 1 \leq j \leq n \dots\dots\dots(II.9)$$

$$C_j = \text{Completion time pekerjaan } j$$

$$C_{max} = \text{Completion time maksimum}$$

n = Jumlah pekerjaan

4. *Flowtime* (F_j), merupakan waktu yang diperlukan oleh pekerjaan j dalam sistem. *Flowtime* mengukur respon dari sistem terhadap permintaan serta mewakili interval pekerjaan yang menunggu (antara kedatangan dan keberangkatan).

Formulasi *flowtime* yaitu:

$$F_j = C_j - r_j \dots\dots\dots(II.10)$$

$$F_{max} = \max \{F_j\} ; 1 \leq j \leq n \dots\dots\dots(II.11)$$

Dengan:

F_j = *Flowtime* pekerjaan j

F_{max} = *Flowtime* maksimum

C_j = *Completion time* pekerjaan j

r_j = *Ready time* pekerjaan j

5. *Lateness* (L_j), merupakan jumlah waktu penyelesaian dari pekerjaan j yang melebihi *due date*. Kesesuaian penjadwalan dengan *due date* dapat diukur dengan *lateness*. Ketika proses dapat diselesaikan lebih awal dari *due date* maka dapat disebut *negative lateness*, sebaliknya ketika proses melebihi dari *due date* maka disebut *positive lateness*.

6. *Tardiness* (T_j) atau disebut juga *positive lateness* yaitu keterlambatan waktu penyelesaian pekerjaan j .

7. *Mean Tardiness*, merupakan rata-rata waktu keterlambatan dari pekerjaan.

8. *Waiting time* (W_j), merupakan waktu menunggu ketika suatu proses selesai dan memulai kembali proses selanjutnya dari pengerjaan pekerjaan j . Formulasi *Waiting time* yaitu:

$$W_j = C_j - r_j - \sum_{k=1}^m t_j \dots\dots\dots(II.12)$$

Dengan:

W_j = *Waiting time* pekerjaan j

C_j = *Completion time* pekerjaan j

r_j = *Ready time* pekerjaan j

$\sum_{k=1}^m t_j$ = Jumlah waktu proses yang diperlukan oleh pekerjaan j dari mesin ke k-1 sampai mesin ke-m.

9. *Number of Tardy Job*, merupakan jumlah dari *job*/pekerjaan yang mengalami keterlambatan.

10. *Makespan* merupakan keseluruhan waktu yang diperlukan dalam melakukan pekerjaan.

$$Makespan = C_{max} = F_{max} = \sum p_j \dots \dots \dots (II.13)$$

Dengan:

C_{max} = *Completion time* maksimum

F_{max} = *Flowtime* maksimum

$\sum p_j$ = Jumlah waktu proses pekerjaan j

11. *Idle time* merupakan waktu dimana mesin menganggur.

12. *Mean queue time* merupakan rata-rata waktu mengantrinya pekerjaan.

2.4.3 Kategori Teknik Penjadwalan Produksi

Menurut Heizer dan Render (2011), penjadwalan berkaitan dengan penetapan *due date* suatu *job* tetapi banyak pekerjaan yang bersaing untuk menggunakan sumber daya yang sama. Oleh karena itu untuk membantu kesulitan dalam penjadwalan, Heizer dan Render (2011) mengategorikan penjadwalan menjadi 2, yaitu:

1) Penjadwalan Maju (*Forward Scheduling*)

Penjadwalan maju dimulai segera setelah persyaratan dari pekerjaan (*job*) diketahui. Penjadwalan maju selalu dirancang untuk menciptakan penjadwalan yang dapat tercapai bahkan jika itu berarti tidak memenuhi *due date*. Penjadwalan maju menyebabkan penumpukan *work in process inventory*. Penjadwalan maju digunakan untuk rumah sakit, klinik, rumah makan, dan mesin serta alat manufaktur.

2) Penjadwalan Mundur (*Backward Scheduling*)

Penjadwalan mundur dimulai dari *due date*, menjadwalkan operasi terakhir terlebih dahulu. Tahapan-tahapan dari pekerjaan (*job*) kemudian dijadwalkan satu persatu dalam urutan terbalik. Penjadwalan mundur digunakan untuk lingkungan manufaktur, *catering* atau jadwal operasi.

2.4.4 Aturan Prioritas Pengurutan (*Priority Dispatching Rule*)

Penelitian terkait *Dispatching Rule* telah dilakukan dari beberapa dekade dan banyak aturan berbeda yang dipelajari di dalam literature (Pinedo, 2016). Menurut Hopp dan Spearman (2011), *Job Dispatching* mengembangkan aturan untuk menyusun antrian di depan stasiun kerja yang akan menjaga integritas *due date*, sambil menjaga utilitas mesin tinggi dan waktu produksi rendah. *Dispatching Rule* berguna

ketika mencoba untuk menemukan jadwal yang cukup baik berkaitan dengan tujuan seperti *makespan*, *total completion time* atau *maximum lateness* (Pinedo, 2016).

Aturan prioritas yang paling terkenal menurut Haizer dan Render (2011), yaitu:

1. *First Come First Serve* (FCFS)
Job pertama yang datang pada stasiun kerja akan diproses pertama.
2. *Shortest Processing Time* (SPT)
Job yang paling pendek akan ditangani pertama dan diselesaikan.
3. *Earliest Due Date* (EDD)
Job dengan *due date* paling awal akan dipilih pertama.
4. *Largest Processing Time* (LPT)
Semakin lama dan besar suatu *job* sering kali sangat penting dan dipilih terlebih dahulu.

2.4.5 Klasifikasi Permasalahan Penjadwalan Produksi

Menurut Gupta dan Starr (2014), permasalahan penjadwalan diklasifikasikan kedalam beberapa kriteria penting, yaitu:

1. Urutan Mesin
Permasalahan penjadwalan dapat diklasifikasikan sebagai *flow shop* dan *job shop* didasarkan atas urutan mesin yang dibutuhkan untuk memproses *job* (pekerjaan). *Flow shop* terdiri dari beberapa *job* dan beberapa mesin. Semua *job* memerlukan mesin-mesin yang sama untuk diproses. Sedangkan pada *job shop*, urutan mesin akan dicampur, oleh karena itu *job* mungkin memerlukan mesin pada urutan yang berbeda.
2. Jumlah Mesin
Permasalahan penjadwalan diklasifikasikan sebagai permasalahan satu mesin, permasalahan dua mesin dan permasalahan banyak (lebih dari 3) mesin.
3. Waktu Pemrosesan
Jika waktu proses untuk semua *job* adalah konstan, maka permasalahan penjadwalannya disebut permasalahan deterministik. Sedangkan permasalahan penjadwalan disebut probablistik atau stokastik yaitu ketika waktu proses setiap *job* tidak tetap, oleh karena itu waktu proses harus diwakili oleh distribusi probablistik.

4. Waktu Kedatangan *Job* (pekerjaan)

Berdasarkan permasalahan penjadwalan ini, dapat diklasifikasikan menjadi permasalahan statis dan dinamis. Kasus pada permasalahan statis yaitu jumlah *job* tetap dan tidak akan berubah sampai *job* saat ini selesai diproses. Sedangkan permasalahan dinamis yaitu *job* baru akan masuk ke sistem dan menjadi bagian dari *job* saat ini yang belum diproses.

2.5 Penjadwalan *Batch*

Menurut Kopanos dan Puigjaner (2019), karakteristik dari proses produksi *batch* yaitu komponen-komponen diselesaikan pada stasiun kerja terlebih dahulu sebelum dipindahkan ke stasiun kerja selanjutnya. Sedangkan karakteristik penjadwalan *batch* yaitu adanya pembagian pengerjaan *job* menjadi beberapa bagian yang disebut *batch*. Persoalan penjadwalan *batch* akan semakin rumit karena harus menentukan pembagian *job*, ukuran *batch* serta urutan pengerjaan *batch* (Sukoyo, dkk, 2010).

Menurut Baker dan Trietsch (2019), salah satu tujuan ketika melakukan penjadwalan *batch* dengan kedatangan dinamis yaitu meminimasi jumlah waktu penyelesaian (*Completion Time*). Pertimbangan yang dilakukan yaitu memulai *batch* ketika pekerjaan tiba dan ketika processor sedang menganggur (*idle*) atau ketika *batch* selesai dengan satu pekerjaan (*job*) menunggu (Baker dan Trietsch, 2019).

2.5.1 Tipe *Batch*

1. *Batch* proses

Batch proses merupakan kelompok pekerjaan yang diproses pada periode tertentu tanpa adanya gangguan dari kelompok produk lainnya. *Batch* proses dapat diklasifikasikan kembali menjadi *batch* serial atau *batch* paralel (Kan Wu, 2014).

2. *Batch* transfer

Batch transfer adalah sejumlah *part* yang terakumulasi sebelum dipindahkan ke stasiun kerja berikutnya (Hopp dan Spearman, 2011). *Batch* transfer sangat ditentukan pada unit proses ke mesin tujuan, sehingga ketika mesin memproses berbasis *lot* maka ukuran dari *batch* transfer adalah jumlah *lot* (Kan Wu, 2014). Ketika kuantitas *batch* proses sebanding dengan kuantitas *batch* transfer, maka setiap *part* baru akan dipindahkan ketika satu *batch* selesai diproses.

2.5.2 Penentuan Ukuran *Batch* Transfer

Membagi *batch* transfer tentu akan mengurangi *cycle time* serta mengurangi waktu tunggu *batch* tetapi akan berdampak pada lebih banyak *material handling* (Hopp dan Spearman, 2011). Selaras dengan pernyataan Muhammad, Nu'man dan Shofia (2019) bahwa ukuran *batch* transfer akan mempengaruhi jumlah transfer. Semakin kecil ukuran *batch* transfer akan meningkatkan jumlah perpindahan antar stasiun kerja. Selain itu ukuran *batch* transfer tentu akan mempengaruhi waktu tunggu. Ketika ukuran *batch* transfer semakin kecil, maka akan mengurangi waktu tunggu. Dengan demikian, waktu tunggu dan jumlah transfer ditentukan oleh ukuran *batch* transfer. Berdasarkan pernyataan tersebut, penentuan ukuran *batch* transfer dilakukan dengan kriteria minimasi total *cost* yang terdiri dari ongkos *material handling* (OMH) dan ongkos *work in process inventory* (O WIP).

2.5.2.1 Ongkos *Material Handling* (OMH)

Definisi *Material Handling* (MH) menurut Astuti dan Iftadi (2016) menyatakan bahwa MH merupakan aktivitas memindahkan material dari satu stasiun kerja menuju ke stasiun kerja lain. Kegiatan MH pada suatu industri biasanya menggunakan bantuan alat/mesin atau menggunakan tenaga manusia. *Manual material handling* merupakan kegiatan pemindahan material dengan bantuan pekerja yang terdiri dari kegiatan mengangkat, menurunkan, mendorong, menarik, menangkut, serta memindahkan barang.

Menurut Satalaksana, Anggawisastra dan Tjakraatmadja (2006), Ongkos *Material Handling* (OMH) merupakan ongkos yang dihasilkan ketika adanya aktivitas material antar mesin ataupun antar departemen dimana besarnya ongkos telah ditentukan. Rancangan MH sistem yaitu mempertimbangkan untuk meminimasi ongkos (Kay, 2012). Menurut Hopp dan Spearman (2011) lebih banyaknya *material handling* tentu akan berpengaruh pada biaya yang dikeluarkan. Total ongkos *material handling* (OMH) yang dipengaruhi *batch* transfer (Tsai dan Lu, 2018) diformulasikan sebagai berikut:

$$OHM = \sum_{i=1}^n u_{ij} b_i \dots \dots \dots (II.36)$$

Dengan:

u_{ij} = Jumlah jam mesin yang diperlukan untuk memindahkan satu *batch* produk i dalam aktivitas j

b_i = Jumlah *batch* untuk *material handling* produk i

2.5.2.2 Ongkos *Work in Process Inventory* (O WIP)

Proses produksi yang menghasilkan produk yang dapat dirakit disebut dengan proses produksi diskrit (Subagyo, Nur dan Bastian, 2018). Proses produksi diskrit memungkinkan adanya waktu mulai dan berhenti berbeda yang sesuai dengan jadwal produksinya dengan perbedaan laju produksi. Produk akhir yang dihasilkan dapat berupa produk gabungan dari *part-part* yang dihasilkan dari proses produksi sebelumnya. *Work in process* (persediaan antar proses) kemungkinan akan ditemukan pada proses produksi diskrit. *Work in process* (WIP) adalah salah satu *inventory* yang sudah memiliki nilai tambah, tetapi masih memerlukan proses tambahan untuk dapat memenuhi permintaan dari pelanggan. Menerapkan *batch* transfer dapat meminimasi tingkat *Work in process* (WIP) *inventory* (Chapman, 2008). Selain itu, WIP *inventory* dapat diperkecil juga dengan aturan penjadwalan *Sort Processing Time* (SPT) (Berry, 2007).

Ongkos WIP *inventory* berkaitan dengan pendapatan dari *throughput*. Ongkos WIP *inventory* bisa menjadi signifikan dikarenakan ongkos *inventory* dan karena adanya pengaruh dari *lead time* produksi (Hillier, 2013). Persentase biaya penyimpanan dari rata-rata investasi dalam persediaan yaitu berkisar antara 10% sampai dengan 35% (Carter, 2009). Menurut Muhammad, Nu'man dan Shofia (2019) ongkos WIP *inventory* dapat ditentukan dengan mengetahui ongkos *inventory* untuk setiap unit, total jumlah unit, serta periode waktu WIP yang dilewati oleh satu *batch*. Ongkos WIP *inventory* dapat dipengaruhi oleh waktu tunggu, sedangkan waktu tunggu ditentukan oleh ukuran *batch* transfer (Muhammad, Nu'man dan Shofia, 2019).

Menurut Presetyaningsih, dkk. (2014), semakin besar ukuran *batch* maka akan semakin lama *flowtime* aktual dari komponen yang di proses dalam *batch*. Komponen pertama yang tiba dalam *batch* ke mesin *idle* tidak harus menunggu sama sekali, sedangkan potongan terakhir dalam *batch* harus menunggu k-1 potong lainnya selesai diproses (Hopp dan Spearman, 2011). Ongkos WIP *inventory* diformulasikan sebagai berikut (Muhammad, Nu'man dan Shofia, 2019):

$$F_{i,j} = Q_{i,j} \times t_i + S_i + \max[F_{(i-1),j}; F_{i,(j-1)}] \dots \dots \dots (II.15)$$

$$W_{i,j} = F_{i,j} - t_i \dots \dots \dots (II.16)$$

$$W_i = \sum_{j=1}^j Q_{i,j} \times W_{i,j} \dots \dots \dots (II.17)$$

$$W_T = \sum_{i=1}^I W_i \dots \dots \dots (II.18)$$

$$C_{WIP} = W_T \times H \dots \dots \dots (II.19)$$

Dengan:

- Q = Ukuran *batch* produksi
- J = Jumlah *batch*, $j \in J$; $J=1,2,3, \dots, Q$
- I = Jumlah *stage*, $i \in I$
- m = Nomor mesin; $m= 1,2,3, \dots I$
- S_i = Waktu *Setup* dari *stage* i (menit/*batch*)
- t_i = Waktu proses dari *stage* i (menit/unit)
- $Q_{i,j}$ = Ukuran *batch* transfer untuk *batch* j *stage* i (unit)
- $F_{i,j}$ = *Flowtime* dari *batch* j *stage* i (menit/unit)
- $W_{i,j}$ = Waktu tunggu untuk setiap unit dalam *batch* j *stage* i (menit/unit)
- W_i = Waktu tunggu dari *stage* i (menit/*batch*)
- W_T = Total Waktu tunggu (Menit)
- C_{WIP} = *Ongkos Work In Process Inventory* (Rupiah)
- H = *Ongkos simpan* (Rupiah)

Sedangkan menurut Nurainun (2012), total biaya produksi pada model penjadwalan *batch* yang melakukan produksi *flow shop* dinamis dengan *multi item* dan memiliki *due date* yang bersamaan dapat ditentukan dengan formulasi sebagai berikut:

$$TC = (N \cdot \sum_{m=1}^M s_m \cdot C_{1,m}) + \sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^N r_{i,g} [(F_{i,m} - B_{i,1}) \times Q_i \times C_{2,g}] + \sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^N r_{i,g} [(d - F_{i,m}) \times Q_i \times C_{3,g}] \dots \dots \dots (II.20)$$

Pembatas:

$$B_{1,1} = s_1 \dots \dots \dots (II.21)$$

$$F_{1,1} = B_{1,1} + \sum_{g=1}^G r_{1,g} (t_{g,1} \times Q_1) \dots \dots \dots (II.22)$$

$$B_{i,1} = F_{i-1,1} + s_1 \quad ; \quad i=2, \dots, N \dots \dots \dots (II.23)$$

$$F_{i,1} = B_{i,1} + \sum_{g=1}^G r_{1,g} (t_{g,1} \times Q_i) \quad ; \quad j=2, \dots, N \dots \dots \dots (II.24)$$

$$B_{1,m} = F_{1,m-1} \quad ; \quad m=2, \dots, M \dots \dots \dots (II.25)$$

$$F_{1,m} = B_{1,m} + \sum_{g=1}^G r_{1,g} (t_{g,m} \times Q_1) \quad ; \quad m=2, \dots, M \dots \dots \dots (II.26)$$

$$B_{i,m} = \max(F_{i,m-1}; F_{i-1,m} + s_m) \quad ; \quad i=2, \dots, N; m=2, \dots, M \dots \dots \dots (II.27)$$

$$F_{i,m} = B_{i,m} + \sum_{g=1}^G r_{i,g} (t_{g,m} \times Q_i) \quad ; \quad i=2, \dots, N; m=2, \dots, M \dots \dots \dots (II.28)$$

$$F_{N,M} \leq d \dots \dots \dots (II.29)$$

$$r_{i,g} \in \{0,1\} \quad ; \quad i=1, \dots, N; g=1, \dots, G \dots \dots \dots (II.30)$$

$$\sum_{g=1}^G r_{i,g} = 1 \quad ; \quad i=1, \dots, N \dots \dots \dots (II.31)$$

$$\sum_{g=1}^G r_{i,g} \times Q_i = n_g \quad ; \quad i=1, \dots, N \dots \dots \dots (II.32)$$

$$N \geq G \dots\dots\dots (II.33)$$

$$Q_i \geq 1, \text{ integer} \dots\dots\dots (II.34)$$

Parameter dan variabel keputusan yang digunakan yaitu sebagai berikut:

a. Parameter

- d = Batas waktu seluruh *batch* harus diserahkan
- $t_{g,m}$ = Waktu proses dari *item* jenis g di mesin m
- s_m = Waktu *Setup* dari mesin m
- M = Jumlah mesin (jumlah dari tahapan proses)
- G = Jumlah dari jenis *item*
- n_g = Jumlah permintaan *item* jenis g
- $C_{1,m}$ = Ongkos *setup* pada Mesin m per satuan waktu
- $C_{2,g}$ = Ongkos simpan *item* jenis g yang sedang dikerjakan (*work in process*)
- $C_{3,g}$ = Ongkos simpan produk jadi dari *item* jenis g

b. Variabel Keputusan

- $B_{i,m}$ = Saat mulai pengerjaan *batch* urutan ke- i pada mesin m
- $F_{i,m}$ = Saat selesai pengerjaan *batch* urutan ke- i pada mesin m
- Q_i = Ukuran *batch* yang diproses pada posisi ke- i
- N = Jumlah *batch*
- $r_{i,g}$ = Variabel biner untuk menyatakan jenis *item* yang dimuat pada *batch* ukuran ke- i
- TC = Total biaya produksi

2.6 Pengurutan Order Berdasarkan *Dispatcing Rule* dan Modifikasi *Operation Overlapping (Transfer Batches)*

Pengurutan *order* berdasarkan aturan *dispatcing rule* EDD dan SPT dilakukan pada penelitian yang dilakukan oleh Aisyati, Yuniartristanto dan Septiani (2007). Langkah-langkah yang dilakukan yaitu:

1. Melakukan perekapan data *order* dengan memisahkan item produk berdasarkan dengan jenis produknya.
2. Jika *order* melebihi satu maka dapat dilanjutkan ke langkah 3. Sedangkan jika tidak melebihi satu, maka menuju langkah 4.
3. Lakukan pengurutan *order* berdasarkan aturan prioritas EDD. Sedangkan ketika terdapat *order* dengan *due date* yang sama maka pemilihan *order* berdasarkan

aturan prioritas SPT. Ketika masih ada *order* dengan nilai proses yang sama, maka pilih nomor *order* paling atas.

4. Set $i=1$, dimana i merupakan *order* terpilih ($i=1,2,3,\dots,N$).

Penelitian yang dilakukan oleh Mahsanah (2008) tentang modifikasi *operation overlapping (transfer batches)* untuk menurunkan *lead time* manufaktur, membutuhkan data berupa data *order* dan data waktu proses. Urutan proses yang dilakukan yaitu:

1. Menentukan waktu proses/unit.
2. Menentukan ukuran *batch*.
3. Penjadwalan produksi dengan FCFS pendekatan maju, EDD pendekatan maju, dan EDD pendekatan mundur.

