

Pengembangan Model *Variable Review Period* dengan Mempertimbangkan *Order Crossover*

Tanti Octavia^{1*}, Felecia¹

Abstract: In this paper, we propose a variable review period model using dynamic programming for order crossover problem. The proposed model is compared to an existing variable review period model and classical review period in terms of minimum inventory cost. The simulation is applied with six scenarios and sensitivity analysis is also done. The results show a variable review period model performs smaller inventory cost for small variation of lead-time compared to classical review period model. On the other hand, classical periodic review model is sensitive with the changes in the variation of demand distribution and service level. The proposed model gives the better solution compared to variable review period model for the six scenarios with the inventory cost saving as 11-42%. The sensitivity analysis for a variable review period model and a proposed model are applied and compared. From sensitivity analysis, it can be concluded variable review period with dynamic programming gives the best solution in terms of the changes of holding cost and ordering cost. It is also shown the smaller holding cost, the smaller percentage of inventory cost savings (between variable review model and the proposed model).

Keywords: Order crossover, variable review period model.

Pendahuluan

Saat ini perusahaan menghadapi lingkungan bisnis yang kompetitif, dimana diperlukan strategi yang tepat menghadapi tantangan dan permintaan konsumen. Strategi yang diterapkan oleh perusahaan selalu mempertimbangkan faktor efisiensi dan *responsiveness*. Efisiensi di sini bertujuan mengurangi biaya operasional.

Sebaliknya, *responsiveness* didesain untuk memberikan reaksi yang cepat dalam memuaskan keinginan konsumen. Kepuasan konsumen dapat dicapai dengan menyediakan tingkat inventori yang tinggi untuk memenuhi permintaan mereka. Sebagai konsekuensinya, biaya inventori yang harus ditanggung perusahaan semakin tinggi.

Inventori dalam sebuah perusahaan sangat dibutuhkan karena permintaan konsumen yang *unpredictable* dan *leadtime* pemesanan yang juga bervariasi. Faktor lainnya yang menjadi penyebab tingginya inventori adalah kedatangan barang pesanan yang tidak sesuai dengan urutan pemesanan, hal ini disebut *order crossover*. Srinivasan [11] menyatakan bahwa penyebab *order crossover* tidak selalu berhubungan dengan panjang rantai pasoknya. Faktor konsolidasi pengiriman, penjad

walan ulang di rantai produksi maupun penggunaan beberapa pemasok juga dapat menyebabkan terjadinya *order crossover*. Banyak penelitian tentang model inventori masih mengabaikan terjadinya *order crossover*. Beberapa model inventori klasik untuk permintaan yang bersifat probabilistic telah dikembangkan. Tiga model inventori klasik yang ada, yaitu: model *re-order point*, model untuk *single period (newsboy problem)*, dan model *classical periodic review*. Pada model *classical periodic review* order dilakukan secara rutin selama periode tertentu dengan penentuan jumlah barang yang di-pesan berdasarkan selisih antara target inventori dengan inventori yang ada saat itu.

Chan *et al* [3] mengusulkan sebuah algoritma yang mengoptimalkan pemenuhan pesanan dengan mempertimbangkan ketidakpastian pada *leadtime* produksi, *leadtime* transportasi, dan *leadtime due date*. Kulkayani dan Yan [6] mengembangkan model produksi dan inventori pada permintaan dan *leadtime* yang stokastik. Mereka mengasumsikan bahwa *leadtime* berdistribusi eksponensial dan order dapat atau tidak dapat diijinkan untuk bertukar.

Bradley and Robinson [2] mengevaluasi kebijakan *base-stock* pada kasus *order crossover*. Pengaplikasian *base-stock level (S)* pada *periodic review* mempertimbangkan distribusi permintaan selama *leadtime*. Mereka menyimpulkan bahwa kebijakan *base-stock* tidak cukup reliabel ketika terjadi *order crossover*. Bischak [1] mencoba mengembangkan model *periodic review* pada permintaan stokastik

¹ Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Kristen Petra, Surabaya
Email: tanti@petra.ac.id; felecia@petra.ac.id

*Penulis Korespondensi

dan *leadtime* yang bervariasi untuk kasus *order crossover*. Model usulan ini mencoba untuk menemukan nilai maksimum inventori dan *safety stock* yang menghasilkan biaya inventori minimum. Srinivasan [10] berusaha untuk menemukan formula yang optimal untuk kondisi *order crossover*. Penelitiannya berusaha membandingkan antara kebijakan *naive base-stock* (fenomena *order crossover* diabaikan) dengan kebijakan *base-stock* terbaik (mempertimbangkan *order crossover*). Simulasi dengan berbagai asumsi dilakukan untuk mendapatkan model terbaik dari kondisi *order crossover*.

Riezeboz [7] pada penelitiannya menyatakan bahwa teori klasik perlu dimodifikasi agar dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah *order crossover*.

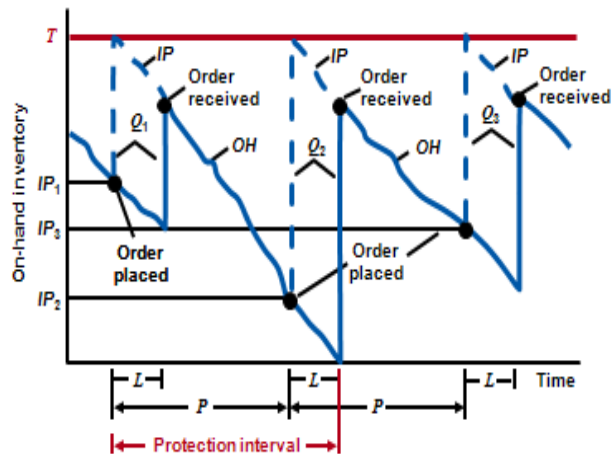
Gonzales [4] mencoba mengembangkan algoritma Wagner Whitin untuk menghasilkan solusi *lot size* optimal pada kasus *backorder*. Algoritma Wagner Whitin sendiri adalah algoritma *lot sizing* yang menghasilkan solusi optimal dengan menggunakan algoritma *forward recursive*. Selain itu, Sadjadi [9] juga merancang sebuah model usulan perbaikan algoritma Wagner Whitin untuk permasalahan *lot sizing* dengan mengacu pada konsep *economic order period* dengan mengijinkan terjadinya *backorder*.

Pada penelitian ini akan dilakukan pengembangan model pada kasus *order crossover*. Makalah ini akan dibagi menjadi empat bagian. Bagian pertama berisi pendahuluan, dan bagian kedua berisi metode penelitian serta usulan pengembangan model. Bagian ketiga dan terakhir merupakan hasil pembahasan dan simpulan dari penelitian yang telah dilakukan.

Metode Penelitian

Notasi yang digunakan dalam model ini adalah:

- P : *periodic review*
- L : *lead time*
- T : *total inventory*
- D : *demand*
- z : nilai distribusi normal
- σ : standar deviasi
- t : periode waktu, $t = 1, 2, 3, \dots, 12$
- TC_t : total biaya inventori pada periode t
- oc : biaya per pemesanan
- h : biaya simpan per unit per periode
- I_t : jumlah *on hand inventory* pada periode t
- so : biaya *stockout* per unit per periode
- S_t : jumlah *stockout* pada periode t
- Q_j : jumlah pemesanan pada periode pemesanan j
- L_j : *lead time* dari pemesanan j
- M_t : Stok minimum yang dibutuhkan sebelum periode t



Gambar 1. Model *Classical Periodic Review* [5]

- o_j : waktu pemesanan ke j
- r_j : waktu penerimaan ke j
- E_{o_j} : posisi *echelon inventory* pada saat o_j
- $Z_t(I)$: total biaya inventori hingga periode ke- t
- $O = \{o_j; j = 1, \dots, J\}$: himpunan waktu pemesanan, dimana ($o_j < o_{j+1}$)
- $R = \{r_j; j = 1, \dots, J\}$: himpunan waktu penerimaan ($r_j = o_j + L_j$)
- $D_{0_j, 0_j - o_{j-1}}^{act}$: permintaan aktual di antara dua kejadian pemesanan
- $\hat{D}_{o_j, r_{j+1} - o_j}^{o_j}$: peramalan permintaan pada saat o_j yang dihitung dari o_j sampai sebelum pesanan berikutnya datang
- $M_{r_{j+1}}$: minimum inventori sebelum kedatangan pesanan berikutnya pada $j + 1$
- $F(Q_t, I_t)$: total biaya inventori untuk memesan Q_t unit pada periode t

Model *Classical Periodic Review*

Model *Classical Periodic review* merupakan model pengendalian inventori yang meninjau posisi barang inventarisasi secara periodik (Gambar 1) [5]. Model ini akan menyederhanakan penjadwalan pemesanan barang dengan interval waktu yang tetap pada akhir periode.

Kebijakan pemesanan akan dilakukan pada setiap akhir periode dengan memonitor selisih target inventori level dari persediaan yang dimiliki periode itu. Permintaan merupakan variabel acak, sehingga total permintaan pada setiap periode akan berbeda-beda.

Jumlah pemesanan sebesar Q dilakukan di akhir periode. Jarak antara waktu pemesanan hingga datangnya pesanan disebut sebagai *lead time* (L).

On-hand inventory (OH) merupakan persediaan yang dimiliki perusahaan pada periode tersebut, termasuk pemesanan yang masih belum datang.

$$T = D_{P+L} + SS \tag{1}$$

$$SS = z\sigma_{P+L} \tag{2}$$

$$TC_t = oc + hI_t + soS_t \tag{3}$$

Model Variable Review Period dengan Order Crossover

Riezebos and Gaalman [8] menggambarkan persamaan matematika untuk model *variable review period* dengan memperhatikan *order crossover* sebagai berikut:

$$Q_j = \widehat{D}_{O_j, r_{j+1}-O_j}^{O_j} + M_{r_{j+1}} - E_{O_j} \tag{4}$$

Persamaan (4) menunjukkan jumlah barang yang harus dipesan pada setiap periode pemesanan dengan memperhatikan perkiraan permintaan sebelum pemesanan berikutnya datang, stok minimum, dan juga posisi *echelon inventory* saat ini.

$$E_{O_j} = I_{O_j} + \sum_{t: Q_t < Q_j \wedge r_t \geq O_j} Q_t \tag{5}$$

$$E_{O_j} = E_{O_{j-1}} + Q_{j-1} - D_{O_{j-1}, O_j - O_{j-1}}^{act} \tag{6}$$

Persamaan (5) dan persamaan (6) menunjukkan variabel E_{O_j} (jumlah inventori yang seharusnya dimiliki yaitu *echelon inventory*) dipengaruhi oleh dua komponen, yaitu: inventori yang dimiliki saat ini dan jumlah barang yang telah dipesan tetapi belum datang ($t : O_t < O_j$) and $r_j \geq O_j$).

Usulan Pengembangan Model: Model Variable Review Period Dynamic Programming

Algoritma usulan ini mengkombinasikan antara model *variable review period* dengan konsep algoritma Wagner Whitin untuk permasalahan *order crossover*. Cara kerja algoritma Wagner Whitin dengan menerapkan konsep *dynamic programming-forward recursive*.

Beberapa asumsi yang digunakan dalam model ini adalah:

1. Model *horizon* bersifat diskrit $t = 1, \dots, T$
2. Permintaan untuk periode mendatang didapatkan dari peramalan permintaan
3. Kekurangan permintaan hanya dipenuhi oleh *safety stock*, dan jika *safety stock*=0 maka permintaan dianggap sebagai *stockout*

Berikut langkah-langkah model *variable review period dengan dynamic programming*:

Iterasi 1

1. Menghitung semua kemungkinan pemesanan untuk semua periode $t = 1, \dots, 12$

$$F(Q_j, I_t) = \begin{cases} hI_t, & Q_j \leq 0 \\ oc + hI_t + soS_t & Q_j > 0 \end{cases}$$

dimana:

$$Q_j = D_{Q_j, r_{j+1}-Q_j}^{O_j} + M_{r_{j+1}} - E_{O_j}$$

$$E_{O_j} = I_{O_j} + \sum_{t: O_t < O_j \wedge r_t \geq O_j} Q_t$$

$$E_{O_j} = E_{O_{j-1}} + Q_{j-1} - D_{O_{j-1}, O_j - O_{j-1}}^{act}$$

2. Menghitung total biaya inventori dari semua alternatif pemesanan yang memungkinkan dari periode 1 hingga periode 12.

$$Z_t(I) = \min[F(Q_j, I_t) + Z_{t-1}(I)]$$

Iterasi 2

1. Menghitung semua kemungkinan pemesanan untuk semua periode $t = 2, 3, 4, \dots, 12$

$$F(Q_t, I_t) = \begin{cases} hI_t, & Q_t = 0 \\ oc + hI_t + soS_t & Q_t > 0 \end{cases}$$

dimana:

$$Q_j = D_{Q_j, r_{j+1}-Q_j}^{O_j} + M_{r_{j+1}} - E_{O_j}$$

$$E_{O_j} = I_{O_j} + \sum_{t: O_t < O_j \wedge r_t \geq O_j} Q_t$$

$$E_{O_j} = E_{O_{j-1}} + Q_{j-1} - D_{O_{j-1}, O_j - O_{j-1}}^{act}$$

2. Menghitung total biaya inventori dari semua alternatif pemesanan yang memungkinkan dari periode 2 hingga periode 12.

$$Z_t(I) = \min[F(Q_j, I_t) + Z_{t-1}(I)]$$

Iterasi 3

1. Menghitung semua kemungkinan pemesanan untuk semua periode $t = 3, 4, 5, \dots, 12$

$$F(Q_t, I_t) = \begin{cases} hI_t, & Q_t = 0 \\ oc + hI_t + soS_t & Q_t > 0 \end{cases}$$

dimana:

$$Q_j = D_{Q_j, r_{j+1}-Q_j}^{O_j} + M_{r_{j+1}} - E_{O_j}$$

$$E_{O_j} = I_{O_j} + \sum_{t: O_t < O_j \wedge r_t \geq O_j} Q_t$$

$$E_{O_j} = E_{O_{j-1}} + Q_{j-1} - D_{O_{j-1}, O_j - O_{j-1}}^{act}$$

2. Menghitung total biaya inventori dari semua alternatif pemesanan yang memungkinkan dari periode 3 hingga periode 12.

$$Z_t(I) = \min[F(Q_j, I_t) + Z_{t-1}(I)]$$

Iterasi ini terus berlanjut hingga menghitung semua kemungkinan pemesanan pada saat $t = 12$ maka besarnya total biaya inventori untuk ke-12 periode:

$$Z_{12}(I) = \min[F(Q_{12}, I_{12}) + Z_{t-1}(I)]$$

Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini model *classical periodic review* dan model *variable review period* dibandingkan berdasarkan minimum total biaya inventori. Model *variable review period* yang digunakan mengacu pada model yang diusulkan Riezebos and Gaalman [7]. Model terbaik diantara keduanya akan di-

bandingkan dengan usulan model *variable review period* dengan *dynamic programming*.

Tiap model ini disimulasikan dengan enam skenario. Tiap skenario diiterasi sebanyak 100 kali dimana masing-masing iterasi dijalankan untuk 12 periode permintaan. Permintaan dan *leadtime* bersifat *static probabilistic*, ini berarti pola permintaan dan pola *leadtime* berasal dari distribusi yang sama. Permintaan dan *Leadtime* didapatkan dengan membangkitkan bilangan random dengan distribusi data dapat dilihat pada Tabel 1. Biaya yang digunakan pada simulasi ini adalah:

- Biaya simpan (*h*): 10/unit/period
- Biaya *stockout* (*so*): 50/unit/period
- Biaya pesan (*oc*): 100/unit/period
- Inventori awal: 200 unit
- Service level: 95%

Hasil simulasi model *variable review period* dan *classical periodic review* untuk keenam skenario dapat dilihat pada Tabel 2. Besarnya persentase penghematan biaya yang didapatkan dari *variable review period* jika dibandingkan dengan *classical periodic review* menunjukkan angka yang berbeda-beda pada keenam skenario. Model *variable review period* dapat menghasilkan biaya total yang lebih minimum dibandingkan dengan model *classical periodic review* pada empat skenario, yaitu skenario 1, 3, 4, dan 6.

Gambar 2 menunjukkan adanya pola yang tidak berbeda di antara dua distribusi permintaan yang berbeda. Hasil simulasi juga menunjukkan bahwa model *variable review period* akan menghasilkan biaya inventori yang lebih minimum secara signifikan pada saat *variasi leadtime* yang pendek.

Biaya inventori yang semakin besar terjadi ketika variasi permintaan dan *lead time* semakin besar pada kedua model. Hal ini dikarenakan pada model *classical periodic review*, variasi permintaan yang semakin besar akan memperbesar nilai target inventori level. Tingginya target inventori level akan menyebabkan besarnya biaya simpan dan biaya pesan. Pada model *variable review period*, baik variasi permintaan maupun *lead time* akan menimbulkan kemungkinan terjadinya biaya *stockout* yang lebih besar. *Stockout* ini terjadi karena pesanan tidak datang secepatnya, sementara persediaan inventori telah habis.

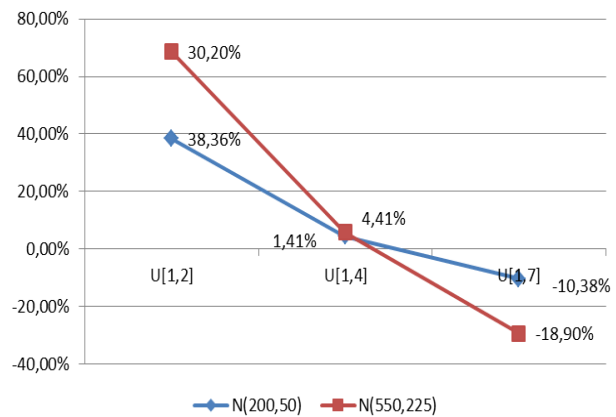
Selain variasi permintaan dan *leadtime*, target inventori level ini sangat dipengaruhi oleh besarnya *service level*. Oleh karenanya, pada penelitian ini juga dilakukan analisa sensitivitas perubahan *service level* terhadap total biaya inventori.

Tabel 1. Distribusi permintaan dan *leadtime* pada masing-masing skenario

No.	Skenario	Permintaan	Lead-time
1	Skenario 1	N(200,50)	U[1,2]
2	Skenario 2	N(200,50)	U[1,4]
3	Skenario 3	N(200,50)	U[1,7]
4	Skenario 4	N(550,225)	U[1,2]
5	Skenario 5	N(550,225)	U[1,4]
6	Skenario 6	N(550,225)	U[1,7]

Tabel 2. Perbandingan rata-rata total biaya inventori model *classical periodic review* dan *variable review period*

Skenario (1)	Perbandingan biaya (rata-rata)		Persentase penghematan biaya ((2) - (3))/(2)
	<i>Classical periodic review</i> (2)	<i>Variable review period</i> (3)	
1	53.829	33.181	38,36%
2	69.099	66.050	4,41%
3	114.583	126.477	-10,38%
4	195.123	136.189	30,20%
5	258.896	255.242	1,41%
6	383.921	456.472	-18,90%



Gambar 2. Grafik persentase penghematan biaya antara model *classical periodic review* dan *variable review period*

Skenario satu dikembangkan untuk mengetahui seberapa besar *service level* pada model *classical periodic review* yang dapat menghasilkan biaya mendekati model *variable review period*. *Service level* yang digunakan pada model *variable review period* tetap sebesar 95%.

Tabel 3 menunjukkan model *Classical periodic review* akan memiliki biaya yang mendekati model *variable review period*, ketika *service level* model *classical periodic review* diturunkan menjadi 90%. Artinya, kemungkinan terjadinya kehilangan penjualan perusahaan akan lebih besar jika menggunakan model *classical periodic review*. Sehingga dapat disimpulkan bahwa model *variable review period* memberikan total biaya inventori yang minimum dengan *service level* yang lebih tinggi pada kondisi variasi *leadtime* kecil.

Tabel 3. Pengaruh biaya terhadap perubahan *service level* antara *classical periodic review* dengan *variable review period*

<i>Classical periodic review</i>			<i>Variable review period</i> (<i>service level 95%</i>)
<i>Service level</i>	Z	Total biaya	
95%	1,645	69.099	66.050
90%	1,28	66.039	

Tabel 4. Hasil perbandingan perhitungan rata-rata total biaya inventori model *variable review period* dan *variable review period* dengan *dynamic programming*

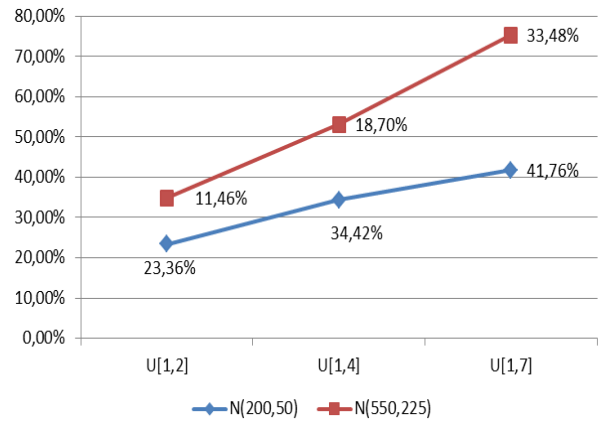
Skenario (1)	Perbandingan biaya (rata-rata)		Persentase penghematan biaya ((2) – (3))/(2)
	<i>Variable review period</i> (2)	<i>Variable review period</i> dengan <i>dynamic programming</i> (3)	
1	33.181	25.430	23,36%
2	66.050	43.316	34,42%
3	126.477	73.655	41,76%
4	136.189	120.587	11,46%
5	255.242	207.500	18,70%
6	456.472	303.631	33,48%

Tabel 5. Perubahan biaya simpan untuk model *variable review period* dan model *classical periodic review*

Biaya simpan (1)	<i>Variable review period</i> (2)	<i>Classical periodic review</i> (3)	Persentase penghematan biaya ((2) – (3))/(2)
5	55709	46459	-19,91%
10	66050	69099	4,41%
50	148781	250215	40,54%
75	200488	363413	44,83%
100	252195	476611	47,09%

Simulasi berikutnya adalah membandingkan model *variable review period* dengan usulan model *variable review period* dengan *dynamic programming* pada keenam rancangan skenario. Hasil simulasi menunjukkan usulan model *variable review period* dengan *dynamic programming* dapat menghasilkan biaya total yang lebih minimum dibandingkan dengan model *variable review period* pada semua skenario. Biaya penghematan yang dihasilkan sebesar 11%-42% dengan detail hasil perbandingan biaya inventori dapat dilihat pada Tabel 4.

Dilihat dari segi permintaan, semakin besar variasi permintaan maka persentase penghematan yang didapatkan semakin kecil. Hal ini terjadi karena pada *variable review period* pemesanan dilakukan hanya menggunakan peramalan permintaan satu periode ke depan. Model *Variable review period* dengan *dynamic programming* dalam memutuskan jumlah pemesanan optimal memperhitungkan peramalan permintaan beberapa periode ke depan.



Gambar 3. Grafik persentase penghematan biaya antara model *variable review period* dan *variable review period* dengan *dynamic programming*

Gambar 3 menunjukkan persentase penghematan biaya memiliki kecenderungan untuk meningkat ketika variasi *lead time* membesar. Ini berarti model *Variable review period* dengan *dynamic programming* lebih tangguh dibandingkan *variable review period* apabila untuk variasi *lead time* yang besar.

Keandalan model usulan ini dikarenakan model ini mencari total biaya inventori minimum semua alternatif pemesanan yang mungkin. Alternatif yang menimbulkan biaya besar pada suatu periode tidak akan diperhitungkan pada periode pemesanan yang berikutnya. Dapat dipastikan bahwa pada akhir periode pemesanan keputusan yang diambil adalah keputusan terbaik yang menghasilkan biaya paling minimum.

Analisa Sensitivitas

Analisa sensitivitas dilakukan untuk model *classical periodic review*, *variable review period* dan *variable review period* dengan *dynamic programming*. Analisa sensitivitas dijalankan untuk melihat seberapa besar pengaruh perubahan biaya simpan dan biaya pesan terhadap total biaya inventori yang terjadi antara dua model tersebut. Perubahan biaya simpan per unit per periode sebesar 5, 10, 50, 75, dan 100. Sedangkan perubahan biaya pesan untuk sekali pesan sebesar 10, 50, 100, 1000, dan 10000.

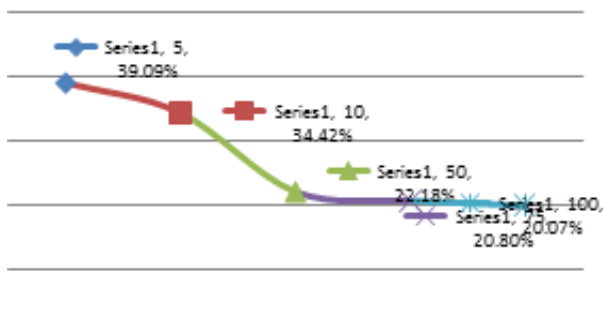
Tabel 5 menunjukkan bahwa peningkatan biaya simpan menaikkan besarnya persentase penghematan biaya. Performa model *variable review period* akan semakin bagus pada biaya simpan yang tinggi. Hal ini terjadi karena model *classical periodic review* memiliki kecenderungan untuk melakukan pemesanan pada setiap akhir periode untuk mencapai target inventori levelnya. Sebagai konsekuensinya, inventori tiap periodenya tinggi sehingga beban biaya simpan juga tinggi.

Tabel 6. Perubahan biaya simpan untuk model *variable review period* dan model *variable review period* dengan *dynamic programming*

Biaya simpan (1)	Variable review period (2)	Perbandingan biaya	
		variable review period dengan dynamic programming (3)	Persentase penghematan biaya ((2) – (3))/(2)
5	55.709	33.930	39,09%
10	66.050	43.316	34,42%
50	148.781	115.783	22,18%
75	200.488	158.794	20,80%
100	252.195	201.584	20,07%

Tabel 7. Perbandingan perubahan biaya pesan untuk *variable review period*, *classical periodic review*, dan *variable review period* dengan *dynamic programming*

Biaya pesan	Perbandingan biaya		
	Classical periodic review	Variable review period	Variable review period dengan dynamic programming
10	68.019	65.324	42.758
50	68.499	65.647	43.006
100	69.099	66.050	43.316
1000	79.899	73.313	48.863
10000	187.899	145.943	96.305



Gambar 4. Grafik perubahan biaya simpan pada persentase penghematan biaya antara model *variable review period* dan *variable review period* dengan *dynamic programming*.

Sementara itu, jika model *variable review period* dibandingkan dengan model *variable review period* dengan *dynamic programming* maka akan terlihat bahwa semakin besar biaya simpan, semakin kecil persentase penghematan biaya. Detail perubahan biaya simpan dan persentase penghematan biaya dapat dilihat pada Tabel 6.

Gambar 4 menunjukkan bahwa perubahan biaya simpan 50, 75, dan 100 memberikan penghematan biaya yang relatif stabil, yaitu sekitar 20-22%.

Secara umum dapat disimpulkan bahwa hingga biaya simpan sebesar 100 model *variable review*

period dengan *dynamic programming* tetap menghasilkan total biaya inventori paling minimum dibandingkan dua model lainnya.

Model *variable review period* dengan *dynamic programming* tetap menghasilkan total biaya inventori yang paling minimum pada kenaikan perubahan biaya pesan hingga 1000 kali lipat (Tabel 7).

Hal ini terjadi karena pada akhir periode, model *classical periodic review* harus mencapai target inventori yang ditentukan. Nilai target inventori level ini dipengaruhi oleh *safety stock* dan rata-rata permintaan selama *leadtime* serta rata-rata permintaan periode review-nya. Model *variable review period* hanya dipengaruhi oleh *safety stock* saja. Oleh karena itu di akhir periode, kemungkinan model *classical periodic review* untuk melakukan pemesanan lebih besar dibandingkan dengan model *variable review period*.

Hasil simulasi juga menunjukkan bahwa perubahan biaya pesan ternyata tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan persentase penghematan biaya inventori yang dihasilkan antara model *variable review period* dengan model usulan. Persentase penghematan biaya berada pada kisaran 33-34%. Hal ini dikarenakan frekuensi pemesanan yang terjadi hampir pada skenario kedua model ini hampir sama. Dapat disimpulkan baik model *variable review period* maupun *variable review period* (*dynamic programming*) tidak sensitif terhadap perubahan biaya pesan.

Simpulan

Pada kasus *order crossover*, model *variable review period* menghasilkan total biaya inventori yang lebih minimum dibandingkan model *classical periodic review* hanya pada variasi *leadtime* yang pendek. Usulan pengembangan model *variable review period* memberikan hasil yang paling minimum dibandingkan dua model di atas.

Model *variable review period* dengan *dynamic programming* menghasilkan total biaya inventori yang lebih minimum pada semua range *leadtime* yang dibandingkan model *variable review period*. Besarnya penghematan rata-rata total biaya inventori antara 11-42%.

Semakin besar biaya simpan maka model *variable review period* semakin memberikan performa yang baik dari segi biaya inventori dibandingkan *classical periodic review*. Sementara itu, semakin besar biaya simpan maka persentase penghematan biaya inventori antara model *variable review period* dengan model *variable review period* dengan *dynamic programming* semakin kecil. Secara umum, model *variable review period* dengan *dynamic programming*

menghasilkan total biaya inventori yang paling minimum hingga perubahan biaya simpan sebesar 100.

Model *variable review period* dengan *dynamic programming* tetap menghasilkan keputusan dengan total biaya inventori untuk kenaikan biaya pesan hingga 100 kali lipat. Pengaruh kenaikan biaya pesan sendiri tidak berpengaruh secara signifikan terhadap perubahan persentase penghematan biaya inventori antara model *variable review period* dengan model *variable review period* dengan *dynamic programming*. Perubahan biaya pesan hingga 100 kali lipat menghasilkan kisaran persentase penghematan biaya antara 33-34%.

Usulan model *review period* dengan *dynamic programming* pada kasus order crossover ini dapat dikembangkan lebih lanjut untuk permasalahan *perishable product*.

Daftar Pustaka

1. Bischak, D. P., Robb, D. J., Silver, E. A., and Blackburn, J. A., Analysis and Management of Periodic Review, Order Up-To-Level Inventory Systems with Order Crossover, *Production and Operations Management*, 23(5), 2014, pp. 762-772.
2. Bradley, J. R., and Robinson, L. W., *Improved Base-Stock Policies under Order Crossover*, Working Paper, Cornell University, 2003.
3. Chan, Felix T. S., Chung, S. H., and Choy, K. L., Optimization of Order Fulfillment in Distribution Network Problems, *Journal Intelligent Manufacturing*, 17, 2006, pp. 307-319.
4. Gonzales, J., and Tullous, R., Optimal Lot Size Decisions Using the Wagner-Whitin Model with Backorders: A Spreadsheet Version, *Second World Conference on POM and 15th annual POM Conference*, Cancun, Mexico, April 30-May 3, 2004.
5. Krajewski, L. J., and Ritzman, L. P., *Operations Management: Strategy and Analysis*, Edisi 6. London: Prentice-Hall International, 2002.
6. Kulkarni, V., and Yan K., Production-Inventory Systems in Stochastic Environment and Stochastic Lead Times, *Springer Queueing Syst*, 70, 2012, pp. 207-231.
7. Riezebos, J., Inventory Order Crossovers, *International Journal of Production Economics*, 2(104), 2006, pp. 666-675.
8. Riezebos, J., and Gaalman, G.J.C., *Modeling Expected Inventory Order Crossovers*, Pre-prints of the Fourteenth International Working Seminar on Production Economics 4. Innsbruck, Austria, February 20-24, 2006, 137-148.
9. Sadjadi, S. J., Aryanezhad, Mir.B.Gh, and Sadeghi, H. A., An Improved WAGNER-WHITIN Algorithm, *International Journal of Industrial Engineering & Production Research*, 20, 2009, pp. 117-123
10. Srinivasan, M. *Optimal and Approximate Policies for Periodic Review Inventory Systems: The Case of Order Crossover and Multiple Supply Options*, Thesis. The Pennsylvania State University, 2007.
11. Srinivasan, M., Novack, R., and Thomas, D., Optimal and Approximate Policies for Inventory Systems with Order Crossover, *Journal of Business Logistics*, 32 (2), 2011, pp. 180-193.