

Supply Chain Management

Model Penentuan Ukuran *Batch* dan *Buffer Stock* Dengan Mempertimbangkan Perubahan Order Awal

Ivan Darma Wangsa^{1*}, Bermawi Priyatna Iskandar²

¹PT. Baker Hughes Indonesia, Balikpapan, Indonesia

²Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

*Corresponding Author: ivan.wangsa@bakerhughes.co.id / ivan_darma@yahoo.com +62 813 50 888 343

Abstrak – Perubahan penjadwalan pada rantai produksi merupakan hal yang sering terjadi guna memenuhi permintaan konsumen, hal tersebut menyebabkan adanya *nervousness*. *Nervousness* yang terjadi akan berdampak pada meningkatnya ongkos persediaan dan menurunnya *service level*. Permintaan (order awal) diberikan untuk 1 minggu ke depan (5 hari) yang berfluktuasi yang diberikan pada akhir minggu sebelumnya. Dalam situasi riil, sering kali konsumen melakukan perubahan dari order yang telah disepakati (perubahan order awal). Perubahan order yang terjadi adalah berfluktuasi dan bersifat stokastik. Penelitian ini mengembangkan model penentuan ukuran *batch* produksi dan *buffer stock* untuk mengurangi total ongkos akibat dari perubahan order awal (*nervousness*). Variabel keputusan dalam penelitian ini adalah periode *production run* (T) dan *buffer factor* (m). Setelah diperoleh variabel T dan m , maka variabel ukuran *batch* produksi (Q_T) dan *buffer stock* (B_T) dapat ditentukan secara sekuensial. Pencarian solusi model ini dilakukan heuristik yaitu *Silver-Meal* (SM) dan *Least Unit Cost* (LUC). Penelitian ini mempertimbangkan kapasitas produksi dan mengijinkan *backorder*. Contoh numerik diberikan untuk menunjukkan kinerja model. Dari hasil numerik, terlihat bahwa dengan menggunakan beberapa pengujian *coefficient variation* (CV) memberikan hasil yang berbeda untuk tiap metoda heuristik SM dan LUC.

Kata Kunci: Perubahan order awal yang berfluktuasi, ukuran *batch* produksi, *buffer stock*, metoda heuristik (SM dan LUC) dan *coefficient variations* (CV)

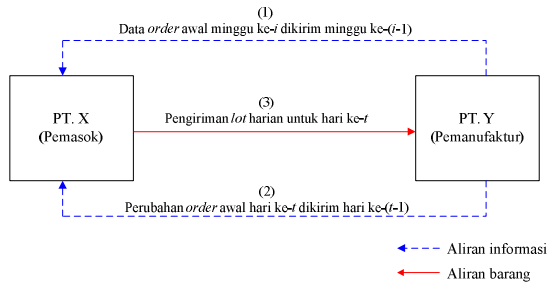
1 Pendahuluan

Penelitian ini dilakukan pada PT. X yang merupakan perusahaan manufaktur yang bergerak dalam bidang pembuatan komponen otomotif. PT. X merupakan pemasok komponen sepeda motor untuk PT. Y dan PT. Z. Dalam menentukan ukuran *batch* produksi, saat ini PT. X menggunakan *lot-for-lot* dengan sistem persediaan *period review*.

Dari studi pendahuluan diperoleh karakteristik permintaan yang menarik dari PT. Y yang dijelaskan berikut ini. PT. Y selaku pemanufaktur/pembeli komponen, mengirim data *order* harian (disebut *order* awal) untuk satu minggu ke depan (Senin sampai dengan Jumat), dimana *order* awal minggu ke- i yang dikirim pada akhir minggu ke- $(i-1)$ (lihat Gambar 1). Selanjutnya PT. X merencanakan produksi berdasarkan *order* awal dengan *service level* 100% selama satu minggu dan *buffer stock* (persediaan penyangga) sebesar 65% dari total *order* awal satu bulan sebelumnya untuk menjamin *service level* 100%. Kemudian hasil produksi tersebut dikirim dari PT. X dan diterima di gudang PT. Y dalam *lot*

harian. Pada kenyataannya, sering kali PT. Y meminta penambahan ataupun pengurangan *order* awal kepada PT. X. Perubahan *order* awal disampaikan satu hari sebelumnya, dengan demikian PT. X perlu mempertimbangkan ketidakpastian permintaan yang berfluktuasi tersebut.

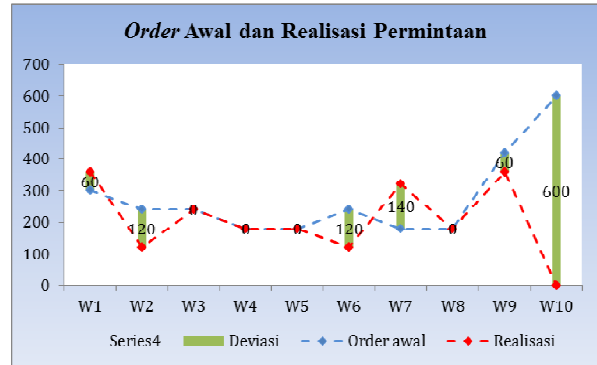
Ketidakpastian yang berfluktuasi yang dialami oleh PT. X disebabkan oleh kegiatan produksi PT. Y. Ketidakpastian ini membuat persediaan menjadi sangat besar sehingga menyebabkan total ongkos persediaan yang merupakan jumlah dari ongkos *setup*, ongkos simpan dan ongkos *backorder* menjadi sangat tinggi. Untuk menurunkan total ongkos persediaan, diperlukan penentuan ukuran *lot* dan *buffer stock* serta sistem persediaan yang tepat yang meminimumkan total ongkos.



Gambar 1. Proses Pengiriman Informasi Order Awal dan Perubahan Order Awal Dalam Sistem Rantai Pasok PT. X dan PT. Y

Adanya perubahan order awal ini menyebabkan tiga kondisi (lihat Gambar 2). Kondisi pertama disebut dengan *underproduction*, yaitu kondisi dimana PT. Y melakukan penambahan dari order awal sebelumnya (biasanya dua hingga tiga kali dari order awal). Sedangkan kondisi kedua merupakan kebalikan dari kondisi pertama (*overproduction*), yaitu dimana PT. Y memberikan pengurangan order awal dan bahkan melakukan pembatalan order (*order cancel*). Pada kondisi ketiga, dimana tidak terjadi perubahan order awal. Adanya ketidakpastian atau ketidakstabilan (perubahan order awal) ini dapat merugikan bagi pemasok, yang menyebabkan pemasok harus merubah jadwal produksinya [1-3]. Hal ini dikarenakan bahwa produksi telah selesai direncanakan dan dilakukan yang dampaknya pada total ongkos persediaan menjadi sangat tinggi (persediaan dan *buffer stock* yang menumpuk di gudang karena *overproduction* dan juga terjadinya *backorder* apabila terjadi *underproduction*). Perubahan order awal tersebut akan mempengaruhi *service level* dan juga membutuhkan adanya *buffer stock*. Dengan demikian, dalam penelitian ini perlu mempertimbangkan dan mengoptimalkan ukuran *batch* dan faktor *buffer* (*buffer factor*) yang dapat meminimumkan total ongkos relevan.

Pengembangan model permintaan berfluktuasi dapat dilakukan dengan beberapa sensitivitas *coefficient variation* (CV), yaitu penelitian dengan melihat pengaruh CV terhadap variabilitas ukuran pesanan, pelaporan bahwa metoda SM dan LUC menunjukkan hasil yang berbeda yang bergantung pada CV yang diujikan [2-4]. Sedangkan pengembangan model dilakukan dengan mengoptimalkan *buffer factor* [2]. Saraswati mengembangkan model untuk permintaan yang berfluktuasi, dan tidak mempertimbangkan *buffer stock* [4-5].



Gambar 2. Tiga Kondisi Perubahan Order Awal

Tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan model matematik total ongkos untuk menentukan ukuran *batch* dan *buffer stock* yang melibatkan order awal. Tujuan lainnya adalah mengevaluasi metoda heuristik untuk mencari solusi dari model matematik yang dikembangkan dimana meminimasi total ongkos relevan [6].

2 Pengembangan Model

Adapun asumsi dan notasi yang digunakan dalam model adalah sebagai berikut:

2.1 Asumsi Penelitian

1. Tidak mempertimbangkan *lead time* ($L = 0$).
2. Tingkat produksi terbatas dengan produksi sebesar $(P \gg \sum_{t=1}^T S_t)$.
3. Kekurangan persediaan pemasok diatasi dengan *backorder*.
4. Antar periode saling dependen, artinya periode selanjutnya bergantung pada periode sebelumnya.
5. Dalam satu horison perencanaan terbatas (*finite*) yaitu satu minggu terdiri atas lima hari yang sama panjang untuk semua minggu.
6. Laju order awal dan realisasi permintaan berdistribusi normal, berturut-turut: $N(\mu_t^d, \sigma_t^{d^2})$ dan $N(\mu_t^r, \sigma_t^{r^2})$. Perubahan order awal (delta order awal dan realisasi) bersifat stokastik dan berdistribusi normal, $N(\mu_c, \sigma_c^2)$.

2.2 Indeks

- i indeks mingguan; 1, 2, ... I (minggu)
- t indeks harian; 1, 2, ... T (Senin, Selasa, ... , Jumat)

2.3 Parameter

- A_t ongkos *setup* per sekali *setup* pada hari ke- t (Rp./hari)

B_t $m\sigma_{1,T}$ = persediaan pengaman (*buffer stock*) (unit)

\bar{d}_{ti} *order* awal hari ke- t pada minggu ke- i (unit)

d_{ti} realisasi (aktual) permintaan hari ke- t pada minggu ke- i (unit)

δ_{ti} delta *order* ($d_{ti} - \bar{d}_{ti}$) hari ke- t pada minggu ke- i (unit)

F_t ongkos transportasi per sekali jalan pada hari ke- t (Rp.)

$(C_s)_t$ ongkos *backorder* per unit *shortage* pada hari ke- t (Rp./hari)

h_t ongkos simpan pada hari ke- t (Rp./unit/hari)

μ_t rerataan dari delta permintaan hari ke- t (unit)

σ_t standar deviasi dari delta permintaan hari ke- t (unit)

$\sigma_{1,T}$ $\sqrt{\sum_{t=1}^T \sigma_t^2}$ = std. deviasi delta permintaan dari hari 1 hingga T (unit)

m faktor pengaman (*buffer factor*)

P tingkat produksi selama hari T (unit)

Q_t ukuran *batch* yang diproduksi pada hari ke- t (unit)

S_t permintaan dengan perubahan *order* awal pada hari ke- t (unit)

T_{maks} panjang periode maksimum dalam perencanaan produksi (hari)

$f_u(x)$ fungsi densitas probabilitas (*p.d.f.*)

$P_{u \geq m} = \text{prob} (u \geq m) = \int_m^{\infty} f_u(x) dx$ = fungsi kumulatif distribusi (*c.d.f.*) (-)

$G_u(m) = \int_m^{\infty} (x - m) f_u(x) dx$ = fungsi kehilangan dis. per siklus *production run* (-)

2.4 Variabel Keputusan

T periode dalam melakukan *production run* (hari)

m_T faktor pengaman (*buffer factor*) dari hari ke- t hingga hari ke- T

2.5 Kriteria Performansi

TRC total ongkos relevan (Rp.)

2.6 Formulasi Model Matematik

2.6.1 Formulasi Matematik Perubahan Order

Didefinisikan perubahan *order* adalah delta, dengan notasi ($\delta_{ti} = d_{ti} - \bar{d}_{ti}$). Maka ada tiga kemungkinan kasus yang terjadi, yaitu:

1. Bila ($d_{ti} > \bar{d}_{ti}$) atau δ_{ti} bertanda positif (+) disebut *underproduction*.
2. Bila ($d_{ti} < \bar{d}_{ti}$) atau δ_{ti} bertanda negatif (-) disebut *overproduction*.
3. Bila ($d_{ti} = \bar{d}_{ti}$) atau $\delta_{ti} = 0$ (nol) maka tidak ada perubahan *order*.

Didefinisikan S_t adalah *order* awal untuk rencana produksi minggu selanjutnya yang ditambah dengan ekspektasi delta permintaan historis.

$$(S_t = \bar{d}_t + \mu_t) \quad (1)$$

Jika ($S_t = \bar{d}_t + \mu_t$) dan $\mu_t = E[\delta_t]$ dengan teorema linearitas, S dapat ditaksir:

$$E[S_t] = \bar{d}_t + E[\delta_t] \quad (2)$$

Dengan:

$E[S_t]$ = ekspektasi permintaan dengan perubahan *order* awal, hari ke- t .

\bar{d}_t = *order* awal pada hari ke- t .

$E[\delta_t]$ = ekspektasi dari delta *order* awal data historis pada hari ke- t .

2.6.2 Formulasi Matematik Total Ongkos

Adapun komponen ongkos dalam model yang dibangun, yaitu:

- Ongkos *setup*,
- Ongkos transportasi,
- Ongkos simpan,
- Ongkos *buffer* dan
- Ongkos *backorder*.

Untuk menentukan tingkat persediaan selama satu siklus, merupakan luas seluruh daerah yang diarsir-luas daerah Δ ADE (pada Gambar 3) (Saraswati, [5]).

$$\begin{aligned} \text{Luas daerah yang diarsir} &= 1S_1 + 2S_2 + \dots + TS_T \\ &= \sum_{t=1}^T tS_t = \sum_{t=1}^T t(\bar{d}_t - \mu_t) \end{aligned}$$

$$\text{Luas daerah arsir } \Delta \text{ ADE} = \frac{Q_t Q_t}{2 P} = \frac{(Q_t)^2}{2P},$$

$$\text{Dimana } Q_t = \sum_{t=1}^T S_t \text{ dan } t = 1, 2, \dots, T$$

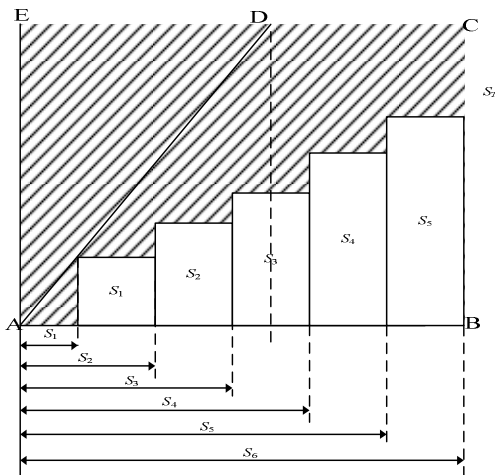
Sehingga persamaan tingkat persediaan pemasok dapat dituliskan sebagai berikut:

$$I = \sum_{t=1}^T tS_t - \frac{(Q_t)^2}{2P}$$

$$\text{Dimana } Q_t = \sum_{t=1}^T S_t \text{ dan } t = 1, 2, \dots, T$$

Sehingga:

$$I = \sum_{t=1}^T tS_t - \frac{(\sum_{t=1}^T S_t)^2}{2P}, t = 1, 2, \dots, T \quad (3)$$



Gambar 3. Tingkat Persediaan

Dengan demikian total ongkos yang merupakan penjumlahan dari komponen-komponen ongkos yang terkait dengan variabel T dan m adalah sebagai berikut:

$$TRC(T, m) = A_t + F_t + h_t \left[\sum_{i=1}^T tS_i - \frac{(\sum_{i=1}^T S_i)^2}{2P} \right] + h_t T m \sigma_{1,T} + (C_2)_t \sigma_{1,T} G_u(m)$$

Atau dapat ditulis kembali menjadi:

$$TRC(T, m) = A_t + F_t + h_t \left[\sum_{i=1}^T tS_i - \frac{(\sum_{i=1}^T S_i)^2}{2P} + T m \sigma_{1,T} \right] + (C_2)_t \sigma_{1,T} G_u(m) \tag{4}$$

Dengan:

$$\sigma_{1,T} = \sqrt{\sum_{i=1}^T \sigma_i^2} \text{ dan } G_u(m) = \int_m^{\infty} (x - m) f_u(x) dx$$

2.6.3 Pencarian Solusi

Dalam melakukan pencarian solusi, digunakan pendekatan heuristik untuk permintaan yang berfluktuasi, yaitu: Silver-Meal (SM) dan Least Unit Cost (LUC).

2.6.3.1 Menentukan Variabel m

Fungsi $TRC(T, m)$ memiliki variabel T yang diskrit dan variabel m yang kontinu. Untuk mendapatkan T^* dan m^* secara simultan sangat sulit. Langkah yang dilakukan adalah menunjukkan solusi optimal m dengan nilai T tertentu yang meminimumkan $TRC(T, m)$. Berikut pencarian solusi untuk menentukan variabel m .

Dari persamaan (4), maka turunan pertama terhadap m adalah:

$$\frac{\partial TRC(T, m)}{\partial m} = 0$$

$$h_t T \sigma_{1,T} - (C_2)_t \sigma_{1,T} p_{u \geq}(m) = 0$$

Maka diperoleh:

$$p_{u \geq}(m) = \frac{h_t T}{(C_2)_t} \tag{5}$$

Untuk memperoleh m (buffer factor) maka dapat dilakukan dengan cara menggunakan fungsi pada Ms.

Excel =NORMSINV[1 - $p_{u \geq}(m)$]. Dengan diperoleh $p_{u \geq}(m)$, untuk menentukan tingkat pelayanan (service level = SL) dapat digunakan formulasi sebagai berikut (Silver dkk., [6]):

$$SL(\%) = [1 - p_{u \geq}(m)] \times 100\% \tag{6}$$

2.6.3.2 Menentukan Variabel T

Untuk menentukan variabel T , digunakan pendekatan heuristik SM dan LUC.

1. Silver-Meal

$$TRCUT = \frac{YAC(T, m)}{T} = \frac{A_t + F_t + h_t \left[\sum_{i=1}^T tS_i - \frac{(\sum_{i=1}^T S_i)^2}{2P} + T m \sigma_{1,T} \right] + (C_2)_t \sigma_{1,T} G_u(m)}{T} \tag{7}$$

2. Least Unit Cost (LUC)

$$TRCUQ = \frac{TRCUT(m)}{G_u} = \frac{A_t + F_t + h_t \left[\sum_{i=1}^T tS_i - \frac{(\sum_{i=1}^T S_i)^2}{2P} + T m \sigma_{1,T} \right] + (C_2)_t \sigma_{1,T} G_u(m)}{\sum_{i=1}^T S_i} \tag{8}$$

2.6.3.3 Algoritma Pencarian Solusi

Untuk pemecahan solusi, dibangun algoritma pencarian solusi yang dikembangkan berdasarkan algoritma SM dan LUC yang dimodifikasi [7-8].

- Langkah 1 : Tetapkan T_{maks} , lanjut ke langkah (2).
- Langkah 2 : Mulai $T = 1$ dan tetapkan untuk $TRCUT(0, m_{[0]}) = \infty$ dan $TRCUQ(0, m_{[0]}) = \infty$ kemudian lanjut ke langkah (3).
- Langkah 3 : Tentukan $p_{u \geq}(m)$ dengan persamaan (5) dan tentukan m dan SL (%) dengan fungsi Ms. Excel.
- Langkah 4 : Substitusi T, m^* dan $G_u(m^*)$ kemudian hitung $TRCUT(T, m^*)$ pada persamaan (7) dan $TRCUQ(T, m^*)$ pada persamaan (8).
- Langkah 5 : Jika $TRCUT(T, m^*_{[T]}) \leq TRCUT(T-1, m^*_{[T-1]})$ ke langkah (6), jika tidak ke langkah (7). Hal yang sama dengan LUC.
- Langkah 6 : Tetapkan $T = T + 1$ dan kembali ke langkah (3).
- Langkah 7 : Maka $(T^*_{[m^{**}]}, m^{**}) = (T-1, m^*_{[T-1]})$, dan $(T^*_{[m^{**}]}, m^{**})$ adalah solusi terbaik untuk m^{**} dan $T^*_{[m^{**}]}$. Kemudian lanjut ke langkah (8).
- Langkah 8 : Dengan menggunakan solusi terbaik $T^*_{[m^{**}]}$ dan m^{**} , kemudian tentukan ukuran batch produksi (Q_T) dan buffer stock (B_T).
- Langkah 9 : Setelah diperoleh ukuran batch produksi (Q_T) dan buffer stock (B_T) kemudian hitung TRC komulatif.

- Langkah 10 : Maka solusi terbaik adalah sebagai berikut: $[T^* = (T - 1)]$; $[m^* = m_{(T-1)}^*]$; $[Q_T^* = Q_{(T-1)m^*}^*]$; dan $[B_T^* = B_{(T-1)m^*}^*]$.
- Langkah 11 : Tentukan *production run* selanjutnya, hingga $T_{maks} - \sum T^* = 0$.

Tabel 4. Permintaan Dengan Perubahan Order Awal (S_t)

Hari	Permintaan Dengan Perubahan Order Awal (S_t)						
	S_{t1}	S_{t2}	S_{t3}	S_{t4}	S_{t5}	S_{t6}	S_{t7}
Senin	171,43	171,43	171,43	111,43	471,43	51,43	171,43
Selasa	308,57	248,57	308,57	368,57	428,57	368,57	488,57
Rabu	34,29	214,29	94,29	274,29	514,29	214,29	274,29
Kamis	182,86	302,86	242,86	182,86	242,86	302,86	302,86
Jumat	197,14	77,14	17,14	197,14	437,14	257,14	137,14

3 Studi Kasus dan Analisis

Dalam hal ini contoh numerik dipergunakan dengan 7 minggu berdasarkan data historis dan 1 minggu rencana (*order*) awal untuk minggu ke-8. Adapun nilai parameter ongkos dan data produksi adalah sebagai berikut: panjang periode maksimum (T_{maks}) = 5 hari, ongkos *setup* (A) = Rp. 200.000/*setup*, ongkos transportasi (F) = Rp. 50.000/jalan, ongkos simpan = Rp. 300/unit/hari, ongkos *backorder* (C_s) = Rp. 50.000/unit, laju produksi (P) = Rp. 3000 unit. Berikut data historis permintaan:

Tabel 1. Data Historis Permintaan (Order Awal dan Realisasi)

Hari	Permintaan	Minggu						
		M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6	M_7
Senin	Order awal	120	120	120	60	420	0	120
	Realisasi	300	180	180	240	120	0	300
Selasa	Order awal	120	60	120	180	240	180	300
	Realisasi	360	300	180	0	1080	360	240
Rabu	Order awal	0	180	60	240	480	180	240
	Realisasi	0	240	180	180	480	360	180
Kamis	Order awal	60	180	120	60	120	180	180
	Realisasi	180	120	120	260	480	300	300
Jumat	Order awal	180	60	0	180	420	240	120
	Realisasi	300	180	0	180	420	120	120

Data *order* awal untuk minggu ke-8 diberikan sbb:

Tabel 2. Data Order Awal Produksi Untuk Minggu Ke-8

Hari	\bar{d}_{t8}
Senin	180
Selasa	180
Rabu	240
Kamis	240
Jumat	0

Langkah inisialisasi awal

Langkah 1 Menentukan delta permintaan ($\delta_{ti} = d_{ti} - \bar{d}_{ti}$) berdasarkan data historis.

Tabel 3. Delta Permintaan

Hari	Delta Permintaan (δ_{ti})							μ_i	σ_i
	δ_{t1}	δ_{t2}	δ_{t3}	δ_{t4}	δ_{t5}	δ_{t6}	δ_{t7}		
Senin	180	60	60	180	-300	0	180	51,43	171,21
Selasa	240	240	60	-180	840	180	-60	188,57	327,59
Rabu	0	60	120	-60	0	180	-60	34,29	90,71
Kamis	120	-60	0	200	360	120	120	122,86	135,86
Jumat	120	120	0	0	0	-120	0	17,14	82,81

Langkah 2 Menentukan permintaan dengan perubahan *order* awal ($S_t = \bar{d}_t + \mu_t$).

Tabel 5. Rencana Produksi

Hari	Rencana Produksi (S_{t8})
Senin	231,43
Selasa	368,57
Rabu	274,29
Kamis	362,86
Jumat	17,14

3.1 Hasil Rencana Produksi Untuk Minggu Ke-8

Setelah dilakukan inisialisasi awal, langkah selanjutnya adalah menentukan T , m dengan menggunakan algoritma pencarian solusi yang telah dibangun. Berikut adalah hasil dan pembahasan berdasarkan dua metoda heuristik (SM dan LUC):

Tabel 6. Jadwal Produksi, Ukuran Batch dan Buffer Stock dengan Metoda SM

Periode	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat
Order awal (unit)	231,43	368,57	274,29	362,86	17,14
Uk. batch produksi (unit)	231,43	642,86	0,00	380,00	0,00
Buffer stock (unit)	430,11	767,23	0,00	359,12	0,00
Ongk. simpan & buffer stck. (xRp.1000)	129,03	441,49	359,20	472,08	466,94
Ongkos setup (xRp.1000)	200,00	200,00	0,00	200,00	0,00
Ongkos transportasi (xRp.1000)	50,00	50,00	0,00	50,00	0,00
Ongkos backorder (xRp.1000)	16,52	70,50	0,00	33,00	0,00
Total ongkos relevan kumulatif (xRp.1000)	395,55	1157,54	1516,74	2271,82	2738,76

Tabel 7. Jadwal Produksi, Ukuran Batch dan Buffer Stock dengan Metoda LUC

Periode	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat
Order awal (unit)	231,43	368,57	274,29	362,86	17,14
Uk. batch produksi (unit)	874,29	0,00	0,00	362,86	17,14
Buffer stock (unit)	798,09	0,00	0,00	341,29	208,03
Ongk. simpan & buffer stck. (xRp.1000)	432,28	321,71	239,42	341,81	404,22
Ongkos setup (xRp.1000)	200,00	0,00	0,00	200,00	200,00
Ongkos transportasi (xRp.1000)	50,00	0,00	0,00	50,00	50,00
Ongkos backorder (xRp.1000)	124,14	0,00	0,00	13,11	7,99
Total ongkos relevan kumulatif (xRp.1000)	806,42	1128,13	1367,55	1972,47	2634,68

Dari Tabel (6) dan Tabel (7) menunjukkan hasil yang berbeda dalam penentuan jadwal produksi (*production run*) dengan menggunakan metoda SM dan LUC. Keduanya menghasilkan panjang *production run* yang sama ($T = 3$). Penentuan ukuran *batch* produksi dan *buffer stock* dengan pendekatan SM (pada Tabel 6)

menghasilkan, ukuran *batch* produksi untuk *production run* pertama adalah 231,43 unit (hanya hari Senin), untuk *production run* kedua sebesar 642,96 unit (produksi untuk Selasa dan Rabu) dan kemudian *production run* ketiga adalah 380,00 unit (hari Kamis dan Jumat) dan ketiga hasil ukuran *batch* tersebut tidak melebihi kapasitas produksi yaitu sebesar 3.000 unit. Sedangkan *buffer stock production run* pertama, kedua dan ketiga berturut-turut sebesar adalah 430,11 unit (hari Senin); 767,23 unit (Selasa dan Rabu) dan 359,12 (Kamis dan Jumat).

Total ongkos relevan kumulatif dengan menggunakan SM (ditunjukkan pada Tabel 6). Untuk *production run* pertama adalah = Rp. 129.034,41 + Rp. 200.000,00 + Rp. 50.000,00 + Rp. 16.522,21 = Rp. 395.556,61. Pada *production run* kedua diperoleh total ongkos relevan kumulatif = Rp. 800.696,37 (2 hari ongkos simpan) + Rp. 200.000,00 + Rp. 50.000,00 + Rp. 70.502,64 = Rp. 1.121.199,01. Kemudian pada *production run* ketiga diperoleh total ongkos relevan kumulatif = Rp. 939.023,18 (2 hari) + Rp. 200.000,00 + Rp. 50.000,00 + Rp. 33.000,20 = Rp. 1.222.023,38. Dengan demikian total ongkos relevan kumulatif selama tiga *production run* sebesar Rp. 2.738.779,00.

Bilamana menggunakan LUC, (Tabel 7) memperlihatkan ukuran *batch* pada *production run* pertama sebesar 874,29,43 unit (dilakukan mulai hari Senin hingga Rabu), untuk *production run* kedua sebesar 362,86 unit (hanya Kamis) dan *production run* ketiga adalah 17,14 unit (hanya Jumat). Sedangkan *buffer stock production run* pertama, kedua dan ketiga berturut-turut sebesar adalah 798,09 unit (3 hari); 341,29 unit (Kamis) dan 208,03 unit (Jumat).

Sedangkan total ongkos relevan kumulatif dengan menggunakan LUC (Tabel 7) menghasilkan total ongkos untuk *production run* pertama adalah = Rp. 993.428,49 (3 hari) + Rp. 200.000,00 + Rp. 50.000,00 + Rp. 124.140,84 = Rp. 1.367.569,33. Selanjutnya pada *production run* kedua diperoleh total ongkos relevan kumulatif = Rp. 341.815,59 + Rp. 200.000,00 + Rp. 50.000,00 + Rp. 13.110,24 = Rp. 604.925,83. Kemudian pada *production run* ketiga diperoleh total ongkos relevan kumulatif = Rp. 404.223,17 + Rp. 200.000,00 + Rp. 50.000,00 + Rp. 7.990,98 = Rp. 662.214,15. Maka total ongkos relevan kumulatif selama satu minggu (3 kali *production run*) adalah Rp. 2.634.709,29.

3.2 Eksperimen

Untuk mengevaluasi model yang dikembangkan, selanjutnya dilakukan uji eksperimen dengan perubahan *coefficient variation* (CV). CV merupakan perbandingan antara standar deviasi dan rata-rata.

$$CV_t = \frac{\sigma_t}{\mu_t} \tag{9}$$

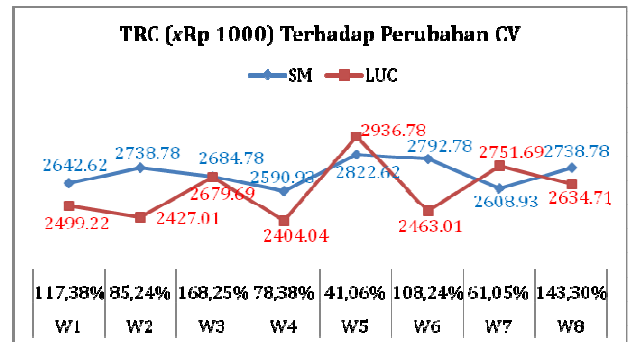
Eksperimen dilakukan dengan menggunakan data historis *order* awal dan realisasi permintaan. Berikut adalah Tabel 6 dengan perubahan CV untuk melakukan eksperimen.

Table 8. Nilai CV Untuk Eksperimen Minggu ke-1 Hingga ke-7

Hari	Coefficient Variation ($CV_{t,i}$)						
	CV_{t1}	CV_{t2}	CV_{t3}	CV_{t4}	CV_{t5}	CV_{t6}	CV_{t7}
Senin	99,87%	99,87%	99,87%	153,65%	36,32%	332,92%	99,87%
Selasa	106,16%	131,79%	106,16%	88,88%	76,44%	88,88%	67,05%
Rabu	264,58%	42,33%	96,21%	33,07%	17,64%	42,33%	33,07%
Kamis	74,30%	44,86%	55,94%	74,30%	55,94%	44,86%	44,86%
Jumat	42,00%	107,34%	483,05%	42,00%	18,94%	32,20%	60,38%
Rerataan	117,38%	85,24%	168,25%	78,38%	41,06%	108,24%	61,05%

Table 9. Nilai CV Untuk Eksperimen Minggu ke-8

Hari	CV Untuk Minggu ke-8 (CV_{t8})
Senin	73,98%
Selasa	88,88%
Rabu	33,07%
Kamis	37,44%
Jumat	483,13%
Rerataan	143,30%



Gambar 4. Grafik TRC Terhadap Perubahan CV untuk tiap Minggu

4 Penutup

Makalah ini mengembangkan model penentuan ukuran *batch* produksi dan *buffer stock* dengan mempelajari tentang pengaruh perubahan *order* awal yang berfluktuatif. Kondisi pasar yang cepat berubah, menyebabkan adanya perubahan *order* dan tidak sama pada setiap periodenya. Formulasi model matematik dikembangkan untuk permintaan yang berfluktuasi dengan pemecahan solusi yaitu metoda heuristik SM dan LUC. Pengembangan model dikembangkan berdasarkan model dasar Pujawan dan Silver. Pada model Pujawan dan Silver belum memper-timbangkan perubahan *order* dan ongkos *backorder* [4].

Pada contoh numerik yang diberikan bahwa metoda LUC cenderung memberikan total ongkos relevan yang lebih kecil (lebih baik) dibandingkan metoda SM (dapat dilihat pada eksperimen pada Gambar 4). Solusi yang diberikan adalah heuristik, oleh karena itu, rekomendasi

selanjutnya adalah dapat dikembangkan model dengan hasil yang analitik. Selain itu, berbasis pada model ini, dapat dikembangkan dengan adanya pembatas tingkat pelayanan (*service level constraint*) dan dapat juga mempertimbangkan proses produksi yang tidak sempurna.

Daftar Pustaka

- [1] Pujawan, I.N. (2004a), "Schedule Nervousness in A Manufacturing System: A Case Study", *Production Planning & Control-Taylor & Francis*, Vol. 15, No. 5, Hal: 515–524.
- [2] Pujawan, I.N. (2004b), "The Effect of Lot Sizing Rules on Order Variability", *European Journal of Operational Research*, No. 159, Hal: 617–635.
- [3] Pujawan, I.N., (2005), "*Supply Chain Management*", Guna Widya, Surabaya.
- [4] Pujawan, I.N. dan Silver, E.A. (2008), "Augmenting the Lot Sizing Order Quantity When Demand is Probabilistic", *European Journal of Operational Research*, Vol. 188, Hal: 705–722.
- [5] Saraswati, D., Cakravastia, A.R., Iskandar, B.I. dan Halim, A.H. (2009), "Model Penentuan Ukuran Lot Produksi Dengan Pola Permintaan Berfluktuasi", *Jurnal Teknik Industri*, Vol. 11, No. 2, Hal: 122–133.
- [6] Silver, E.A., Pyke, D.F. dan Peterson, R., (1998) "*Inventory Management and Production Planning and Scheduling 3rd ed.*", John Willey & Sons, New York.
- [7] Tersine, R.J., (1994), "*Principles of Inventory and Materials Management*", New York, North Holland.
- [8] Wangsa, Ivan D. (2012), *Penentuan Ukuran Batch dan Buffer Stock Dengan Mempertimbangkan Perubahan Order Awal*, Tesis Magister, Bidang Khusus Rekayasa Sistem Manufaktur, Program Studi Teknik dan Manajemen Industri, Institut Teknologi Bandung.