

Perencanaan Produksi Menggunakan Kombinasi Model *Integer Linear Programming* Dan Model Simulasi (Studi kasus PT. Multi Strada Arahsarana)

Pambudi Seno Raharjo, Azizah Aisyati, Muh. Hisyam*
Jurusan Teknik Industri, Universitas Sebelas Maret, Surakarta

Abstract

Production planning is a process to determine number of production in a particular period to fulfill consumers orders according to the available production capacity. Production planning by combining Integer Linear Programming (ILP) and simulation is done in iterative way. ILP has an objective function to minimize cost, which has a number of methods, such as regular production capacity, overtime production capacity and inventory constrain, for each type of tyres for monthly during constraints in three month (January – March 2004). Simulation model representes stochastic events on the production floor, so that actual production capacity is obtained. On each iteration, number of production was compared with the available capacity from the result of simulation model. If the simulated number of production is more than or equal to the available capacity, the iteration need an adjustment capacity. And then, if the simulated number of production is less than the available capacity, the iteration is stopped, so that the number of production proper with the actual capacity is obtained.

Keywords : *production planning, Integer Linear Programming, Simulation, capacity*

1. Pendahuluan

Perusahaan manufaktur yang ideal memiliki strategi perencanaan produksi yang efektif dalam menyesuaikan target produksi terhadap kapasitas yang tersedia. Menurut Gasperz (2002) kekurangan kapasitas produksi akan menyebabkan kegagalan memenuhi target produksi, keterlambatan pengiriman ke pelanggan dan kehilangan kepercayaan yang secara formal turunnnya reputasi perusahaan. Sebaliknya kelebihan kapasitas produksi akan mengakibatkan tingkat utilisasi yang rendah, biaya meningkat, harga produk menjadi tidak kompetitif, kehilangan pangsa pasar, penurunan keuntungan, dan lain- lain.

Penyusunan rencana produksi oleh bagian produksi dilakukan setelah menerima pesanan produk dari bagian pemasaran. Kemudian bagian produksi tersebut menentukan prioritas dan strategi urutan produksi yang menghasilkan produk sesuai target permintaan dengan mempertimbangkan rencana bisnis dan sumber daya yang tersedia untuk meminimasi biaya produksi. Adapun kapasitas yang tersedia seharusnya dapat mengakomodasi berbagai faktor yang bersifat determinan (pasti akan terjadi) sampai dengan faktor-faktor stokastik (mungkin akan terjadi). Oleh sebab itu, perencanaan produksi dapat lebih realistis untuk direalisasikan.

PT. Multi Strada Arahsarana memproduksi 3 jenis ban berdasarkan ukuran, yaitu jenis ring 13, ring 14 dan ring 15. Rencana produksi melebihi kapasitas produksi aktual sehingga

* *Correspondence* : E-mail : aisyati@uns.ac.id, hisjam@uns.ac.id

material yang disediakan untuk memenuhi rencana produksi menjadi berlebih. Kelebihan material tersebut akan disimpan selama 3 bulan atau lebih dan menjadi rusak. Selain itu, karena produksi yang dihasilkan perusahaan tidak sesuai dengan pesanan konsumen, maka perusahaan harus menanggung *penalty cost* sejumlah produk yang tidak terpenuhi.

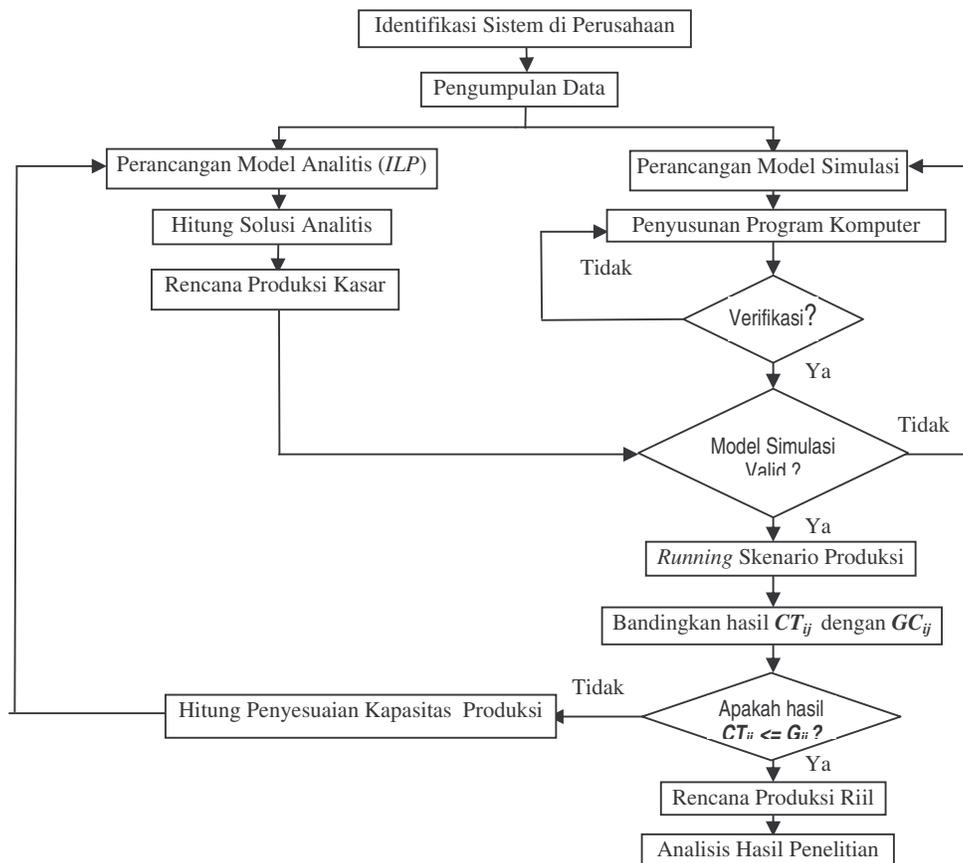
Perencanaan produksi di perusahaan tersebut selama ini menggunakan metode analitis, yaitu *Integer Linear Programming* (ILP) yang mempertimbangkan beberapa faktor determinan seperti jam kerja reguler dan lembur, perencanaan *inventory*, biaya produksi, dan lain-lain. Pada kenyataannya, faktor-faktor yang mempengaruhi perencanaan produksi bukan hanya faktor determinan tetapi juga beberapa faktor stokastik, seperti waktu *setup*, waktu antar kerusakan, waktu perbaikan dan waktu angkut permesinan. Akibatnya rencana produksi yang disusun menjadi tidak realistis. Maka penyusunan rencana produksi akan realistis bila mempertimbangkan adanya faktor-faktor yang pasti (deterministik) dan tidak pasti (stokastik) dengan mengkombinasikan model *Integer Linear Programming* dan model simulasi.

Beberapa asumsi yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Biaya produksi dan biaya penyimpanan per-unit tetap selama periode perencanaan
2. Waktu proses tiap produk pada tiap mesin tetap.
3. Tidak ada keterlambatan kedatangan *raw material* selama periode perencanaan
4. Biaya penyimpanan sebesar 10% dari total biaya produksi reguler.

2. Metodologi Penelitian

Langkah-langkah analisis sistem yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Metodologi Penelitian

3. Pengolahan Data

Beberapa data dan informasi yang diperoleh dari perusahaan yang digunakan untuk analisis data diantaranya adalah:

Tabel 1. Data Permintaan Ban periode 2002-2003

Periode	Permintaan Produk Ban (unit)		
	Jenis R13	Jenis R14	Jenis R15
1	16939	33878	12583
2	25916	51832	19252
3	18969	37939	14092
4	25489	50977	18934
5	27653	55305	20542
6	27118	54237	20145
7	26851	53702	19947
8	23511	47023	17466
9	24046	48092	17863
10	24313	48626	18061
11	27118	54237	20145
12	13359	26718	9924
13	33931	67863	25206
14	35000	70000	26000
15	33397	66794	24809
16	34198	68397	25405
17	36336	72672	26992
18	41679	83359	30962
19	54513	109027	40496
20	43416	86832	32252
21	37900	75801	28155
22	44351	88702	32947
23	44992	89985	33423
24	35401	70802	26298

Tabel 2. Biaya Tenaga Kerja reguler dan lembur *building* III

No.	Mesin Produksi	Biaya Tenaga Kerja Reguler (Rp per-unit)			Biaya Tenaga Kerja Lembur (Rp per-unit)		
		R13	R14	R15	R13	R14	R15
1	m. TG-600	30	31	33	44	47	49
2	m. cushioning	33	33	35	50	50	53
3	m. TTM	21	23	24	32	34	36
4	m. bead apex	31	35	39	47	53	59
5	m.extruder-200(TB&SW)	64	68	72	96	101	109
Total Biaya Tenaga Kerja		179	190	204	269	286	306

Tabel 3. Waktu operasi mesin *Building III*

Mesin	Waktu Operasi (menit)		
	R13	R14	R15
<i>Kalender</i>	0.1794	0.1809	0.182
<i>TTL</i>	0.1579	0.1609	0.1615
<i>TTO</i>	0.1786	0.1795	0.1808
<i>Cushioning</i>	0.2107	0.2114	0.2124
<i>Bead building</i>	0.1889	0.1904	0.1912
<i>Bead apex</i>	0.3748	0.3759	0.3767
<i>TG600</i>	0.1947	0.1956	0.1967
<i>TTM</i>	0.1964	0.1972	0.1984
<i>Extruder-90</i>	0.1802	0.1812	0.1821
<i>Extruder-200</i>	0.2403	0.2569	0.266

3.1 Tahap Perancangan Model *Integer Linear Programming*

Tahap ini bertujuan untuk minimasi biaya yang dalam penelitian ini meliputi biaya produksi dan biaya penyimpanan.

- **Biaya Produksi**

- i. Biaya Tenaga Kerja

Biaya tenaga kerja yang dibutuhkan dalam model *ILP* adalah biaya tenaga per unit shift produksi. Artinya biaya tenaga kerja harus ditranslasikan kedalam satuan rupiah perunit produk, baik untuk reguler maupun biaya tenaga kerja lemburnya. Sehingga didapatkan biaya tenaga kerja untuk tiap Rp/ unit produksi *Building III* pada Tabel 2 berikut.

- ii. Biaya instalasi dan administrasi

Untuk model *ILP* berbagai faktor biaya harus ditranslasikan dalam satuan Rp per-unit shift. Hasil perhitungan instalasi dan administrasi per unit ban yang sama antara produksi reguler dengan produksi lembur adalah :

$$\text{Biaya adm\&instl per unit} = \frac{\text{Rp}6000000,- / \text{bulan}}{73550 \text{ _unit / bulan}} = \text{Rp } 85,- / \text{unit}$$

Jadi total biaya produksi yang dianggarkan untuk produksi komponen ban pada *building III (semi manufacture)* adalah penjumlahan dari biaya tenaga kerja dengan biaya instalasi & administrasi. Sehingga total biaya produksi tersebut dikategorikan pada produksi reguler dan lembur, serta masing- masing terdiri atas 3 jenis produk yaitu :

Reguler : R13 = Rp179 + Rp85 = Rp 264,-

R14 = Rp190 + Rp85 = Rp 275,-

R15 = Rp204 + Rp85 = Rp 289,-

Lembur : R13 = Rp269 + Rp85 = Rp 354,-

R14 = Rp289 + Rp85 = Rp 371,-

R15 = Rp306 + Rp85 = Rp 391,-

Biaya produksi produksi reguler maupun lembur adalah penjumlahan dari biaya tenaga kerja dengan biaya instalasi dan administrasi.

- **Biaya penyimpanan**

Biaya penyimpanan yang telah diasumsikan sebesar 10% dari total biaya produksi reguler *Building III*. Karena biaya penyimpanan komponen produk tidak membedakan adanya

produksi reguler atau lembur, maka nilai biaya penyimpanan pada masing- masing jenis adalah sebagai berikut:

$$R13 = 10\% \times \text{Rp } 264,- = \text{Rp } 25,-$$

$$R14 = 10\% \times \text{Rp } 275,- = \text{Rp } 28,-$$

$$R15 = 10\% \times \text{Rp } 289,- = \text{Rp } 29,-$$

Jadi secara keseluruhan didapatkan model fungsi tujuan, yaitu minimasi biaya produksi dan *inventory* sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Z = & 264 (X_{11} + X_{12} + X_{13}) + 275 (X_{21} + X_{22} + X_{23}) + \\ & 289 (X_{31} + X_{32} + X_{33}) + 354 (L_{11} + L_{12} + L_{13}) + \\ & 371 (L_{21} + L_{22} + L_{23}) + 391 (L_{31} + L_{32} + L_{33}) + \\ & 25 (I_{10} + I_{11} + I_{12} + I_{13}) + 28 (I_{20} + I_{21} + I_{22} + I_{23}) + \\ & 29 (I_{30} + I_{31} + I_{32} + I_{33}) \end{aligned}$$

dimana :

$$i = 1, 2, 3 \text{ (urutan indeks produk : R13, R14, R15)}$$

$$j = 1, 2, 3 \text{ (urutan indeks periode : Januari, Februari, Maret)}$$

$$X_{ij} = \text{jumlah produksi reguler untuk } i = 1,2,3; j = 1,2,3$$

$$L_{ij} = \text{jumlah produksi lembur untuk } i = 1,2,3; j = 1,2,3$$

$$I_{ij} = \text{jumlah kelebihan produksi untuk } i=1,2,3; j=1,2,3$$

- **Batasan Kapasitas**

Kapasitas produksi yang tersedia untuk formulasi model analitis *Integer Linear Programming* adalah:

Produksi Reguler

$$\text{Periode 1 (Januari)} : 31500 \text{ menit}$$

$$\text{Periode 2 (Februari)} : 27720 \text{ menit}$$

$$\text{Periode 3 (Maret)} : 32760 \text{ menit}$$

Produksi Lembur

$$\text{Periode 1 (Januari)} : 6300 \text{ menit}$$

$$\text{Periode 2 (Februari)} : 7560 \text{ menit}$$

$$\text{Periode 3 (Maret)} : 5040 \text{ menit}$$

i. Kapasitas produksi pada jam kerja reguler

$$\sum_{i=1}^S a_{ij} X_{ij} \leq M_{ij} \cdot W_{ij} \quad (1)$$

$$1) \quad 0.2403 X_{11} + 0.2569 X_{21} + 0.266 X_{31} \leq 31500$$

$$2) \quad 0.2403 X_{12} + 0.2569 X_{22} + 0.266 X_{32} \leq 27720$$

$$3) \quad 0.2403 X_{13} + 0.2569 X_{23} + 0.266 X_{33} \leq 32760$$

ii. Kapasitas produksi pada jam kerja lembur

$$\sum_{i=1}^S a_{ij} L_{ij} \leq M_{ij} \cdot WL_{ij} \quad (2)$$

$$1) \quad 0.2403 L_{11} + 0.2569 L_{21} + 0.266 L_{31} \leq 6300$$

$$2) \quad 0.2403 L_{12} + 0.2569 L_{22} + 0.266 L_{32} \leq 7560$$

$$3) \quad 0.2403 L_{13} + 0.2569 L_{23} + 0.266 L_{33} \leq 5040$$

- **Batasan Persamaan *Inventory***

Penerapan *inventory* di perusahaan ini tidak mengaplikasikan adanya *backlog*. Sehingga perubahan yang harus dilakukan jika *backlog* tidak diperbolehkan adalah variable (I_{ij}^-) dihilangkan dalam batasan tersebut karena kekurangan produk pada masa sekarang tidak dibebankan pada periode selanjutnya dan batasan persamaan *inventory* menjadi sebagai berikut :

$$X_{ij} + L_{ij} + I_{i(j-1)} - I_{ij} = D_{ij} \quad (3)$$

dimana :

D_{ij} = jumlah peramalan permintaan produksi *Building III* untuk i, j

i. Peramalan permintaan periode perencanaan

Pada tahap ini dilakukan peramalan permintaan 3 periode (Januari-Maret) dengan memperhatikan nilai *Mean Square Error* (MSE) dan *Mean Absolute Error* (MAE) yang terkecil maka didapatkan metode peramalan untuk tiap kategori R13, R14 dan R15 = *Weight Moving Average*

Untuk hasil peramalan dapat ditunjukkan dalam tabel di bawah ini:

Tabel 4. Hasil peramalan jenis ban R13

Bulan perencanaan	Peramalan permintaan (unit)
Januari	41582
Februari	41582
Maret	41582

Tabel 5. Hasil peramalan jenis R14

Bulan perencanaan	Peramalan permintaan (unit)
Januari	83163
Februari	83163
Maret	83163

Tabel 6. Hasil peramalan jenis R15

Bulan perencanaan	Peramalan permintaan (unit)
Januari	30890
Februari	30890
Maret	30890

Setelah dilakukan perhitungan peramalan untuk setiap jenis produk pada masing-masing periode, maka didapatkan nilai *breakdown* peramalan permintaan dengan *defect* sebesar 4 % dari nilai peramalan awal yang disajikan pada Tabel 7

Tabel 7. *Breakdown* peramalan permintaan ban termasuk *defect*

Periode Perencanaan (bulan)	Permintaan Komponen Ban <i>Building III</i> (unit)		
	Ring 13	Ring 14	Ring 15
Januari	43245	86490	32126
Februari	43245	86490	32126
Maret	43245	86490	32126

ii. Persamaan *inventory* secara keseluruhan

1.	$X_{11} +$	$L_{11} +$	$I_{10} -$	$I_{11} =$	43245
2.	$X_{21} +$	$L_{21} +$	$I_{20} -$	$I_{21} =$	86490
3.	$X_{31} +$	$L_{31} +$	$I_{30} -$	$I_{31} =$	32126
4.	$X_{12} +$	$L_{12} +$	$I_{11} -$	$I_{12} =$	43245
5.	$X_{22} +$	$L_{22} +$	$I_{21} -$	$I_{22} =$	86490
6.	$X_{32} +$	$L_{32} +$	$I_{31} -$	$I_{32} =$	32126
7.	$X_{13} +$	$L_{13} +$	$I_{12} -$	$I_{13} =$	43245
8.	$X_{23} +$	$L_{23} +$	$I_{22} -$	$I_{23} =$	86490
9.	$X_{33} +$	$L_{33} +$	$I_{32} -$	$I_{33} =$	32126
10.			I_{10}	\leq	25000
11.			I_{20}	\leq	25000
12.			I_{30}	\leq	25000

3.2 Model Simulasi

- **Validasi Internal Model**

Untuk proses pengujian kesesuaian dan kerepresentatifan pada setiap pendugaan distribusi waktu dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

i. Pendugaan distribusi dengan parameter tertentu (mesin Kalender)

Waktu antar kerusakan : Distribusi *Weibull*

$$\text{shape value } (\alpha) = 1.5503 \text{ menit}$$

$$\text{scale value } (\beta) = 161.827 \text{ menit}$$

Waktu perbaikan : Distribusi *Beta*

$$\text{nilai minimum} = 35 \text{ menit}$$

$$\text{nilai maksimum} = 259.945 \text{ menit}$$

$$\text{nilai p} = 0.2154 \text{ menit}$$

$$\text{nilai q} = 0.3118 \text{ menit}$$

Waktu *setup* : Distribusi *Weibull*

$$\text{shape value } (\alpha) = 1.9 \text{ menit}$$

$$\text{scale value } (\beta) = 2.88 \text{ menit}$$

Waktu angkut Kalender-TTL : Distribusi *Weibull*

$$\text{shape value } (\alpha) = 1.9 \text{ menit}$$

$$\text{scale value } (\beta) = 7.48 \text{ menit}$$

ii. *Kolmogrov Smirnov Test* Mesin Kalender

- 1) Waktu antar kerusakan, $H_0 : KS_{\text{perhitungan}} \leq KS_{\text{tabel}}$
 Waktu perbaikan, $H_0 : KS_{\text{perhitungan}} \leq KS_{\text{tabel}}$
 Waktu *setup*, $H_0 : KS_{\text{perhitungan}} \leq KS_{\text{tabel}}$
 Waktu angkut Kalender-TTL, $H_0 : KS_{\text{perhitungan}} \leq KS_{\text{tabel}}$
- 2) Waktu antar kerusakan, $H_1 : KS_{\text{perhitungan}} > KS_{\text{tabel}}$
 Waktu perbaikan, $H_1 : KS_{\text{perhitungan}} > KS_{\text{tabel}}$
 Waktu *setup*, $H_1 : KS_{\text{perhitungan}} > KS_{\text{tabel}}$
 Waktu angkut Kalender-TTL, $H_1 : KS_{\text{perhitungan}} > KS_{\text{tabel}}$
- 3) Diasumsikan : $\alpha = 0.05$
 Diketahui : $n = 60$

$$\begin{aligned} \text{Waktu antar kerusakan,} & \quad F(x_{60}) = \frac{37.98}{60} = 0.632 \\ \text{Waktu perbaikan,} & \quad F(x_{60}) = \frac{1.494}{60} = 0.0249 \\ \text{Waktu } \textit{setup}, & \quad F(x_{60}) = \frac{43.92}{60} = 0.732 \\ \text{Waktu angkut Kalender-TTL,} & \quad F(x_{60}) = \frac{43.92}{60} = 0.732 \end{aligned}$$

- 4) Diasumsikan : $\alpha = 0.05$

Diketahui : $n = 60$

Waktu antar kerusakan,

$$KS_{\text{perhitungan}} = 0.0938; \quad KS_{\text{tabel}} = 0.172$$

Waktu perbaikan,

$$KS_{\text{perhitungan}} = 0.188; \quad KS_{\text{tabel}} = 0.172$$

Waktu *setup*,

$$KS_{\text{perhitungan}} = 0.0861; \quad KS_{\text{tabel}} = 0.172$$

Waktu angkut Kalender-TTL,

$$KS_{\text{perhitungan}} = 0.0861; \quad KS_{\text{tabel}} = 0.172$$

- 5) Keputusan uji hipotesa

Waktu antar kerusakan, Terima H_0 dan tolak H_1

Waktu perbaikan, Tolak H_0 dan terima H_1

Waktu *setup*, Terima H_0 dan tolak H_1

Waktu angkut Kalender-TTL, Terima H_0 dan tolak H_1

iii. Chi Square Goodness of Fit Test Mesin Kalender

- 1) Waktu antar kerusakan, $H_0 : CS_{\text{perhitungan}} \leq CS_{\text{tabel}}$
 Waktu perbaikan, $H_0 : CS_{\text{perhitungan}} \leq CS_{\text{tabel}}$
 Waktu *setup*, $H_0 : CS_{\text{perhitungan}} \leq CS_{\text{tabel}}$
 Waktu angkut Kalender-TTL, $H_0 : CS_{\text{perhitungan}} \leq CS_{\text{tabel}}$
- 2) Waktu antar kerusakan, $H_1 : CS_{\text{perhitungan}} > CS_{\text{tabel}}$
 Waktu perbaikan, $H_1 : CS_{\text{perhitungan}} > CS_{\text{tabel}}$
 Waktu *setup*, $H_1 : CS_{\text{perhitungan}} > CS_{\text{tabel}}$
 Waktu angkut Kalender-TTL, $H_1 : CS_{\text{perhitungan}} > CS_{\text{tabel}}$
- 3) Diasumsikan : $\alpha = 0.05$
 Diketahui : $n = 60$
 Waktu antar kerusakan, $P_{60} = 0.127$
 Waktu perbaikan, $P_{60} = 0.0654$
 Waktu *setup*, $P_{60} = 0.429$
 Waktu angkut Kalender-TTL, $P_{60} = 0.429$
- 4) Diasumsikan : $\alpha = 0.05$
 Diketahui : $n = 60$
 Waktu antar kerusakan,
 $CS_{\text{perhitungan}} = 7.17; \quad CS_{\text{tabel}} = 9.49$
 Waktu perbaikan,

$$CS_{perhitungan} = 8.83; \quad CS_{tabel} = 9.49$$

Waktu *setup*,

$$CS_{perhitungan} = 3.83; \quad CS_{tabel} = 9.49$$

Waktu angkut Kalender-TTL,

$$CS_{perhitungan} = 3.83; \quad CS_{tabel} = 9.49$$

5) Keputusan uji hipotesa

Waktu antar kerusakan, Terima H_0 dan tolak H_1

Waktu perbaikan, Terima H_0 dan tolak H_1

Waktu *setup*, Terima H_0 dan tolak H_1

Waktu angkut Kalender-TTL, Terima H_0 dan tolak H_1

- **Konstruksi Program Komputer (Promodel 4.2)**

Pada tahap ini dilakukan melalui tahap (1) Membangun Location, (2)Membangun “Entity” (3)Membangun “Process” dan “Routing”, (4)Membangun “Arrival” (5)Running model simulasi

- **Verifikasi Model Simulasi**

Dalam penelitian ini verifikasi dilakukan terhadap *output* simulasi dengan cara menjajaki (*tracing*) hasil simulasi sehingga ketika suatu *event* terjadi maka bagaimana perubahan status sistem yang seharusnya terjadi dapat diteliti dengan mudah.

- **Validasi Model Simulasi**

Pada tahap ini dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

- Mengkonfirmasi data- data waktu proses permesinan, antar kerusakan, lama perbaikan, *setup* dan waktu angkut setiap perpindahan
- Membandingkan hasil *output* model simulasi (*running*) dengan hasil sistem produksi nyata (riil).

3.3 Running Skenario Produksi (kombinasi analitis & simulasi)

Running skenario produksi dilakukan untuk memperhitungkan solusi realistik kombinasi model *Integer Linear Programming* dan model simulasi secara iteratif. Secara garis besar langkah- langkah perhitungan solusi optimal dengan *running* skenario produksi dilakukan dengan algoritma sebagai berikut :

Langkah 1 : Hitung solusi optimal dari model analitis

Langkah 2 : Lakukan simulasi dengan *input* solusi optimal analitis

Langkah 3 : Jika hasil simulasi menunjukkan bahwa solusi tersebut dapat diproduksi pada jam kerja yang tersedia lanjutkan ke langkah 6 dan apabila tidak lanjutkan ke langkah 4

Langkah 4 : Hitung penyesuaian kapasitas dan sesuaikan batasan kapasitas pada model analitis (*ILP*)

Langkah 5 : Kembali ke Langkah 1

Langkah 6 : Solusi optimal merupakan solusi yang realistik berdasarkan kombinasi model *ILP* dan simulasi

Langkah 7 : Selesai

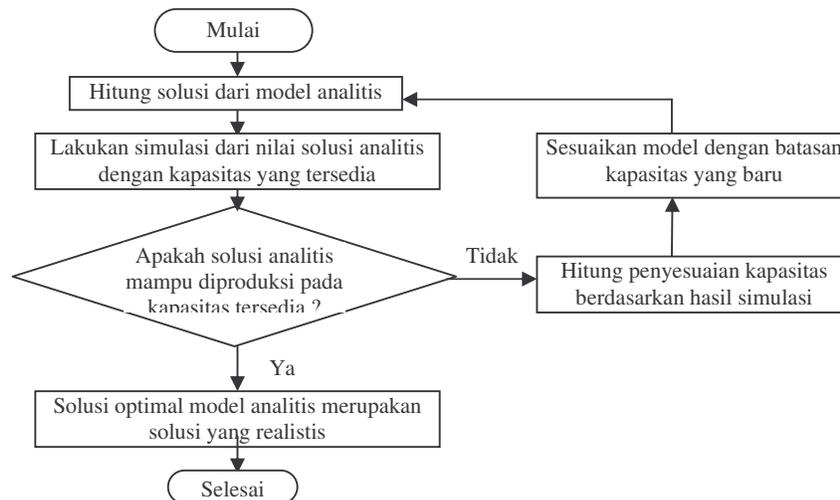
Kemudian simulasi juga perlu dilakukan replikasi dengan perhitungan berikut ini :

1. Tentukan nilai *error relatif* \bar{X} terhadap μ yang diinginkan kemudian

$$\gamma = \left| \frac{X - \mu}{\bar{X}} \right| \quad (4)$$

dan hitung $\gamma' = \frac{\gamma}{\gamma + 1}$ (5)

2. Tentukan jumlah replikasi awal $n_o \geq 2$
3. Lakukan simulasi dengan n_o replikasi



Gambar 2. Langkah Perhitungan Solusi Perencanaan Produksi yang Realistis

4. Hitung : $\bar{X}(60) = \frac{\sum_{i=1}^{60} X_i}{60}$ (6)

dan $\delta(60,95\%) = t_{60-1, 1-\frac{0.05}{2}} \times \sqrt{\frac{S^2(60)}{60}}$ (7)

5. Jika : $\frac{\delta(60,95\%)}{|\bar{X}(60)|} \leq \gamma'$ maka replikasi sudah mencukupi
6. Jika : $\frac{\delta(60,95\%)}{|\bar{X}(60)|} > \gamma'$ tambahkan jumlah replikasi (n_o) minimal 1 buah, kemudian ulangi

perhitungan mulai dari langkah ke-2 sampai akhir dan iteratif sampai replikasi mencukupi. dimana :

$S^2(60)$	= variansi 60 replikasi <i>running</i> skenario produksi
$t_{60-1, 1-\frac{0.05}{2}}$	= probabilitas distribusi <i>t</i> dengan derajat kebebasan 59 dan tingkat kepercayaan 95 %
X	= nilai dari setiap hasil replikasi
\bar{X}	= rata-rata dari hasil replikasi
$\bar{X}(60)$	= rata-rata dari hasil 60 replikasi tertentu
μ	= nilai <i>mean</i> harapan tingkat kepercayaan 95%

$\delta(60,95\%)$ = fungsi kombinasi sebagai penentu penambahan replikasi untuk 60 dan 95 % tertentu.

γ = nilai *error* rata-rata hasil replikasi terhadap *mean*

γ' = nilai *error* relatif rata-rata replikasi terhadap *mean*

Hasil *running* dari beberapa replikasi didokumentasikan, kemudian dicari nilai rata-rata dari waktu yang dibutuhkan untuk memproduksi sejumlah produk ban sesuai dengan hasil solusi model analitis.

3.4 Solusi Akhir

Solusi yang realistis pada model *Integer Linear Programming* ini dicapai pada iterasi ke-1480 dengan biaya produksi dan persediaan minimum : Rp 123.698.500,00.

a. Bulan Januari 2004

produksi reguler Ring-13	= 14.382 ban
produksi lembur Ring-13	= 3 ban
produksi reguler Ring-14	= 53.440 ban
produksi lembur Ring-14	= 18.708 ban
produksi reguler Ring-15	= 25.327 ban
produksi lembur Ring-15	= 1 ban

b. Bulan Februari 2004

produksi reguler Ring-13	= 14.009 ban
produksi lembur Ring-13	= 13 ban
produksi reguler Ring-14	= 44.248 ban
produksi lembur Ring-14	= 28.905 ban
produksi reguler Ring-15	= 24.685 ban
produksi lembur Ring-15	= 1 ban

c. Bulan Maret 2004

produksi reguler Ring-13	= 14.524 ban
produksi lembur Ring-13	= 1 ban
produksi reguler Ring-14	= 57.507 ban
produksi lembur Ring-14	= 14.254 ban
produksi reguler Ring-15	= 25.575 ban
produksi lembur Ring-15	= 0 ban

- Kapasitas subkontrak

$$XS_{ij} \leq KS_{ij} \quad (8)$$

- Persamaan *Inventory*

$$X_{ij} + L_{ij} + XS_{ij} + I^-_{ij} - I^-_{i(j-1)} + I_{i(j-1)} - I_{ij} = D_{ij} \quad (9)$$

dengan :

X_{ij} = jumlah produksi reguler untuk i, j

L_{ij} = jumlah produksi lembur untuk i, j

XS_{ij} = jumlah produk subkontrak produk untuk i, j

C_{ij} = biaya produksi reguler untuk i, j

CL_{ij} = biaya produksi lembur untuk i, j

SC_{ij} = biaya subkontrak produk untuk i, j

IC_{ij}	= biaya penyimpanan (<i>inventory</i>) produk untuk i, j
a_{ij}	= waktu proses permesinan untuk i, j
M_{ij}	= jumlah mesin untuk i, j
W_{ij}	= kapasitas waktu reguler untuk i, j
WL_{ij}	= kapasitas waktu lembur untuk i, j
KS_{ij}	= kapasitas subkontrak produk untuk i, j
I^-_{ij}	= jumlah kekurangan ban (<i>lost sale</i>) untuk i, j
I_{ij}	= jumlah penyimpanan produk untuk i, j
D_{ij}	= jumlah permintaan produk untuk i, j
i	= 1, 2, 3; i : jenis produk (R13, R14 dan R15)
j	= 1, 2, 3; j : bulan perencanaan produksi (Januari, Februari, Maret)

4. Analisis

Pada *Building III*, mesin *Extruder-200* dapat dikatakan sebagai mesin paling utama untuk perhitungan model *Integer Linear Programming*. Mesin *Extruder-200* menghasilkan dua jenis komponen produk, yaitu *side wall* dan *tread band*. Waktu produksi yang dibutuhkan untuk menghasilkan kedua komponen produk tersebut juga relatif paling besar dari proses permesinan lainnya. Jadi mesin *Extruder-200* memiliki beban kerja produksi yang paling besar, padahal hasil produk dibutuhkan untuk *assembly* keseluruhan yang mengakibatkan jumlah produk dari mesin *Extruder-200* sebagai jumlah produksi ban keseluruhan.

Perbandingan antara hasil total jumlah produksi aktual perusahaan dengan total produksi perencanaan hasil perhitungan didapatkan selisih jumlah produksi.

- Rata- rata jumlah rencana produksi yang dibuat oleh perusahaan untuk bulan Januari-Maret 2004 adalah sebesar 120.148 ban per bulan.
- Rata- rata jumlah produksi aktual perusahaan untuk bulan Januari-Maret 2004 adalah sebesar 104.561 ban per bulan.
- Rata- rata jumlah rencana produksi hasil kombinasi model analitis dan simulasi untuk bulan Januari-Maret 2004 adalah sebesar 111.861 ban per bulan.

Berdasarkan hasil penelitian, prosentase jumlah produksi yang mampu terpenuhi dari rencana produksi yang dibuat oleh perusahaan sekitar 87% dari target rencana produksi. Sedangkan, prosentase jumlah produksi aktual dari rencana produksi hasil kombinasi model *Integer Linear Programming* dan model simulasi sekitar 93,5%. Hal ini mengindikasikan bahwa, rencana produksi dengan kombinasi model ini telah dapat mendekati nilai aktual produksi perusahaan yang hanya memiliki selisih sebesar 6,5%.

Daftar Pustaka

- Arikunto, Suharsimi. (1986). *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktik*. PT. Bina Aksara, Jakarta.
- Bedworth, D, David., & Bailey, J.E. (1987). *Integrated Production Control Systems Management, Analysis, Design*. John Wiley & Sons, Singapore.
- Byrne, M.D., & Bakir, M.A. (1999). Production planning using a hybrid simulation analytical approach. *International journal of Production Economics*, 59, 305-311.

- Chisman, James, A. (1998). *Using discrete simulation modeling to study large scale system reliability/ availability*. Journal of Computers & operation research 25, 169-174.
- Dewo, P., Hoentarso, H., & Heryawan, A. (2001). *Perencanaan dan pengendalian produksi melalui sistem jaringan terpadu yang terstruktur*. Proceedings seminar sistem produksi V, 506.
- Fogarty, D.W., Blackstone, J.H., Hoffmann, T.R. (1991). *Production & Inventory Management*, South Western Publishing Co.
- Gasperz, Vincent. (2002). *Production Planning and Inventory Control. Berdasarkan Pendekatan Sistem Terintegrasi MRP II dan JIT Menuju Manufakturing 21*. PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Laboratorium Komputasi dan Simulasi Teknik Industri UNS (2002). *Tutorial ProModel 4.0*, Surakarta.