

II. TINJAUAN PUSTAKA

1. STUDI PENGUKURAN DAN PENETAPAN WAKTU KERJA

Pengukuran waktu kerja adalah pekerjaan mengamati dan mencatat waktu-waktu kerja baik setiap elemen ataupun siklus dengan menggunakan alat-alat yang disiapkan.

Tujuan pengukuran waktu kerja adalah untuk mendapatkan waktu baku penyelesaian pekerjaan yaitu waktu yang dibutuhkan secara wajar oleh seorang pekerja normal untuk menyelesaikan pekerjaan yang dijalankan dengan sistem kerja yang terbaik. Kegunaan waktu baku yaitu :

- Perencanaan kebutuhan kerja.
- Perkiraan biaya-biaya untuk upah karyawan.
- Perencanaan sistem penjadwalan produksi dan penganggaran.
- Pemberian bonus dan insentif.
- Menunjukkan keluaran (*output*) yang mampu dihasilkan oleh seorang pekerja.

Waktu baku dapat diperoleh dari langkah-langkah berikut ini :

1. Melakukan pengukuran waktu kerja dengan jam henti (lihat di bagian 1.1).

2. Melakukan uji kenormalan data, uji keseragaman data, dan uji kecukupan data. Uji–uji ini dilakukan agar data yang diperoleh (sampel) dapat mewakili populasi yang diteliti (lihat di bagian 1.3, 1.3, dan 1.4).
3. Menentukan *performance rating* agar waktu kerja yang diperoleh dari hasil pengukuran dapat dilakukan oleh operator yang bekerja dengan kecepatan normal atau operator pada umumnya (lihat di bagian 1.5),
4. Menentukan besarnya *allowances* (kelonggaran waktu) karena dalam kenyataannya tidak mungkin seorang operator dalam melakukan pekerjaannya tidak mendapat interupsi sama sekali. Besarnya waktu yang dibutuhkan dan yang dapat menginterupsi pekerjaan operator disebut *allowances* (lihat di bagian 1.6).
5. Menghitung waktu baku (lihat di bagian 1.7).

1.1 Pengukuran Waktu Kerja Dengan Jam Henti

Teknik pengukuran kerja dibagi menjadi dua yaitu pengukuran kerja langsung dan tak langsung. Pengukuran kerja langsung adalah pengukuran yang dilakukan dimana pekerjaan yang diukur dijalankan. Pengukuran ini dapat dilakukan dengan jam henti dan *sampling* pekerjaan. Pengukuran

kerja tak langsung adalah penghitungan waktu kerja tanpa pengamat harus di tempat pekerjaan yang diukur. Penghitungan ini dapat diambil dari data waktu baku dan data waktu gerakan.

Tiga metode yang umum digunakan untuk mengukur elemen-elemen kerja dengan menggunakan jam henti (*stop watch*) yaitu pengukuran waktu secara terus menerus (*continuous timing*), pengukuran waktu secara berulang-ulang (*repetitive timing*), dan pengukuran waktu secara penjumlahan (*accumulative timing*).

Langkah-langkah untuk pelaksanaan pengukuran waktu kerja dengan jam henti ini yaitu :

1. Mendefinisikan pekerjaan yang diteliti untuk diukur waktunya dan menentukan operator mana yang dipilih untuk diamati.
2. Mencatat semua informasi yang berkaitan erat dengan penyelesaian pekerjaan seperti jumlah mesin atau peralatan kerja dan lain-lain.
3. Mengamati, mengukur dan mencatat waktu yang dibutuhkan oleh operator untuk menyelesaikan pekerjaan tersebut.

1.2 Uji Kenormalan Data

Hipotesa yang dipakai untuk uji kenormalan data adalah :

H_0 : Data berdistribusi normal

H_1 : Data tidak berdistribusi normal

Cara untuk mengambil kesimpulan adalah apabila nilai *P-value* lebih besar dari nilai α (uji Kolmogorov–Smirnov), maka hipotesa tentang data berdistribusi normal akan diterima (gagal tolak H_0). Selain cara di atas, kesimpulan dapat diambil dengan melihat nilai D_n yang apabila nilai D_n lebih kecil dari D_α maka gagal tolak H_0 . Nilai D_α didapatkan dari Kolmogorov–Smirnov *critical values* yang dapat dilihat pada tabel 2.1 pada lampiran. Sedangkan nilai D_n didapatkan dari rumus :

$$D_n = \max \{ D_n^-, D_n^+ \}$$

1.3 Uji Keseragaman Data

Uji keseragaman data dapat dilakukan secara visual atau menggunakan peta kontrol. Peta kontrol adalah suatu alat yang tepat guna dalam melakukan uji keseragaman data dan peta kontrol ini dibuat dengan bantuan *software* minitab. Uji keseragaman data ini dilakukan agar tidak ada data yang terlalu besar atau terlalu kecil dan jauh menyimpang dari

nilai *trend* rata-rata tanya (tidak ada data yang "ekstrem"). Data ekstrem ini tidak menggambarkan waktu yang diperlukan oleh operator pada umumnya untuk menyelesaikan pekerjaannya. Data ekstrem yang muncul dapat disebabkan oleh kesalahan pengamat pada saat membaca *stop watch*, kekeliruan penulisan atau saat pengukuran dilaksanakan pada kondisi kerja yang tidak wajar sehingga mengakibatkan data waktu yang terukur menjadi terlalu besar atau terlalu kecil. Nilai estimasi yang dipakai dalam batas kontrol atas dan batas kontrol bawah adalah 2. Batas kontrol atas dan batas kontrol bawah dapat dicari dengan formulasi :

$$BKA = \bar{x} + 2 SD \text{ dan } BKB = \bar{x} - 2 SD$$

dimana : \bar{x} = *Mean* dari *group*

SD= Standar deviasi

1.4 Uji Kecukupan Data

Uji kecukupan data ini dilakukan dengan mencari banyaknya data yang diperlukan sesuai dengan ketelitian yang diinginkan. Uji kecukupan data ini perlu dilakukan untuk mengetahui apakah sampel data yang diambil sudah mencukupi untuk mewakili data populasi.

Rumus yang digunakan dalam uji kecukupan data ini adalah:

$$N' = \left(\frac{k/s \sqrt{N(\sum X_i^2) - (\sum X_i)^2}}{\sum X_i} \right)^2$$

dimana : s = Tingkat ketelitian (%)

k = Nilai tingkat kepercayaan dari distribusi normal

X_i = Data pengamatan

N = Jumlah pengamatan/pengukuran yang telah dilaksanakan

N' = Banyaknya data yang diperlukan untuk tingkat ketelitian dan kepercayaan yang diinginkan

1.5 Performance Rating

Performance rating adalah teknik untuk menyetarakan penentuan waktu yang diperlukan untuk melakukan pekerjaan oleh operator yang bekerja normal setelah waktu kerja diperoleh dari pengukuran. Operator yang bekerja normal adalah operator yang bekerja dengan kecepatan normal, suatu saat tidak terlalu cepat dan di saat lain tidak terlalu lambat.

Metode yang digunakan adalah metode Westinghouse. Metode ini mempertimbangkan empat faktor dalam mengevaluasi *performance*

(kinerja) operator, yaitu keterampilan (*skill*), usaha (*effort*), kondisi (*condition*), dan konsistensi (*consistency*).

1.6 Allowances

Allowances adalah besarnya waktu yang dibutuhkan dan yang dapat menginterupsi pekerjaan operator. *Allowances* ini muncul karena pada kenyataannya tidak mungkin seorang operator yang meskipun dalam menyelesaikan pekerjaannya dengan kecepatan atau tempo kerja yang normal tidak akan mendapat interupsi sama sekali. Kelonggaran (*allowances*) pada umumnya meliputi tiga hal, yaitu :

1. Istirahat untuk kebutuhan perorangan
2. Kelelahan (*Fatigue*)
3. Keterlambatan yang tidak terhindarkan (*Unavoidable Delay*)

Cara pengukuran kelonggaran dapat dilaksanakan dengan pengamatan secara langsung dan segera dicatat waktu menganggunya atau dapat juga dengan menggunakan metode sampling.

1.7 Menghitung Waktu Baku

A. Waktu Siklus

Waktu siklus adalah data jumlah hasil waktu pengamatan (Σx_i) yang diperoleh dibagi dengan banyaknya pengamatan (N) yang telah dilaksanakan.

$$W_s = \frac{\Sigma x_i}{N}$$

dimana: W_s = Waktu siklus

Σx_i = Data jumlah waktu pengamatan

N = Banyaknya pengamatan

B. Waktu Normal

Waktu normal adalah waktu kerja yang dibutuhkan oleh operator secara wajar yaitu bekerja dalam tempo atau kecepatan yang semestinya, yang artinya pekerjaan tersebut diselesaikan tidak terlalu cepat dan di saat lainnya tidak terlalu lambat. Cara untuk menormalkan waktu kerja yang diperoleh dari hasil pengamatan yaitu dengan menyesuaikan waktu siklus dengan *performance rating*.

$$W_n = W_s \cdot P$$

dimana : W_n = Waktu normal

$P = \text{Performance rating}$

C. Waktu Baku / Waktu Standar

Waktu baku adalah waktu yang dibutuhkan secara wajar oleh seorang pekerja normal untuk menyelesaikan pekerjaan yang dijalankan dengan sistem kerja terbaik yang memperhatikan faktor-faktor berkaitan dengan kelonggaran waktu (*allowances time*).

$$W_b = W_n \times \frac{100\%}{100\% - \% \text{ Allowance}}$$

dimana : $W_b = \text{Waktubaku}$

2. PERAMALAN

Peramalan adalah tindakan untuk mengetahui besar permintaan di masa mendatang, bersifat pasti tidak pasti, sehingga dapat ditentukan strategi atau kebijakan-kebijakan penjadwalan apa dan bagaimana yang harus dilakukan. Ada dua metode peramalan, yaitu metode peramalan kuantitatif dan metode peramalan kualitatif. Metode peramalan kuantitatif ada dua macam, yaitu metode *univariate* dan *causal*. Metode peramalan yang digunakan oleh penulis adalah metode peramalan kuantitatif *univariate*, yaitu peramalan untuk memprediksi masa mendatang hanya

berdasarkan semata-mata pada data masa lalu. Asumsi utama yang digunakan adalah bahwa pola data masa lalu akan berlanjut di masa mendatang. Model ini tidak dapat dipakai jika terjadi perubahan situasi dan kondisi sehingga asumsi tersebut tidak berlaku.

Beberapa jenis peramalan kuantitatif yang sering dipakai adalah:

1. *Moving Average*

Digunakan untuk data yang mengandung *seasonal* dan jumlah data sedikit.

2. *Single Exponential Smoothing*

Digunakan untuk data yang sedikit dan konstan, hanya mengandung komponen acak.

3. *Double Exponential Smoothing*

Digunakan untuk data dengan *trend* yang konstan.

4. *Holt Winter*

Digunakan untuk data yang mengandung komponen *trend* dan acak dalam jumlah besar.

5. *Moving Average with Index Seasonal*

Digunakan untuk data yang mengandung *seasonal* dengan

menghitung *index seasonal*nya.

6. *Multiplicative Winter and Multiplicative Decomposition*

Digunakan untuk data yang mempunyai komponen *trend*, *seasonal*, dan acak dalam jumlah besar. Hanya saja metode perhitungannya sedikit berbeda.

3. MODEL PERENCANAAN PRODUKSI AGREGAT (ELSAYED A. ELSAYED, 1985)

Model perencanaan produksi agregat bertujuan untuk menentukan tingkat produksi dan tingkat tenaga kerja untuk meminimumkan biaya operasional pada tiap periode produksi.

Tujuan perencanaan produksi agregat adalah penggunaan atau pemanfaatan secara optimal dari semua sumber daya yang tersedia. Kata agregat dimaksudkan bahwa perencanaan dilakukan dengan memperhatikan nilai keseluruhan atau kelompok besar yang merupakan total dari nilai-nilai elemen yang ada.

Untuk melakukan perencanaan produksi agregat, perlu dilakukan pengelompokkan produk-produk dimana selanjutnya nilai kelompok tersebut yang akan digunakan dalam perencanaan, selanjutnya harus

ditentukan juga jumlah pekerja yang dibutuhkan untuk **produksi** 1 unit produk agregat tersebut.

Perencanaan yang meliputi perencanaan tenaga kerja, jumlah kerja, dan sebagainya, diharapkan dapat mengantisipasi fluktuasi permintaan, serta mengoptimalkan biaya total yang meliputi: biaya persediaan, biaya produksi, termasuk biaya kehilangan atau kekurangan. Pada model ini diasumsikan bahwa jam kerja *overtime* tidak digunakan secara penuh, jadi mesin menyesuaikan dengan jam kerja tenaga manual.

Variabel-variabel keputusan:

I_t = tingkat persediaan pada periode t

S_t = jumlah *backorder* pada periode t

Lr_t = jumlah waktu *regular* yang digunakan pada periode t

Lo_t = jumlah *over-time* yang digunakan pada periode t

Lu_t = jumlah *under-time* yang digunakan pada periode t

I_t^+ = jumlah penambahan tenaga kerja pada periode t

I_t^- = jumlah pengurangan tenaga kerja pada periode t

P_t = tingkat produksi pada periode t

Parameter-parameter yang digunakan:

N = jumlah periode perencanaan

$C_{r,t}$ = biaya jam kerja *regular* pada periode t

$C_{o,t}$ = biaya jam kerja over-time pada periode t

h_t = biaya penyimpanan pada periode t

π_t = biaya shortage/kekurangan pada periode t

Cl_t = biaya penambahan tenaga kerja pada periode t

$C'l_t$ = biaya pengurangan tenaga kerja pada **periode** t

m = jumlah jam pekerja yang dibutuhkan untuk memproduksi
sebuah produk

D_t = permintaan pada periode t

Tujuan:

Meminimumkan total biaya produksi selama periode perencanaan yang

meliputi:

-biaya produksi jam kerja regular dari periode 1 sampai N

$$= \sum_{t=1}^N C_{r,t} \cdot Lr_t \cdot (1+i)^{1-t}$$

-biaya produksi jam kerja lembur dari periode 1 sampai N

$$= \sum_{t=1}^N C_{o,t} \cdot L_{o,t} \cdot (1+i)^{1-t}$$

-biaya penyimpanan/persediaan dari periode 1 sampai N

$$= \sum_{t=1}^N h_t \cdot I_t \cdot (1+i)^{1-t}$$

-biaya kekurangan (*shortage cost*) dari periode 1 sampai N

$$= \sum_{t=1}^N \pi_t \cdot S_t \cdot (1+i)^{1-t}$$

-biaya penambahan tenaga kerja dari periode 1 sampai N

$$= \sum_{t=1}^N C l_t \cdot l_t^+ \cdot (1+i)^{1-t}$$

-biaya pengurangan tenaga kerja dari periode 1 sampai N

$$= \sum_{t=1}^N C' l_t \cdot l_t^- \cdot (1+i)^{1-t}$$

Dengan memperhatikan kendala-kendala sebagai berikut:

a. keseimbangan tingkat persediaan pada setiap periode t

$$I_t = I_{t-1} + P_t - D_t \quad \forall t$$

b. keseimbangan tingkat tenaga kerja pada periode t

$$L t_t = L t_{t-1} + l_t^+ - l_t^- \quad \forall t$$

- c. keseimbangan antara jumlah *over-lime* dengan tingkat produksi dan tingkat tenaga kerja untuk masing-masing periode t

$$Lo_t - Lu_t = m P_t - Lr_t \quad \forall_t$$

Formasi model perencanaan produksi agregat:

Minimisasi: $\underline{P}, \underline{I}, \underline{S}, \underline{Lr}, \underline{l}^+, \underline{l}^-, \underline{Lo}, \underline{Lu}$

$$TC = \sum_{t=1}^N \{ C_{r,t} \cdot Lr_t + C_{o,t} \cdot Lo_t + h_t \cdot I_t + \pi_t \cdot S_t + C_l^+ \cdot l_t^+ + C_l^- \cdot l_t^- \}$$

Kendala:

$$P_t - I_{t-1} + I_t = D_t \quad \forall_t \quad (1)$$

$$Lr_t = Lr_{t-1} + l_t^+ - l_t^- \quad \forall_t \quad (2)$$

$$Lo_t - Lu_t = m P_t - Lr_t \quad \forall_t \quad (3)$$

$$P_t, I_t, S_t, Lr_t, l_t^+, l_t^-, Lo_t, Lu_t \geq 0$$

$$(t = 1, 2, 3, \dots, N)$$

4. MODEL PERENCANAAN KEBUTUHAN MESIN (ALI R. BEHNEZHAD & BEHROKH KHOSHNEVIS, 1996)

Model perencanaan kebutuhan mesin digunakan untuk menentukan jumlah mesin atau peralatan kerja sesuai dengan jumlah permintaan pada

periode yang direncanakan. Di mana model ini bertujuan untuk mengantisipasi adanya permintaan yang berfluktuasi dengan biaya minimum. Di mana pada model ini diasumsikan bahwa *over-time* digunakan secara penuh, jadi tenaga kerja menyesuaikan jam kerja mesin.

Variabel-variabel keputusan:

M_t = jumlah mesin yang dioperasikan pada periode t

P_t = tingkat produksi pada periode t

M_t^o = jumlah mesin yang dioperasikan selama *over-time* pada periode t

Parameter-parameter yang digunakan:

N = jumlah periode perencanaan

h_t = jumlah *regular-time* dalam tiap-tiap periode produksi
(jam/periode)

h_o = jumlah maksimum *over-time* dalam tiaptiap periode produksi
(jam/periode)

$C_{p,t}$ = biaya pengadaan mesin pada awal periode t

$C_{d,t}$ = nilai sisa dari mesin pada awal periode t

$C_{r,t}$ = biaya operasi dan perawatan sebuah mesin selama

regular-time pada periode t

$C_{o,t}$ = biaya operasi dan perawatan mesin selama *overtime* pada periode t

C_i = biaya penyimpanan per unit per periode

C_s = biaya *shortage* per unit per periode

I_t = tingkat persediaan pada akhir periode t (bisa + ataupun -)

D_t = permintaan akan produk pada periode t

Rr_t = *output* mesin berupa produk yang baik per periode *regular-time*

Ro_t = *output* mesin berupa produk yang baik per **periode over-time**

■ = tingkat suku bunga per periode (MARR)

Tujuan :

Meminimumkan total biaya yang menunjukkan nilai sekarang dari semua

biaya mesin selama periode perencanaan produksi, yang meliputi:

-biaya pengadaan mesin dari periode 1 sampai periode N

$$= \sum_{t=1}^N C_{p,t} \cdot (M_t - M_{t-1})^+ (1+i)^{1-t}$$

-biaya pengurangan mesin yang merupakan nilai sisa dari mesin itu sendiri

dari periode 1 sampai periode N

$$= \sum_{t=1}^N C_{d,t} \cdot (M_t - M_{t-1}) \cdot (1+i)^{1-t}$$

-biaya operasi dan perawatan sebuah mesin dari periode 1 sampai periode N

$$= \sum_{t=1}^N C_{r,t} \cdot (P_t/R - (h_o/h_t) \cdot M_t^o) \cdot (1+i)^{1-t}$$

-biaya operasi dan perawatan sebuah mesin selama *over-time* dari periode 1

sampai periode N

$$= \sum_{t=1}^N C_{o,t} \cdot M_t^o \cdot (1+i)^{1-t}$$

-biaya penyimpanan dari periode 1 sampai periode N

$$= \sum_{t=1}^N C_i \cdot I_t^+ \cdot (1+i)^{1-t}$$

-biaya *shortage* dari periode 1 sampai periode N

$$= \sum_{t=1}^N C_s \cdot I_t^- \cdot (1+i)^{1-t}$$

-nilai **sisa** mesin pada periode ke N

$$= C_{d,N} M_N \cdot (1+i)^{-N}$$

Dengan memperhatikan kendala-kendala:

- a. tingkat persediaan yang seimbang pada periode t

$$I_t = I_{t-1} + P_t - D_t \quad \forall_t$$

- b. kapasitas produksi dengan memperhatikan jumlah maksimum mesin

yang tersedia pada tiaptiap periode

$$\frac{P_t}{R} \leq M_t + \frac{H_o}{H_t} M_t^o \quad \forall_t$$

- c. jumlah mesin maksimum yang dioperasikan pada waktu *over-finre*

pada tiaptiap periode

$$M_t^o \leq M_t \quad \forall_t$$

Formulasi model perencanaan kebutuhan mesin:

Minimasi : M, P, M^o

$$\begin{aligned} TC = \sum_{t=1}^N [C_{p,t} (M_t - M_{t-1})^+ - C_{d,t} (M_t - M_{t-1})^- + C_{r,t} (\frac{P_t}{R} - \frac{h_o}{h_t} M_t^o) \\ + C_{o,t} M_t^o + C_i I_t^+ + C_s I_t^-] (1+i)^{t-1} \} - C_{d,N} M_N (1+i)^{-N} \end{aligned}$$

Kendala:

$$I_t = I_{t-1} + P_t - D_t \quad \forall_t \quad (1)$$

$$\frac{P_t}{R} \leq M_t + \frac{H_o}{H_t} M_t^o \quad \forall_t \quad (2)$$

$$M_t^o \leq M_t \quad \forall_t \quad (3)$$

$$P_t, M_t, M_t^o \geq 0 \quad \forall_t$$

$$(t = 1, 2, 3, \dots, N)$$

Model kebutuhan mesin ini adalah *non-linier* oleh karena terdapat tanda positif dan negatif pada fungsi obyektif. Model tersebut dapat ditransformasikan ke dalam bentuk *linier* dengan cara mengganti bagian-bagian *non-linier* dengan variabel-variabel X_t, X_t' , sebagai berikut :

$$(M_t - M_{t-1})^+ \text{ diganti dengan } X_t$$

$$(M_t - M_{t-1})^- \text{ diganti dengan } X_t'$$

Sehingga formulasi model perencanaan kebutuhan mesinnya adalah sebagai berikut:

Minimasi : $\underline{M}, \underline{P}, \underline{M}^0$

$$\begin{aligned} TC = \sum_{t=1}^N \{ & [C_{p,t} \cdot X_t - C_{d,t} \cdot X_t' + C_{r,t} \cdot (P_t/R - (h_o/h_t) \cdot M_t^0) \\ & + C_{o,t} \cdot M_t^0 + C_i \cdot I_t^+ + C_s \cdot I_t^-] (1+i)^{t-1} \} - C_{d,N} M_N (1+i)^{-N} \end{aligned}$$

Kendala:

$$I_t = I_{t-1} + P_t - D_t \quad \forall t \quad (1)$$

$$\frac{P_t}{R} \leq M_t + \frac{H_o}{H_t} M_t^0 \quad \forall t \quad (2)$$

$$M_t^0 \leq M_t \quad \forall t \quad (3)$$

$$M_t - M_{t-1} = X_t - X_t' \quad \forall t \quad (4)$$

$$I_t = I_t^+ - I_t^- \quad \forall t \quad (5)$$

$$M_t, P_t, M_t^o \geq 0 \quad \forall t$$

$$M_t, W_t \text{ integer} \quad \forall t$$

$$(t = 1, 2, 3, \dots, N)$$

5. MODEL INTEGRASI ANTARA MODEL PERENCANAAN KEBUTUHAN MESIN & MODEL PERENCANAAN PRODUKSI AGREGAT

Model ini digunakan untuk mengintegrasikan model perencanaan produksi agregat dan perencanaan kebutuhan mesin. Dimana model ini bertujuan untuk memperoleh penghematan biaya bila dibandingkan dengan kedua model tersebut secara individual

Notasi yang digunakan:

$$(a)' = \max \{a, 0\} \text{ dan } (a) = \max \{-a, 0\}$$

Variabel keputusan:

P_t = tingkat produksi pada periode t

M_t = jumlah mesin yang dioperasikan pada periode t

M_t^o = jumlah mesin yang dioperasikan selama *over-time* pada periode t

W_t = tingkat tenaga kerja pada periode t

Parameter yang digunakan:

N = jumlah periode perencanaan

h_t = jumlah *regular-time* dalam tiap-tiap periode produksi
(jam/periode)

h_o = jumlah maksimum *over-time* dalam tiap-tiap periode produksi
(jam/periode)

$C_{p,t}$ = biaya pengadaan mesin pada awal periode t

$C_{d,t}$ = nilai sisa dari mesin pada awal periode t

$C_{,,}$ = biaya operasi dan perawatan sebuah mesin selama *regular-time*
pada periode t

$C_{o,t}$ = biaya operasi dan perawatan sebuah mesin selama *over-time*
pada periode t

C_r = biaya gaji *regular time* per tenaga kerja per periode

C_{ow} = biaya gaji *over time* per tenaga kerja per periode

C_h = biaya perekrutan tenaga kerja

C_f = biaya pemecatan tenaga kerja

C_i = biaya penyimpanan per unit per periode

C_s = biaya *shortage* per unit per periode

- I_t = tingkat persediaan pada akhir periode t (bisa + ataupun -)
- D_t = permintaan akan produk pada periode t
- i = tingkat suku bunga tiap-tiap periode (ROR minimum dari perusahaan)
- T = waktu permesinan yang dibutuhkan untuk niemproduksi sebuah produk (jam/unit)
- T_w = jumlah tenaga manual yang diperlukan untuk memproduksi sebuah produk (jam/ unit)
- K = periode kerja yang diperlukan untuk memproduksi sebuah produk per periode (periode (pekerja/unit))
- R = *output* mesin berupa produk yang baik per periode *regular-time*

Tujuan:

Meminimumkan total biaya yang menunjukkan nilai sekarang dari total biaya mesin dan tenaga kerja selama periode perencanaan produksi, yang meliputi :

- biaya penyediaan mesin dari periode 1 sampai periode N

$$= \sum_{t=1}^N C_{p,t} \cdot (M_t - M_{t-1})^+ (1+i)^{1-t}$$

- biaya pengurangan mesin yang merupakan nilai sisa dari mesin itu sendiri dari periode 1 sampai periode N

$$= \sum_{t=1}^N C_{d,t} (M_t - M_{t-1}) (1+i)^{1-t}$$

- biaya operasi dan perawatan sebuah mesin selama *regular-time* dari periode 1 sampai periode N

$$= \sum_{t=1}^N C_{r,t} (P_t/R - (h_v/h_t) \cdot M_t^o) (1+i)^{1-t}$$

- biaya operasi dan perawatan sebuah mesin selama *over-time* dari periode 1 sampai periode N

$$= \sum_{t=1}^N C_{o,t} \cdot M_t^o (1+i)^{1-t}$$

- biaya gaji *regular-time* dari periode 1 sampai periode N

$$= \sum_{t=1}^N C_{r,w} W_t (1+i)^{1-t}$$

- biaya gaji *over-time* dari periode 1 sampai periode N

$$= \sum_{t=1}^N C_{o,w} K R M_t^o (1+i)^{1-t}$$

- biaya perekrutan tenaga **kerja** dari periode 1 sampai periode N

$$= \sum_{t=1}^N C_h \cdot (W_t - W_{t-1}) (1+i)^{1-t}$$

- biaya pemecatan dari periode 1 sampai periode N

$$= \sum_{t=1}^N C_f \cdot (W_t - W_{t-1})^- (1+i)^{1-t}$$

- biaya penyimpanan dari periode 1 sampai periode N

$$= \sum_{t=1}^N C_i \cdot I_t^+ (1+i)^{1-t}$$

- biaya *shortage* dari periode 1 sampai periode N

$$= \sum_{t=1}^N C_s \cdot I_s^- (1+i)^{1-t}$$

- nilai sisa mesin pada periode ke N

$$= C_{d,N} M_N (1+i)^{-N}$$

Dengan memperhatikan kendala-kendala:

- tingkat persediaan yang seimbang pada periode t

$$I_t = I_{t-1} + P_t - D_t \quad \forall_t$$

- kapasitas produksi dengan memperhatikan jumlah mesin yang tersedia pada tiap-tiap periode

$$P_t/R \leq M_t + (h_o/h_t) \cdot M_t^o \quad \forall_t$$

- kapasitas produksi dengan memperhatikan jumlah maksimum tenaga kerja yang tersedia pada tiap-tiap periode

$$K P_t \leq W_t + (h_o/h_t) \cdot K R M_t^o \quad \forall_t$$

d. jumlah mesin maksimum yang dioperasikan pada waktu *over-time*

pada tiap-tiap periode

$$M_t^o \leq M_t \quad \forall_t$$

e. jumlah tenaga kerja maksimum yang bekerja pada waktu *over-time*

pada tiaptiap periode

$$K R M_t^o \leq W_t \quad \forall_t$$

Formulasi model integrasi:

Minimasi: M_t , W_t , P_t , M_t^o

$$\begin{aligned} TC = \sum_{t=1}^N \{ & [C_{p,t} \cdot (M_t - M_{t-1})^+ - C_{d,t} \cdot (M_t - M_{t-1})^- + C_{r,t} \cdot (P_t/R - (h_o/h_t) \cdot M_t^o) \\ & + C_{o,t} \cdot M_t^o + C_{r,w} W_t + C_{o,w} K R M_t^o + C_h \cdot (W_t - W_{t-1})^+ \\ & + C_f \cdot (W_t - W_{t-1})^- + C_i \cdot I_t^+ + C_s \cdot I_s] (1+i)^{1-t} \} + C_{d,N} M_N (1+i)^{-N} \end{aligned}$$

Kendala:

$$I_t = I_{t-1} + P_t - D_t \quad \forall_t \quad (1)$$

$$P_t/R \leq M_t + (h_o/h_t) \cdot M_t^o \quad \forall_t \quad (2)$$

$$K P_t \leq W_t + (h_o/h_t) \cdot K R M_t^o \quad \forall_t \quad (3)$$

$$M_t^o \leq M_t \quad \forall_t \quad (4)$$

$$K R M_t^o \leq W_t \quad \forall_t \quad (5)$$

Model integrasi ini adalah *non-linier* oleh karena terdapat tanda positif dan negatif pada fungsi obyektif. Model tersebut dapat ditransformasikan ke dalam bentuk *linier* dengan cara mengganti bagian-bagian *non-linier* dengan variabel-variabel X_t, X_t^+, X_t^-, Y_t sebagai berikut :

$(M_t - M_{t-1})^+$ diganti dengan X_t , $(M_t - M_{t-1})^-$ diganti dengan X_t^-

$(W_t - W_{t-1})^+$ diganti dengan Y_t , $(W_t - W_{t-1})^-$ diganti dengan Y_t^-

Sehingga formulasi model integrasinya adalah sebagai berikut :

Minimasi: M_t, W_t, P_t, M_t^o

$$\begin{aligned} TC = \sum_{t=1}^N \{ & [C_{p,t} \cdot X_t - C_{d,t} \cdot X_t^- + C_{r,t} \cdot (P_t/R - (h_o/h_t) \cdot M_t^o) \\ & + C_{o,t} \cdot M_t^o + C_{r,w} \cdot W_t + C_{o,w} \cdot K R M_t^o + C_h \cdot Y_t \\ & + C_f \cdot Y_t^- + C_i \cdot I_t^+ + C_s \cdot I_t^-] (1+i)^{1-t} \} - C_{d,N} M_N (1+i)^{-N} \end{aligned}$$

Kendala:

$$I_t = I_{t-1} + P_t - D_t \quad \forall_t \quad (1)$$

$$P_t/R \leq M_t + (h_o/h_t) \cdot M_t^o \quad \forall_t \quad (2)$$

$$K P_t \leq W_t + (h_o/h_t) \cdot K R M_t^o \quad \forall_t \quad (3)$$

$$M_t^o \leq M_t \quad \forall t \quad (4)$$

$$K R M_t^o \leq W_t \quad \forall t \quad (5)$$

$$M_t - M_{t-1} = X_t - X_{t-1} \quad \forall t \quad (6)$$

$$W_t - W_{t-1} = Y_t - Y_{t-1} \quad \forall t \quad (7)$$

$$I_t = I_t^+ - I_t^- \quad \forall t \quad (8)$$

$$M_t, W_t, P_t, M_t^o \geq 0 \quad \forall t$$

$$M_t, W_t \text{ integer } \forall t$$

$$(t = 1, 2, 3, \dots, N)$$