

ANALISIS SENSITIVITAS MODEL P(R,T) MULTI ITEM DENGAN ADANYA KENAIKAN HARGA

Handi Koswara^{1*}, Dharma Lesmono²

¹Magister Teknik Industri, Program Pascasarjana, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung,

²Jurusan Matematika, Fakultas Teknologi Informasi dan Sains, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung,
Jalan Merdeka No. 30, 40117

*handi.koswara24@gmail.com

ABSTRAK

Persediaan merupakan faktor penting dalam perusahaan karena di dalam persediaan terdapat beberapa biaya, diantaranya biaya penyimpanan, biaya pemesanan, biaya pembelian, dan biaya kekurangan persediaan. Dalam kenyataan, perusahaan dapat memesan lebih dari satu bahan baku ke *supplier*. Di dalam dunia industri, *supplier* seringkali mengumumkan kenaikan harga, tetapi waktu kenaikan harga tidak diketahui oleh perusahaan. Karena waktu kenaikan harga yang tidak menentu, maka perusahaan akan sulit untuk menentukan apakah perlu untuk melakukan *special order* atau tidak. Pada penelitian ini dikembangkan model persediaan *periodic review* dimana terdapat enam buah barang dengan dua barang diantaranya mengalami kenaikan harga. Di dalam penelitian ini juga dilakukan analisis sensitivitas terhadap waktu kenaikan barang. Dengan mempertimbangkan semua kemungkinan waktu kenaikan harga, dapat ditentukan apakah *special order* perlu dilakukan atau tidak.

Kata kunci: persediaan, kenaikan harga, *special order*, analisis sensitivitas

ABSTRACT

Inventory becomes an important factor in business because there are costs involved in it, such as holding cost, ordering cost, purchasing cost, and stock out cost. In reality, company can order more than one raw materials from its supplier. In reality the increased price is known but the time of increase price is unknown to the company. Therefore, enterprise hardly take decision whether take special order or not. In this paper, we consider a periodic review model with six items, where the price of two of them will increase. We will do sensitivity analysis on the time of the increased price. By examining all possible conditions on the time of price increases, the company can make the right decision whether to take special order or not.

Keywords : *inventory, price increases, special order, sensitivity analysis*

PENDAHULUAN

Pada zaman sekarang, dunia usaha seperti industri, pabrik, dan sebagainya berkembang dengan pesat. Setiap perusahaan harus bekerja lebih efisien untuk menghadapi persaingan yang ketat dengan perusahaan yang lainnya. Konsumen yang merupakan target dari perusahaan menjadi semakin selektif dalam memilih barang yang akan dibelinya. Salah satu yang dipertimbangkan oleh konsumen adalah ketersediaan produk.

Setiap perusahaan pasti berhubungan dengan persediaan. Persediaan adalah bahan baku, barang setengah jadi, atau barang jadi yang disimpan untuk memenuhi permintaan dari konsumen atau pasar. Persediaan juga dapat diartikan sebagai *stock* barang yang akan

dijual atau digunakan pada periode tertentu. Persediaan merupakan faktor penting dalam perusahaan karena melibatkan beberapa biaya, diantaranya biaya penyimpanan, biaya pemesanan, dan juga biaya pembelian. Membeli barang terlalu banyak akan mengakibatkan biaya penyimpanan menjadi besar, sedangkan memesan terlalu sedikit maka akan menyebabkan biaya pemesanan menjadi besar. Oleh karena itu, diperlukan pengaturan untuk menentukan jumlah barang yang harus dipesan atau waktu untuk melakukan pemesanan sehingga biaya yang dikeluarkan sekecil mungkin.

Suatu perusahaan biasanya menyediakan lebih dari satu jenis barang. Perusahaan tersebut akan memesan barang lebih dari satu

jenis barang kepada *supplier* untuk memproduksi berbagai jenis barang.

Di dalam dunia industri, *supplier* sering kali mengumumkan bahwa barang yang dijualnya akan mengalami kenaikan harga, tetapi *supplier* tidak memberitahu secara pasti kapan harga barang tersebut naik. Dengan adanya kenaikan harga dan waktu kenaikan harga yang tidak menentu, perusahaan akan sulit untuk menentukan apakah akan memesan barang dengan jumlah yang banyak (*special order*) atau tidak. Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan keputusan yang harus diambil oleh perusahaan terkait waktu kenaikan harga dari suatu barang.

Pada penelitian ini, digunakan beberapa notasi yaitu :

k	=	Besar kenaikan harga.
P	=	Harga barang sebelum harga naik.
C	=	Biaya pemesanan satu barang untuk sekali pemesanan.
I	=	Fraksi tahunan biaya pemesanan.
λ	=	Permintaan per tahun.
q_i	=	Jumlah stok barang ke i ketika <i>special order</i> dilakukan.
Q^*	=	<i>EOQ</i> (<i>Economic Order Quantity</i>) sebelum harga naik.
Q_a^*	=	<i>EOQ</i> (<i>Economic Order Quantity</i>) setelah harga naik.
\hat{Q}	=	Jumlah barang yang dipesan pada <i>special order</i> .
T	=	Waktu antar pemesanan.
μ_i	=	Rata-rata permintaan selama <i>lead time</i> .
R	=	Maksimum persediaan.
π	=	Biaya <i>backorder</i> per unit.
a	=	Tambahan biaya pemesanan jika memesan lebih dari satu barang.
TC	=	Biaya total per tahun.
$E(R,T)$	=	Rata-rata jumlah barang yang menyebabkan <i>backorder</i> .
B	=	Biaya pembelian.
S_s	=	Biaya penyimpanan selama periode <i>special order</i> .
S_1	=	Biaya penyimpanan pada model P(R,T).
S_p	=	Biaya penyimpanan selama periode penyesuaian.
S_{t_i,t_j}	=	Biaya penyimpanan dari $t = t_i$ sampai $t = t_j$.

BB_1	=	Biaya <i>backorder</i> pada model P(R,T).
Q_p	=	Jumlah barang yang dipesan pada periode penyesuaian.
Q_{t_i,t_j}	=	Rata-rata barang yang disimpan dari $t = t_i$ sampai $t = t_j$.
$\lfloor x \rfloor$	=	Bilangan bulat terbesar yang lebih kecil atau sama dengan x .
j	=	Jumlah barang.

Tersine (1994) telah mengembangkan model untuk menentukan jumlah barang yang harus dipesan ketika ada kenaikan harga agar jumlah *saving* maksimum. Jumlah barang yang harus dipesan adalah

$$\hat{Q}^* = \frac{k\lambda}{PI} + \frac{(P+k)Q_a^*}{P} - q \quad (1)$$

Hadley & Whitin, (1963) membuat model *periodic review* (P(R,T)). Total biaya dalam model ini adalah

$$TC = \frac{C}{T} + IP \left(R - \mu_i - \frac{\lambda T}{2} \right) + \pi E(R,T) \quad (2)$$

Aritonang, et al. (2014) menggabungkan dan mengembangkan model yang dibuat oleh Tersine. (1994) dan Hadley & Whitin, (1963). Model persediaannya adalah

$$TC = \frac{C + (n-1)a}{T} + \sum_{i=1}^n IP_i \left(R_i - \mu_{i_i} - \frac{\lambda_i T_i}{2} \right) + \sum_{i=1}^n \pi_i E(R,T)_i. \quad (3)$$

Dalam makalah ini, terdapat enam buah barang dimana dua diantaranya mengalami kenaikan harga dan waktu kenaikan harga barang 2 tidak diketahui.

Pada penelitian ini, dikembangkan model yang telah dibuat oleh Aritonang, et al. (2014). Pengembangannya adalah waktu kenaikan harga dari salah satu barang tidak menentu. Ada beberapa asumsi yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain :

1. Tidak ada *backorder* pada periode melakukan *special order* dan pada periode penyesuaian.
2. Permintaan mengikuti distribusi normal.
3. *Special order* dilakukan pada barang 1 dan waktu kenaikan harga barang diketahui.
4. Harga barang 2 akan naik setelah harga barang 1 naik.

METODE

Dalam penelitian ini digunakan data sekunder yang berasal dari Aritonang, et al. (2014). Pada tabel 1 dan 2 diberikan data permintaan barang, harga jual bahan baku, biaya penyimpanan, dan biaya *backorder*.

Tabel 1. Permintaan barang per minggu

Barang	Mean (unit/minggu)	Standard Deviation (unit/minggu)
1	39,61	13,67
2	8,96	3,55
3	4,01	1,21
4	17,88	6,9
5	8,92	3,96
6	2,34	1,04

Tabel 2. Harga jual barang, biaya penyimpanan, dan biaya *backorder*

Harga jual bahan baku per unit	
Barang	Harga jual (Rp)
1	2.560.250
2	2.327.500
3	1.745.625
4	2.189.700
5	1.946.400
6	1.396.500

Biaya penyimpanan per unit per tahun

Barang	Biaya penyimpanan (Rp)
1	139.142
2	127.679
3	95.654
4	121.196
5	107.868
6	81.021

Biaya *backorder* per unit per tahun

Barang	Biaya <i>backorder</i> (Rp)
1	247.000
2	213.200
3	143.000
4	148.200
5	138.840
6	85.800

Biaya pemesanan untuk satu kali pemesanan satu barang adalah 118.682 dan jika memesan lebih dari 1 barang maka perusahaan dapat melakukan *saving*, sehingga biayanya adalah $118.682 + (j-1)6836$. Barang 1 dan barang 2 mengalami kenaikan harga, sehingga harga jual, biaya penyimpanan, dan biaya *backorder* mengalami kenaikan juga. Tabel 3 menyatakan harga jual, biaya penyimpanan, dan biaya *backorder* setelah harga naik.

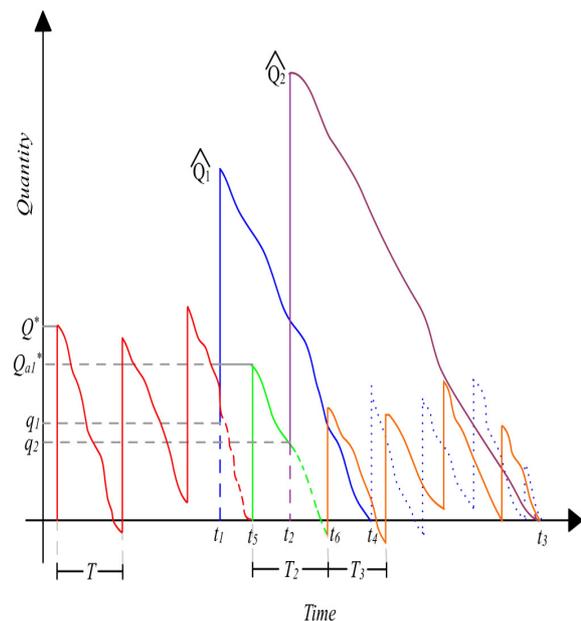
Tabel 3. Harga jual barang, biaya penyimpanan, dan biaya *backorder*

Harga jual bahan baku per unit	
Barang	Harga jual (Rp)
1	2.765.070
2	2.560.250

Biaya penyimpanan per unit per tahun	
Barang	Biaya simpan (Rp)
1	149.793
2	139.782

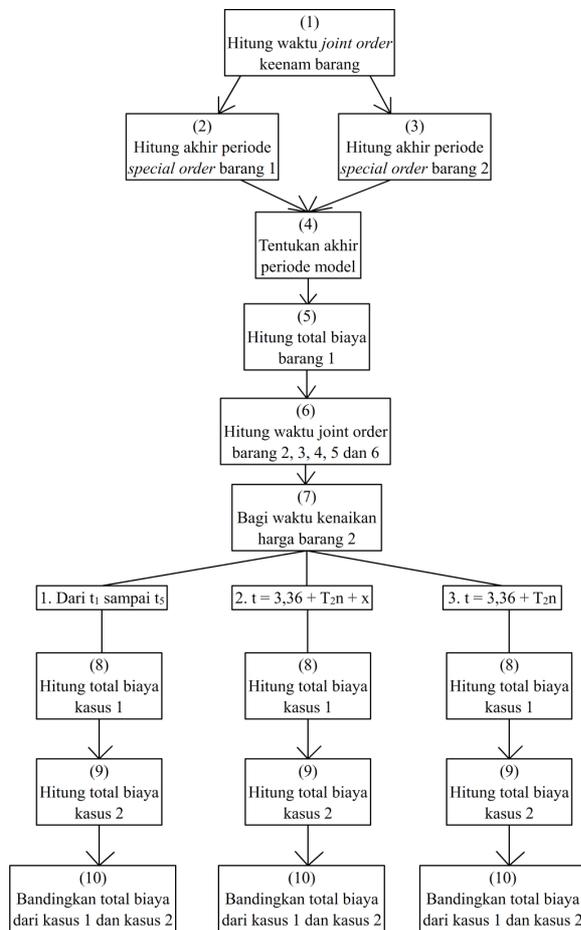
Biaya <i>backorder</i> per unit per tahun	
Barang	Biaya <i>backorder</i> (Rp)
1	266.760
2	234.520

Model yang digunakan pada penelitian ini, digambarkan seperti gambar 1.



Gambar 1. Model Penelitian

Untuk menganalisis sensitivitas terhadap waktu kenaikan barang 2, diperlukan algoritma yang digambarkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Flowchart

Gambar 2 menyatakan flowchart dalam menyelesaikan kasus ini. Untuk memahami flowchart tersebut, diberikan penjelasan setiap langkah sebagai berikut :

1. Sebelum adanya kenaikan harga, keenam barang dipesan berdasarkan model $P(R,T)$, artinya keenam barang akan dipesan setiap T minggu. Nilai dari T dapat diperoleh dengan meminimasi total biaya yang dinyatakan pada persamaan (3).
2. Pada saat $t = t_1$, harga barang 1 mengalami kenaikan. Berdasarkan asumsi yang digunakan, *special order* akan dilakukan pada barang 1 dan jumlah barang 1 yang dipesan dapat ditentukan berdasarkan persamaan (1). *Special order* ini dapat digunakan untuk memenuhi permintaan barang 1 selama $(\hat{Q}_1^* + q_1) / \lambda_1$ minggu dan periode

special order pada barang 1 akan berakhir pada saat $t = t_4$.

3. Pada saat $t = t_2$, harga barang 2 mengalami kenaikan. Jika *special order* dilakukan pada barang 2, maka jumlah barang 2 yang dipesan dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (1). *Special order* ini dapat digunakan untuk memenuhi permintaan barang 2 selama $(\hat{Q}_2^* + q_2) / \lambda_2$ minggu dan periode *special order* pada barang 2 akan berakhir pada saat $t = t_3$.
4. Untuk menentukan akhir periode pada model ini, perlu dibandingkan nilai dari t_4 dengan t_3 . Jika $t_3 > t_4$, maka akhir periodenya adalah t_3 , sedangkan jika $t_4 > t_3$, maka akhir periodenya adalah t_4 . Misal akhir periodenya adalah t_3 , sehingga total biaya akan dihitung dari $t = t_1$ sampai $t = t_3$.
5. Hitung total biaya untuk barang 1. Pada saat $t = t_1$, barang 1 dipesan sebanyak \hat{Q}_1^* , biaya pembelian dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (4).

$$B = P \times \hat{Q}_1^* \quad (4)$$

Selama periode *special order*, terdapat juga biaya penyimpanan dan biaya pemesanan. Biaya penyimpanan selama periode *special order* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (5).

$$S_s = \frac{(\hat{Q}_1^* + q_1)}{\lambda} \times IP \times \frac{(\hat{Q}_1^* + q_1)}{2} \quad (5)$$

Pada saat $t = t_4$, *special order* pada barang 1 telah berakhir. Setelah t_4 , *individual order* akan dilakukan pada barang 1. Dalam *individual order*, terdapat biaya pemesanan, biaya pembelian, biaya penyimpanan, dan biaya *backorder*. Biaya pembelian dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (4). Biaya penyimpanan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (6).

$$S_1 = IP \left(R - \mu_1 - \frac{\lambda T}{2} \right) \quad (6)$$

Biaya *backorder* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (7).

$$BB = \pi E(R,T) \quad (7)$$

Setelah dihitung total biaya dalam satu kali *individual order*, hitung jumlah periode *individual order*. *Individual order* terjadi sebanyak $m = \left\lfloor \frac{t_3 - t_4}{T_1^*} \right\rfloor$

periode, dimana T_1^* menyatakan periode waktu *individual order* pada barang 1. Untuk mencapai t_3 , suatu pemesanan perlu dilakukan. Periode untuk mencapai t_3 ini disebut periode penyesuaian. Periode penyesuaian terjadi selama $t_p = t_3 - t_4 - mT_1^*$ minggu dan periode penyesuaian melibatkan biaya pembelian, pemesanan, dan penyimpanan. Biaya pembelian dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (4). Biaya penyimpanan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (8).

$$S_p = t_p \times IP \times \frac{Q_p}{2} \quad (8)$$

6. Setelah harga barang 1 naik dan *special order* dilakukan pada barang 1, *joint order* dilakukan pada barang 2, 3, 4, 5, dan 6 setiap T_2 minggu. T_2 diperoleh dengan meminimumkan total biaya yang dinyatakan pada persamaan (3).
7. Terdapat tiga kemungkinan waktu kenaikan harga barang 2. Pertama, waktu kenaikan barang 2 terletak diantara t_1 sampai t_5 . Kedua, waktu kenaikan barang 2 pada saat $t = 3,36 + T_2n + x$, dimana n merupakan bilangan bulat nonnegatif dan nilai x berada pada interval $(0, T_2)$. Terakhir, waktu kenaikan barang 2 pada saat $t = 3,36 + T_2n$. Misal kasus 1 menyatakan kasus dimana *special order* dilakukan pada barang 2 dan kasus 2 menyatakan kasus dimana *special order* tidak dilakukan pada barang 2. Untuk setiap kemungkinan, hitung total biaya dari barang 1, 2, 3, 4, 5, dan 6 pada kasus 1 dan kasus 2.
8. Pada kasus 1, hitung total biaya dari $t = t_1$ sampai $t = t_3$. Dari $t = t_1$ sampai $t = t_5$, biaya penyimpanan untuk barang 2, 3, 4, 5, dan 6 dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (9).

$$S_{t_1, t_5} = (t_5 - t_1) \times IP \times \frac{Q_{t_1, t_5}}{2} \quad (9)$$

Biaya *backorder* untuk barang 2, 3, 4, 5,

dan 6 dihitung dengan menggunakan persamaan (7). Dari $t = t_5$ sampai periode dimana *special order* dilakukan pada barang 2, hitung *joint order* pada barang 2, 3, 4, 5, dan 6. Selama periode *joint order* kelima barang ini, biaya penyimpanan, biaya pembelian, dan biaya *backorder* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (6), (4), dan (7). Pada saat $t = t_2$, harga barang 2 naik dan *special order* dilakukan pada barang 2. Pada periode *special order* ini, biaya pembelian dan biaya penyimpanan untuk barang 2 dapat dihitung dengan persamaan (4) dan (5). Setelah *special order* dilakukan pada barang 2, *joint order* dilakukan pada barang 3, 4, 5, dan 6. Hitung waktu *joint order* keempat barang tersebut dengan meminimumkan persamaan (3). *Joint order* keempat barang ini dilakukan sebanyak

$$\left\lfloor \frac{t_3 - t_6}{T_4^*} \right\rfloor \text{ periode } \textit{joint order} \text{ dimana } T_4^*$$

menyatakan periode waktu *joint order* keempat barang. Periode penyesuaian keempat barang ini selama

$$t_3 - t_6 - T_4^* \left\lfloor \frac{t_3 - t_6}{T_4^*} \right\rfloor \text{ minggu. Pada}$$

periode penyesuaian keempat barang tersebut, hitung biaya pembelian dan biaya penyimpanan berdasarkan persamaan (4) dan (8). TC_1 adalah total biaya pada barang 1, 2, 3, 4, 5, dan 6 dari kasus 1.

9. Pada kasus 2, hitung terlebih dahulu total biaya dari $t = t_1$ sampai $t = t_5$ pada barang 2, 3, 4, 5, dan 6. Dari $t = t_5$ sampai periode dimana *special order* dilakukan pada barang 2, hitung *joint order* pada barang 2, 3, 4, 5, dan 6 dengan meminimumkan persamaan (3). Selama periode *joint order* kelima barang ini, biaya pembelian, biaya penyimpanan, dan biaya *backorder* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (4), (6), dan (7). Pada periode dimana harga barang 2 telah naik, *joint order* dilakukan pada kelima barang. Waktu *joint order* setelah harga barang 2 naik berbeda dengan waktu *joint order* sebelum harga barang 2 naik. Hitung kembali waktu *joint order* kelima barang dengan

meminimumkan persamaan (3). Pada satu periode *joint order*, biaya pembelian, biaya penyimpanan, dan biaya *backorder* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (4), (6), dan (7). Periode *joint order* setelah harga barang 2 naik dilakukan sebanyak $\left\lceil \frac{t_3 - t_6}{T_5^*} \right\rceil$ periode

joint order, dimana T_5^* menyatakan periode waktu *joint order* kelima barang. Periode penyesuaian kelima barang ini

selama $t_6 - t_3 - T_5^* \left\lceil \frac{t_3 - t_6}{T_5^*} \right\rceil$ minggu.

Pada periode penyesuaian, hitung biaya pembelian dan biaya penyimpanan berdasarkan persamaan (4) dan (8). TC_2 adalah total biaya pada barang 1, 2, 3, 4, 5, dan 6 dari kasus 2.

10. Misal g menyatakan selisih total biaya dari kasus 1 dan kasus 2, nilai g adalah

$$g = TC_1 - TC_2. \quad (10)$$

Untuk menentukan keputusan yang harus diambil oleh perusahaan, perusahaan tersebut harus melihat nilai dari g . Jika nilai $g > 0$, berarti $TC_1 > TC_2$. Hal ini berarti total biaya untuk kasus 1 lebih besar dari kasus 2, sehingga keputusan yang harus diambil adalah *special order* tidak melakukan pada barang 2. Jika nilai $g < 0$, berarti $TC_1 < TC_2$. Hal ini berarti bahwa total biaya untuk kasus 1 lebih kecil dari kasus 2, sehingga keputusan yang harus diambil oleh perusahaan adalah perusahaan harus melakukan *special order* pada barang 2.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada saat awal (langkah 1 pada algoritma), *joint order* dilakukan pada keenam barang. Berdasarkan Aritonang, et al. (2014), keenam barang dipesan setiap 1,12 minggu dan nilai dari R dan $E(R,T)$ untuk keenam barang dinyatakan pada tabel 4.

Tabel 4. *Joint order* keenam barang

Barang	R	μ_l	$E(R,T)$
1	119	31,69	3,54
2	29	7,16	0,536
3	12	3,21	0
4	55	14,30	2,4
5	29	7,13	1,4
6	8	1,87	0,002

Berdasarkan langkah 2 pada algoritma, harga barang 1 mengalami kenaikan harga pada saat $t = 2,5$. Berdasarkan persamaan (1), barang 1 harus dipesan sebanyak 3035 unit. Hal ini berarti, pada saat $t = 2,5$, persediaan barang 1 ada sebanyak $3035 + q_1$ unit. Dalam hal ini, nilai dari q_1 adalah $0,5R_1 = 59,5$ unit. Pada saat $t = 2,5$, persediaan barang 1 ada sebanyak 3094,5 unit. Persediaan ini akan digunakan untuk memenuhi permintaan selama $3094,5/39,61 = 78,11$ minggu, sehingga akhir periode *special order* barang 1 adalah $t_4 = 80,61$.

Berdasarkan langkah 3 pada algoritma, misalkan harga barang 2 naik pada saat $t = 2,5 + x$, dimana $x > 0$. Ketika *special order* dilakukan pada barang 2, barang 2 akan dipesan sebanyak $880,5 - q_2$ unit. Pada saat $t = 2,5 + x$, persediaan barang 2 ada sebanyak $880,5 - q_2 + q_2 = 880,5$ unit. Persediaan barang 2 sebanyak 880,5 unit akan digunakan untuk memenuhi permintaan barang 2 selama $880,5/8,96 = 98,25$ minggu, sehingga akhir periode *special order* barang 2 adalah $2,5 + x + 98,25 = 100,75 + x$. Berdasarkan langkah 4 pada algoritma, akhir periode dari model ini adalah $t_3 = 100,75 + x$.

Berdasarkan langkah 5 pada algoritma, total biaya yang harus dihitung dari kasus 1 dan kasus 2 adalah total biaya dari $t = 2,5$ sampai $t = 100,75 + x$. Pertama, akan dihitung total biaya untuk barang 1 dari kasus 1 dan kasus 2. Pada kasus 1, barang 1 akan dipesan sebanyak 3035 unit dengan harga per unit 2.560.250. *Special order* ini akan memenuhi permintaan barang 1 sampai $t = 80,61$. Dari $t = 80,61$ sampai $t = 100,75 + x$, *individual order* akan dilakukan pada barang 1. Berdasarkan Aritonang, et al. (2014), *individual order* untuk barang 1 dipesan setiap 1,25 minggu, $R_1 = 125$, dan $E(R,T)_1 = 3,57$. Misal total biaya untuk barang 1 selama 1,25 minggu adalah a. *Individual order* ini dilakukan sebanyak

$\left\lceil \frac{20,14 + x}{1,25} \right\rceil$ periode, sehingga total biayanya

adalah $\left\lceil \frac{20,14 + x}{1,25} \right\rceil a$. Periode penyesuaian

pada barang 1 selama $100,75 + x - 80,61 - 1,25 \left\lceil \frac{20,14 + x}{1,25} \right\rceil$ minggu. Misal biaya untuk

periode penyesuaian adalah b. Total biaya

barang 1 untuk kasus 1 adalah $3035 \times 2.560.250 + \left[\frac{20,14 + x}{1,25} \right] a + b$.

Total biaya untuk barang 1 pada kasus 2 dihitung dari dari $t = 2,5$ sampai $t = 100,75 + x$. Pada saat $t = 2,5$, barang 1 dipesan sebanyak 3035 unit dengan harga per unit 2.560.250. *Special order* ini akan memenuhi permintaan barang 1 sampai $t = 80,61$. Dari $t = 80,61$ sampai $t = 100,75 + x$, *individual order* akan dilakukan pada barang 1. *Individual order* ini dilakukan sebanyak $\left[\frac{20,14 + x}{1,25} \right]$ periode dan biaya untuk satu periode adalah a. Total biaya untuk $\left[\frac{20,14 + x}{1,25} \right]$ periode adalah $\left[\frac{20,14 + x}{1,25} \right] a$. Periode penyesuaian pada barang 1 selama $100,75 + x - 80,61 - 1,25 \left[\frac{20,14 + x}{1,25} \right]$ minggu. Biaya untuk periode penyesuaian adalah b. Total biaya barang 1 untuk kasus 1 adalah $3035 \times 2.560.250 + \left[\frac{20,14 + x}{1,25} \right] a + b$. Berdasarkan

hasil ini, total biaya untuk barang 1 pada kasus 1 dan kasus 2 sama. Untuk menentukan keputusan apakah perusahaan harus melakukan *special order* pada barang 2 atau tidak, total biaya barang 1 tidak perlu dipertimbangkan.

Berdasarkan langkah 6 pada algoritma, *joint order* akan dilakukan pada barang 2, 3, 4, 5, dan 6. *Joint order* untuk kelima barang tersebut dilakukan setiap 1,56 minggu dan nilai dari R dan E(R,T) untuk kelima barang dinyatakan pada tabel 5.

Tabel 5. *Joint order* barang 2, 3, 4, 5, dan 6

Barang	R	E(R,T)
2	33	0,943
3	14	0
4	64	2,51
5	34	1,14
6	9	0,20

Berdasarkan langkah 7 pada algoritma, misal waktu kenaikan harga barang 2 diantara $t = 2,5$ sampai $t = 3,36$. Hal ini berarti bahwa 0

$< x < 0,86$ dan harga barang 2 naik sebelum barang 2 *joint order* dengan empat barang lainnya. Selama x minggu, rata-rata barang yang disimpan adalah 10,875 unit. Biaya untuk menyimpan 10,875 unit barang 2 selama x minggu adalah $26702,19x$. Berdasarkan langkah 8 pada algoritma, barang 2 dipesan sebanyak 866 unit pada saat $t = 2,5 + x$. Biaya pembelian adalah $866 \times 2.327.500 = 2.015.615.000$ dan biaya pemesanan adalah 118.682. Biaya penyimpanan untuk *special order* barang 2 adalah 106.206.151. Total biaya untuk barang 2 pada kasus 1 adalah $2.121.939.833 + 26702,19x$.

Untuk empat barang lainnya, dari $t = 2,5$ sampai $t = 3,36$ akan terkena biaya penyimpanan dan biaya *backorder*. Tabel 6 menyatakan biaya penyimpanan dan biaya *backorder* untuk barang 3, 4, 5, dan 6 dari $t = 2,5$ sampai $t = 3,36$.

Tabel 6. Biaya barang 3, 4, 5, dan 6 dari $t = 2,5$ sampai $t = 3,36$

Barang	Biaya Penyimpanan	Biaya Backorder
3	4.746	0
4	27.560	5.882
5	12.934	3.215
6	2.680	3
Total	47.920	9.100

Total biaya untuk barang 3, 4, 5, dan 6 dari $t = 2,5$ sampai $t = 3,36$ adalah 57.020. Dari $t = 3,36$ sampai $t = 100,75 + x$, *joint order* dilakukan pada barang 3, 4, 5, dan 6 setiap 1,71 minggu dengan nilai R dan E(R,T) diberikan pada tabel 7.

Tabel 7. *Joint order* barang 3, 4, 5, dan 6

Barang	R	E(R,T)
3	14	0,43
4	66	3,38
5	35	1,56
6	9	0,56

Tabel 8 menyatakan biaya selama 1,71 minggu dari barang 3, 4, 5, dan 6.

Tabel 8. Biaya *joint order* barang 3, 4, 5, dan 6

Barang	Kuantitas Pemesanan	Biaya Pembelian
3	7	12.219.375
4	31	67.880.700

5	16	31.142.400
6	4	5.586.000
Total		116.828.475
Barang	Biaya <i>Backorder</i>	Biaya Penyimpanan
3	2.022	23.162
4	16.472	145.106
5	7.122	71.786
6	1.580	13.661
Total	27.196	253.715

Total biaya untuk satu periode *joint order* barang 3, 4, 5, dan 6 adalah $118.682 + 3 \times 6.836 + 116.828.475 + 27.196 + 253.715 = 117.248.576$. Dari $t = 3,36$ sampai $t = 100,75 + x$, terdapat $\left[\frac{100,75 + x - 3,36}{1,71} \right]$ periode. Jika $0 < x < 0,08$ terdapat 56 periode, sedangkan jika $0,08 \leq x < 0,86$ terdapat 57 periode. Untuk mempermudah perhitungan, dipilih 56 periode dan sisa waktu setelah 56 periode *joint order* merupakan periode penyesuaian. Biaya untuk 56 periode adalah $56 \times 117.248.576 = 6.565.920.256$. Periode penyesuaian selama $100,75 + x - 3,36 - 56 \times 1,71 = 1,63 + x$. Tabel 9 menyatakan biaya pembelian dan biaya penyimpanan selama periode penyesuaian.

Tabel 9. Biaya barang 3, 4, 5, dan 6 pada periode penyesuaian

Baran g	Kuantitas Pemesanan	Biaya Pembelian
3	$4,01(1,63+x)$	$6.999.956(1,63+x)$
4	$17,88(1,63+x)$	$39.151.836(1,63+x)$
5	$8,92(1,63+x)$	$17.361.888(1,63+x)$
6	$2,34(1,63+x)$	$3.267.810(1,63+x)$ $66.781.490(1,63+x)$
Total)
Baran g	Biaya Penyimpanan	
3	$3.688(1,63+x)^2$	
4	$20.836(1,63+x)^2$	
5	$9.251(1,63+x)^2$	
6	$1.823(1,63+x)^2$ $35.599(1,59+x)^2$	
Total		

Jadi, total biaya pada kasus 1 dengan $0 < x < 0,86$ adalah $2.121.939.833 + 26702,19x + 57.020 + 6.565.920.256 + 118.682 + 3 \times 6.836$

$$+ 66.781.490(1,63 + x) + 35.599(1,63 + x)^2 = 8.688.056.299 + 26702,19x + 66.781.490(1,63 + x) + 35.599(1,63 + x)^2.$$

Berdasarkan langkah 9 pada algoritma, *special order* tidak dilakukan pada barang 2. Barang 2 akan dilakukan *joint order* dengan barang 3, 4, 5, dan 6. Dari $t = 2,5$ sampai $t = 3,36$, terdapat biaya penyimpanan dan biaya *backorder*. Tabel 10 menyatakan biaya penyimpanan dan biaya *backorder* dari $t = 2,5$ sampai $t = 3,36$.

Tabel 10. Biaya barang 2, 3, 4, 5, dan 6 dari $t = 2,5$ sampai $t = 3,36$

Barang	q	Biaya	
		Penyimpanan	Biaya <i>Backorder</i>
2	14,5	15.309	1.890
3	6	4.746	0
4	27,5	27.560	5.882
5	14,5	12.934	3.215
6	4	2.680	3
Total		63.229	10.990

Total biaya dari $t = 2,5$ sampai $t = 3,36$ adalah 74.219. Dari $t = 3,36$ sampai $t = 100,75 + x$, *joint order* akan dilakukan pada barang 2, 3, 4, 5, dan 6 setiap 1,56 minggu dan nilai dari R dan E(R,T) untuk kelima barang tersebut dinyatakan pada tabel 11.

Tabel 11. *Joint order* barang 2, 3, 4, 5, dan 6

Barang	R_i	$E(R,T)_i$
2	33	0,943
3	14	0
4	64	2,49
5	34	1,11
6	9	0,17

Biaya pembelian, biaya penyimpanan, dan biaya *backorder* untuk satu periode *joint order* untuk kelima barang tersebut diberikan pada tabel 12.

Tabel 12. Biaya *joint order* barang 2, 3, 4, 5, dan 6

Barang	Biaya	
	Kuantitas Pemesanan	Pembelian
2	14	35.843.500
3	7	12.219.375
4	28	61.311.600
5	14	27.249.600
6	4	5.586.000
Total		142.210.075

Barang	Biaya <i>Backorder</i>	Biaya Penyimpanan
2	6.635	79.018
3	0	21.993
4	11.071	129.981
5	4.623	64.418
6	438	12.889
Total	22.767	308.299

Total biaya untuk satu periode *joint order* adalah $142.210.075 + 308.299 + 22.767 + 118682 + 4 \times 6.836 = 142.687.167$. Dari $t = 3,36$ sampai $t = 100,75 + x$, terdapat $\left\lceil \frac{100,75 + x - 3,36}{1,56} \right\rceil = 62$ periode. Biaya untuk 62 periode *joint order* adalah 8.846.604.354. Periode penyesuaian selama $100,75 + x - 3,36 - 62 \times 1,56 = 0,67 + x$ minggu. Tabel 13 menyatakan biaya penyimpanan dan biaya pembelian dari barang 2, 3, 4, 5, dan 6 selama periode penyesuaian.

Tabel 13. Biaya kelima barang pada periode penyesuaian

Barang	Biaya Pembelian	Biaya Penyimpanan
2	22.939.840(0,67+x)	12.042(0,67+x) ²
3	6.999.956(0,67+x)	3.688(0,67+x) ²
4	39.151.836(0,67+x)	20.836(0,67+x) ²
5	17.361.888(0,67+x)	9.251(0,67+x) ²
6	3.267.810(0,67+x)	1.823(0,67+x) ²
Total	89.721.330(0,67+x)	47.642(0,67+x) ²

Total biaya untuk kasus 2 adalah $8.846.604.354 + 89.721.330(0,67+x) + 47.642(0,67+x)^2$.

Berdasarkan langkah 10 pada algoritma, nilai g adalah $-109.807.517 - 22.913.137,81x + 35.599(1,62 + x)^2 - 47.642(0,67+x)^2$. Jika $-1.893,46 < x < -4,81$ maka nilai $g > 0$, sedangkan jika $x < -1.893,46$ atau $x > -4,81$ maka $g < 0$. Nilai x yang akan dianalisa berada pada $0 < x < 0,86$, berarti nilai $g < 0$. Keputusan yang harus diambil oleh perusahaan adalah melakukan *special order* pada barang 2.

Berdasarkan langkah 7 pada algoritma, misalkan waktu kenaikan harga barang 2 adalah $3,36 + 1,56n + x$, dimana n merupakan bilangan bulat nonnegatif dan nilai x berada pada interval $(0, 1,56)$. *Special order* pada barang 2 akan memenuhi permintaan selama

98,25 minggu, sehingga akhir periodenya adalah $101,61 + 1,56n + x$. Ketika harga barang 2 naik, *joint order* telah dilakukan pada barang 2, 3, 4, 5, dan 6 dengan $T = 1,56$ minggu dan nilai dari R dan $E(R,T)$ untuk kelima barang dinyatakan pada tabel 5. Dari $t = 2,5$ sampai $t = 3,36$ tidak ada kenaikan harga untuk barang 2, sehingga total biaya dari periode ini pada kasus 1 dan kasus 2 sama.

Untuk kasus 1 dan kasus 2 dengan $n \geq 1$, *joint order* akan dilakukan pada kelima barang dari $t = 3,36$ sampai $t = 3,36 + 1,56(n-1)$. Oleh karena itu, total biaya dari $t = 3,36$ sampai $t = 3,36 + 1,56(n-1)$ untuk kasus 1 dan kasus 2 sama. Jadi, total biaya dari $t = 2,5$ sampai $t = 3,36 + 1,56(n-1)$ dapat diabaikan.

Pada langkah 8 pada algoritma, total biaya untuk barang 2 akan dihitung dimana kasus 1 terjadi. Pada saat $t = 3,36 + 1,56n$, barang 2 dipesan sebanyak $1,56 \times 8,96 = 13,98 \approx 14$ unit dengan biaya $14 \times 2.327.500 = 32.585.000$. Biaya pemesanan akan digabung dengan empat barang lainnya. Dari $t = 3,36 + 1,56n$ sampai $t = 3,36 + 1,56n + x$, rata-rata barang 2 yang disimpan adalah 24,75. Biaya penyimpanan untuk barang 2 adalah 8.508. Pada saat $t = 3,36 + 1,56n + x$, *special order* dilakukan pada barang 2 dengan memesan sebanyak 864 unit barang 2. Biaya pembelian adalah $864 \times 2.327.500 = 2.010.960.000$ dan biaya pemesanan adalah 118.682. Untuk biaya penyimpanan dari $t = 3,36 + 1,56n + x$ sampai $t = 101,61 + 1,56n + x$ adalah 106.214.473. Total biaya untuk barang 2 pada kasus 1 adalah 2.149.886.663.

Untuk empat barang lainnya, dari $t = 3,36 + 1,56n$ sampai $t = 3,36 + 1,56(n+1)$ terdapat biaya pembelian, pemesanan, penyimpanan, dan *backorder*. Tabel 14 menyatakan biaya pembelian, penyimpanan, dan *backorder* dari $t = 3,36 + 1,56n$ sampai $t = 3,36 + 1,56(n+1)$.

Tabel 14. Biaya *joint order* barang 3, 4, 5, dan 6

Barang	Kuantitas Pemesanan	Biaya Pembelian
3	7	12.219.375
4	28	61.311.600
5	14	27.249.600
6	4	5.586.000
	Total	106.366.575
Barang	Biaya <i>Backorder</i>	Biaya Penyimpanan

3	0	21.993
4	11.177	129.981
5	4.748	64.418
6	523	12.889
Total	16.448	229.281

Total biaya keempat barang dari $3,36 + 1,56n$ sampai $t = 3,36 + 1,56(n+1)$ adalah $118.682 + 4 \times 6.836 + 106.366.575 + 16.448 + 229.281 = 106.758.330$.

Dari $t = 3,36 + 1,56(n+1)$ sampai $t = 101,61 + 1,56n + x$, *joint order* dilakukan pada barang 3, 4, 5, dan 6 setiap 1,71 minggu. Biaya pembelian, penyimpanan, dan *backorder* telah dipaparkan pada tabel 8. Total biaya untuk satu periode *joint order* barang 3, 4, 5, dan 6 adalah $118.682 + 3 \times 6.836 + 116.828.475 + 27.196 + 253.715 = 117.248.576$. Dari $t = 3,36$ sampai $t = 100,75 + x$, terdapat 56 atau 57 periode. Agar mempermudah perhitungan, dipilih 56 periode dan sisa waktu setelah 56 periode *joint order* merupakan periode penyesuaian. Biaya untuk 56 periode adalah $56 \times 117.248.576 = 6.565.920.256$. Periode penyesuaian selama $101,61 + 1,56n + x - 3,36 - 1,56(n+1) - 56 \times 1,71 = 0,93 + x$. Tabel 15 menyatakan biaya pembelian dan biaya penyimpanan selama periode penyesuaian.

Tabel 15. Biaya barang 3, 4, 5, dan 6 pada periode penyesuaian

Baran g	Kuantitas Pemesanan	Biaya Pembelian
3	$4,01(0,93+x)$	$6.999.956(0,93+x)$
4	$17,88(0,93+x)$	$39.151.836(0,93+x)$
5	$8,92(0,93+x)$	$17.361.888(0,93+x)$
6	$2,34(0,93+x)$	$3.267.810(0,93+x)$
	Total	$66.781.490(0,93+x)$
Baran g	Biaya Penyimpanan	
3	$3.688(0,93+x)^2$	
4	$20.836(0,93+x)^2$	
5	$9.251(0,93+x)^2$	
6	$1.823(0,93+x)^2$	
Total	$35.599(0,93+x)^2$	

Total biaya untuk kasus 1 adalah $8.822.565.249 + 66.781.490(0,93+x) + 35.599(0,93+x)^2$.

Pada langkah 9 pada algoritma, total biaya untuk kasus 2 akan dihitung. Dari $t = 3,36 + 1,56n$ sampai $t = 3,36 + 1,56(n+1)$, *Joint order* dilakukan pada barang 2, 3, 4, 5, dan 6 dengan $T = 1,56$ minggu. Tabel 16 menyatakan biaya pembelian, penyimpanan, dan *backorder* dari $t = 3,36 + 1,56n$ sampai $t = 3,36 + 1,56(n+1)$.

Tabel 16. Biaya *joint order* barang 2, 3, 4, 5, dan 6

Barang	Kuantitas Pemesanan	Biaya Pembelian
2	14	35.843.500
3	7	12.219.375
4	28	61.311.600
5	14	27.249.600
6	8	5.586.000
	Total	142.210.075
Barang	Biaya Penyimpanan	Biaya Backorder
2	79.019	6.635
3	21.993	0
4	129.981	11.177
5	64.418	4.748
6	12.889	523
Total	308.300	23.083

Total biaya untuk periode ini adalah $142.210.075 + 308.300 + 23.083 + 118.682 + 4 \times 6.836 = 142.687.484$. Dari $t = 3,36 + 1,56(n+1)$ sampai $t = 101,61 + 1,56n + x$, *joint order* dilakukan pada kelima barang setiap 1,56 minggu. Biaya pembelian, biaya penyimpanan, dan biaya *backorder* untuk satu periode *joint order* kelima barang tersebut diberikan pada tabel 12. Total biaya untuk 1 periode *joint order* adalah $142.210.075 + 308.299 + 22.767 + 118.682 + 4 \times 6.836 = 142.687.167$. Dari $t = 3,36 + 1,56(n+1)$ sampai $t = 101,61 + 1,56n + x$, terdapat 61 atau 62 periode. Agar mempermudah perhitungan, dipilih 61 periode dan sisa waktu setelah 61 periode *joint order* merupakan periode penyesuaian. Biaya untuk 61 periode *joint order* adalah $8.703.917.187$. Periode penyesuaian selama $101,61 + 1,56n + x - 3,36 - 1,56(n+1) - 61 \times 1,56 = 1,53 + x$ minggu. Tabel 17 menyatakan biaya penyimpanan dan biaya pembelian selama periode penyesuaian.

Tabel 17. Biaya kelima barang pada periode penyesuaian

Barang	Biaya Pembelian	Biaya Penyimpanan
2	22.939.840(1,53+x)	12.042(1,53+x) ²
3	6.999.956(1,53+x)	3.688(1,53+x) ²
4	39.151.836(1,53+x)	20.836(1,53+x) ²
5	17.361.888(1,53+x)	9.251(1,53+x) ²
6	3.267.810(1,53+x)	1.823(1,53+x) ²
Total	89.721.330(1,53+x)	47.642(1,53+x) ²

Total biaya untuk kasus 2 adalah 8.846.604.671 + 89.721.330(1,53+x) + 47.642(1,53+x)².

Berdasarkan langkah 10 pada algoritma, untuk menentukan keputusan yang harus diambil oleh perusahaan maka harus melihat nilai dari g. Nilai g = 8.822.565.249 + 66.781.490(0,93+x) + 35.599(0,93+x)² - (8.846.604.671 + 89.721.330(1,53+x) + 47.642(1,53+x)²). Nilai g > 0 jika -1.907,11 < x < -4,32 dan nilai g < 0 jika x < -1,907,11 atau x > -4,32. Perhatikan bahwa 0 < x < 1,56, sehingga nilai dari g < 0. Jadi, keputusan yang harus diambil oleh perusahaan adalah melakukan *special order* pada barang 2.

Berdasarkan langkah 7 pada algoritma, misalkan harga barang 2 naik pada saat t = 3,36 + 1,56n dengan n merupakan bilangan bulat nonnegatif, yang berarti pemesanan *special order* pada barang 2 akan digabung dengan *joint order* keempat barang lainnya dan akhir periodenya adalah pada saat t = 101,61 + 1,56n. Perhatikan bahwa total biaya untuk barang 2, 3, 4, 5, dan 6 dari t = 2,5 sampai t = 3,36 pada kasus 1 dan kasus 2 sama. Jadi, total biaya dari t = 2,5 sampai t = 3,36 tidak perlu dihitung.

Pada langkah 8 pada algoritma, total biaya dari kasus 1 akan dihitung. Dari t = 3,36 + 1,56n sampai t = 101,61 + 1,56n, barang 2 akan dipesan sebanyak 880,5 ≈ 881 unit dengan biaya 881 × 2.327.500 = 2.050.527.500. Biaya pemesanan akan digabungkan dengan pemesanan empat barang lainnya, sehingga biaya pemesanan adalah 6.836. Biaya penyimpanan untuk *special order* barang 2 adalah 106.206.155. Total biaya untuk barang 2 adalah 2.156.740.491.

Untuk empat barang lainnya, dari t = 3,36 + 1,56n sampai t = 101,61 + 1,56n *joint order* akan dilakukan pada barang 3, 4, 5, dan 6 setiap 1,71 minggu. Biaya pembelian, biaya pemesanan, dan biaya *backorder* telah

dipaparkan pada tabel 8. Total biaya untuk satu periode *joint order* barang 3, 4, 5, dan 6 adalah 117.248.576. Dari t = 3,36 + 1,56n sampai t =

$$101,61 + 1,56n, \text{ terdapat } \left\lfloor \frac{101,61 - 3,36}{1,71} \right\rfloor = 57$$

periode. Biaya untuk 57 periode penyesuaian adalah 57 × 117.248.576 = 6.683.168.832. Periode penyesuaian selama 101,61 + 1,56n - 3,36 - 1,56n - 57 × 1,71 = 0,78. Tabel 18 menyatakan biaya pembelian dan biaya penyimpanan selama periode penyesuaian.

Tabel 18. Biaya barang 3, 4, 5, dan 6 pada periode penyesuaian.

Barang	Kuanitas Pemesanan	Biaya Pembelian
3	4	6.982.500
4	14	30.655.800
5	7	13.624.800
6	2	2.793.000
Total		54.056.100

'Barang	Biaya Penyimpanan
3	2.244
4	12.677
5	5.629
6	1.109
Total	21.659

Total biaya untuk kasus 1 adalah 2.156.740.491 + 6.683.168.832 + 118.682 + 3 × 6.836 + 54.056.100 + 21.659 = 8.894.126.272.

Pada langkah 9 pada algoritma, total biaya untuk kasus 2 akan dihitung. Dari t = 3,36 + 1,56n sampai t = 101,61 + 1,56n, *joint order* akan dilakukan pada barang 2, 3, 4, 5, dan 6 setiap 1,56 minggu. Biaya pembelian, biaya penyimpanan, dan biaya *backorder* untuk satu periode *joint order* kelima barang tersebut telah dipaparkan pada tabel 12. Total biaya untuk 1 periode penyesuaian adalah 142.687.167. Dari t = 3,36 + 1,56n sampai t =

$$101,61 + 1,56n, \text{ terdapat } \left\lfloor \frac{101,61 - 3,36}{1,56} \right\rfloor = 62$$

periode. Biaya untuk 62 periode *joint order* adalah 8.846.604.354. Periode penyesuaian selama 101,61 + 1,56n - 3,36 - 1,56n - 62 × 1,56 = 1,53 minggu. Tabel berikut menyatakan biaya penyimpanan dan biaya pembelian selama periode penyesuaian.

Tabel 19. Biaya kelima barang pada periode penyesuaian

Barang	Pesan	Biaya Pembelian
2	14	35.843.500
3	7	12.219.375
4	28	61.311.600
5	14	27.249.600
6	4	5.586.000
Total		142.210.075

Barang	Biaya Penyimpanan
2	28.191
3	8.634
4	48.776
5	21.657
6	4.267
Total	111.525

Total biaya untuk kasus 2 adalah $8.846.604.354 + 142.210.075 + 111.525 + 118.682 + 4 \times 6.836 = 8.989.071.980$. Total biaya untuk kasus 1 lebih kecil dibandingkan total biaya untuk kasus 2, sehingga jika waktu kenaikan harga barang 2 pada saat $t = 3,36 + 1,56n$ maka perusahaan harus melakukan *special order* pada barang 2.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan, penulis memberikan simpulan bahwa kapanpun harga barang 2 mengalami kenaikan, maka dilakukan *special order* pada barang 2. Banyaknya barang 2 yang dipesan adalah sebanyak 880,5 – q_2 unit. Saran penulis untuk pengembangan model selanjutnya antara lain :

1. Analisis sensitivitas tidak hanya berdasarkan waktu, tetapi dapat berdasarkan besarnya kenaikan harga.
2. Mempertimbangkan distribusi permintaan barang yang lain selain distribusi normal.
- 3.

DAFTAR PUSTAKA

- Aritonang, K., Sitompul, C., dan Alfian. (2014), "*Implementation of Inventory System by P(R,T) Model with Differenced Time of Known Priced Increase at PT Inti Vulkatama*", Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Katolik Parahyangan.
- Hadley, G., & Whitin, T. (1963). *Analysis of Inventory Systems*. Prentice-Hall International, London.
- Tersine, R. (1994). *Principle of Inventory and Material Management*. 4th ed. Prentice-Hall International, London.