



## **Analisis Pengaruh *Incremental Discount* Pada Model Persediaan *Multi Item* Dengan Faktor Kedaluwarsa dan Kendala Kapasitas**

**Roland Y. H. Silitonga<sup>1</sup>, Leo Rama Kristiana<sup>2</sup>, Philio Abel<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup> Program Studi Teknik Industri, Institut Teknologi Harapan Bangsa  
 Jl. Dipati Ukur No.80-84, Bandung 40132

Email: roland@ithb.ac.id, leorama@ithb.ac.id, phioabel2000@gmail.com

### **Abstract**

*The retail industry engaged in the pharmaceutical sector such as pharmacies sells various types of medicinal products and medical chemicals with fluctuating demand characteristics. This is due to the emergence of diseases that cannot be predicted with certainty. Inventory management is an important aspect to ensure the availability of medicines when needed while still being able to minimize losses both from retained capital on goods and potential expiration. Medicinal products themselves have a certain shelf-life, so products that have expired cannot be used again and cause losses to company. The form of inventory management policy is the order lot size, time between orders and reorder points. To determine the size of the order lot, in addition to the expiration aspect, the limitations of the warehouse as a place of storage and purchase discount factors need to be considered. The existence of a discount policy from suppliers can be used to minimize purchasing costs which are a component of inventory costs. The form of the discount policy that is generally given is the all-unit discount, but for certain types of products the policy given is an incremental discount. The purpose of this study is to build a multi-item probabilistic inventory model by considering the expiration factor, warehouse capacity constraints, and purchasing discount policies. This research will compare two discount policies, namely incremental discount and all unit discount. Based on the results of the sensitivity analysis, it is known that the model is sensitive to the parameters of unit discount provisions, good goods fraction, and holding costs.*

**Keywords:** *Probabilistic Inventory, incremental discount, perishable, warehouse capacity.*

### **Abstrak**

Industri ritel yang bergerak di bidang farmasi seperti apotek menjual berbagai jenis produk obat-obatan dan bahan kimia medis dengan karakteristik permintaan yang berfluktuasi. Hal ini disebabkan kemunculan penyakit yang tidak dapat diprediksi secara pasti. Pengelolaan persediaan menjadi aspek yang penting untuk menjamin ketersediaan obat saat dibutuhkan namun tetap mampu meminimasi kerugian baik dari modal tertahan pada barang maupun potensi kedaluwarsa. Produk obat-obatan sendiri memiliki masa pakai tertentu, sehingga produk yang mengalami kedaluwarsa tidak dapat digunakan lagi dan menimbulkan kerugian bagi perusahaan. Bentuk kebijakan pengelolaan persediaan adalah ukuran lot pemesanan, waktu antar pemesanan, dan titik pemesanan kembali. Untuk menentukan ukuran lot pemesanan selain aspek kedaluwarsa, keterbatasan gudang sebagai tempat penyimpanan dan faktor diskon pembelian perlu dipertimbangkan. Adanya kebijakan diskon dari pemasok dapat dimanfaatkan untuk meminimasi biaya beli yang merupakan komponen dari biaya persediaan. Bentuk kebijakan diskon yang umum diberikan adalah *all unit discount*, tetapi pada beberapa jenis produk tertentu kebijakan yang diberikan adalah *incremental discount*. Tujuan penelitian ini adalah membangun model persediaan probabilistik *multi-item* dengan mempertimbangkan faktor kedaluwarsa, kendala kapasitas gudang, dan kebijakan diskon pembelian. Penelitian ini akan membandingkan dua kebijakan diskon, yaitu *incremental discount* dan *all unit discount*. Berdasarkan hasil analisis sensitivitas, diketahui bahwa model sensitif terhadap parameter ketentuan unit diskon, fraksi barang baik, dan biaya simpan.

**Kata kunci:** Persediaan probabilistik, *incremental discount*, kedaluwarsa, kapasitas gudang.

## Pendahuluan

Keberadaan sistem inventori dalam sebuah perusahaan memengaruhi kelancaran kegiatan usaha yang dijalankan. Tanpa pengelolaan sistem inventori yang baik, akan ada banyak masalah yang timbul di kemudian hari (Bahagia, 2006). Perusahaan yang memiliki kinerja persediaan yang baik merupakan perusahaan yang mampu memberikan *service level* yang tinggi dengan cara memenuhi permintaan atau kebutuhan pelanggan, dengan mempertahankan biaya persediaan yang rendah (Silitonga et al., 2021).

Terdapat beberapa kendala yang dihadapi oleh perusahaan ritel di bidang farmasi seperti apotek yaitu kondisi *demand* yang berfluktuasi karena kemunculan penyakit tidak dapat diprediksi secara pasti (Silitonga et al., 2022). Kendala lain yang muncul adalah faktor kedaluwarsa di mana produk memiliki masa pakai tertentu sehingga ketika produk rusak, maka produk tidak dapat dijual ke konsumen dan akan memberikan kerugian bagi perusahaan (Debora et al., 2012). Untuk mengantisipasi hal ini, perusahaan biasanya akan menjual produk yang sudah dekat masa kedaluwarsa dengan harga yang jauh lebih murah kepada pihak khusus (Lesmono & Limansyah, 2012).

Kapasitas gudang sering menjadi kendala bagi perusahaan karena akan membatasi ukuran lot pemesanan persediaan. Apabila pemesanan persediaan melebihi kapasitas gudang yang ada, maka perusahaan terpaksa harus menyimpan produk di tempat yang akan meningkatkan biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan akibat biaya sewa yang tinggi (Utama, 2017). Selain itu faktor lain yang perlu diperhatikan adalah kebijakan diskon yang dapat dimanfaatkan untuk meminimalkan biaya (Prasetyo et al., 2005). Seringkali pemasok akan memberikan diskon kepada perusahaan ketika membeli barang dalam jumlah tertentu (Limansyah & Lesmono, 2011).

Pengembangan model persediaan dengan karakteristik *demand* deterministik atau probabilistik untuk tipe *single item* atau *multi-item* dengan mempertimbangkan faktor kedaluwarsa, kebijakan diskon, dan kendala kapasitas gudang sudah banyak dilakukan. Silitonga & Kawet telah mengembangkan model persediaan probabilistik *multi-item* (Silitonga & Kawet, 2017), yang dikembangkan lebih lanjut dengan memperhatikan faktor

kedaluwarsa dan bonus pembelian (Limanjaya & Silitonga, 2018; Silitonga & Kezia, 2017). Terdapat juga model deterministik *single item* dengan faktor kedaluwarsa dan *incremental discount* dikembangkan oleh Prasetyo, dkk dan Debora, dkk (Debora et al., 2012; Prasetyo et al., 2005). Model-model ini dikembangkan lebih lanjut dengan mengubah pemodelan *demand* menjadi probabilistik (Limansyah & Lesmono, 2011). Model probabilistik *multi-item* dengan mempertimbangkan faktor kedaluwarsa, *all unit discount*, dan kendala kapasitas gudang juga telah dikembangkan (Silitonga et al., 2021).

Pada model-model yang dikembangkan, jenis diskon yang biasanya diberikan adalah diskon untuk keseluruhan barang (*all unit discount*). Terdapat jenis diskon lain yaitu diskon yang diberikan secara bertahap (*incremental discount*) (Tersine, 1994). Tidak selamanya pemasok akan memberikan diskon dalam bentuk *all-unit discount*, tetapi dalam bentuk *incremental discount* karena adanya perbedaan kebijakan diskon pada beberapa jenis produk tertentu.

Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan model persediaan probabilistik *multi-item* dengan mempertimbangkan faktor kedaluwarsa, kendala kapasitas, dan *incremental discount*, untuk kemudian melakukan analisis perbandingan antara kebijakan *all unit discount* dan *incremental discount*.

## Metodologi

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa langkah sebagai berikut. Pertama, melakukan studi literatur dari penelitian-penelitian sebelumnya, lalu perumusan masalah, dan menentukan tujuan penelitian serta manfaat penelitian. Kedua, dilanjutkan dengan proses pengembangan model, di mana penelitian Silitonga, dkk (Silitonga et al., 2021) yang telah mengembangkan model dengan mempertimbangkan faktor kedaluwarsa, *all unit discount*, dan kendala kapasitas dijadikan model acuan. Lalu model ini dikembangkan dengan mengubah skema diskon menjadi *incremental discount* yang diperoleh dari penelitian Lesmono & Limansyah (Lesmono & Limansyah, 2012).

Permasalahan keterbatasan kapasitas pada model ini diatasi dengan menggunakan metode optimasi *Karush Kuhn-Tucker Conditions*. Metode optimasi ini dapat digunakan untuk

penyelesaian permasalahan maksimasi atau minimasi dengan mencari titik optimum dari suatu fungsi linear atau nonlinear yang memiliki kendala berupa sebuah pertidaksamaan (Ardiansyah et al., 2016). Variabel keputusan dalam model ini adalah waktu antar pemesanan optimal ( $T^*$ ). Terdapat dua waktu antar pemesanan yaitu pertama, waktu antar pemesanan berdasarkan kapasitas gudang ( $T_{gudang}$ ) sebagai hasil pembagian antara kapasitas gudang yang tersedia dalam satuan volume dengan volume total barang yang disimpan dalam satuan volume. Kedua, waktu antar pemesanan gabungan ( $T_{joint}$ ) dari hasil penurunan persamaan biaya total persediaan terhadap waktu antar pemesanan dengan kendala kapasitas gudang. Kedua nilai waktu antar pemesanan ini kemudian dibandingkan, jika nilai  $T_{gudang} \geq T_{joint}$ , maka tidak ada kendala dengan kapasitas gudang dan nilai  $T^*$  yang digunakan adalah  $T_{joint}$ . Jika nilai  $T_{gudang} \leq T_{joint}$ , maka nilai  $T^*$  yang digunakan adalah  $T_{gudang}$ .

Model yang telah dikembangkan kemudian dilakukan uji coba data numerik yang diperoleh secara sekunder dari penelitian terdahulu. Uji coba model dilakukan untuk memastikan model yang telah dikembangkan dapat digunakan. Setelah dilakukan uji coba numerik, model akan dianalisis untuk mengetahui perbedaan karakteristik model yang telah dikembangkan dengan model sebelumnya. Selain itu uji sensitivitas juga dilakukan pada beberapa parameter yaitu faktor *incremental discount*, kapasitas gudang, biaya simpan, dan fraksi barang baik.

### Asumsi Model

Model penelitian ini menggunakan beberapa asumsi untuk menghindari adanya kesalahpahaman, yaitu sebagai berikut :

1. Barang yang dipesan berasal dari satu pemasok yang sama sehingga waktu ancap-ancap untuk seluruh jenis barang akan sama.
2. Kebijakan pemesanan yang digunakan adalah *joint order*, di mana beberapa jenis produk dipesan secara bersamaan.
3. Fraksi barang baik ( $\theta_i$ ) konstan untuk setiap tipe barang, dalam model ini diasumsikan besarnya  $\theta_i$  adalah 0,9 atau 90 %.

4. Adanya barang kedaluwarsa memberikan konsekuensi pada dua komponen biaya, yaitu :
  - a. Biaya kekurangan: Barang kedaluwarsa akan menyebabkan ketersediaan barang berkurang sehingga jumlah barang tidak cukup untuk memenuhi permintaan yang akan datang.
  - b. Biaya kedaluwarsa : Perusahaan akan mengalami kerugian sebagai akibat dari penjualan barang dengan nilai jual yang lebih murah daripada harga belinya.
5. Seluruh barang kedaluwarsa akan dijual secara serentak pada akhir periode penyimpanan ( $t_{1i}$ ) sebelum barang mengalami kedaluwarsa agar tidak ada barang kedaluwarsa yang tersisa selama periode terjadinya kekurangan barang ( $t_{2i}$ ).
6. Besar harga jual barang kedaluwarsa ( $J_i$ ) merupakan persentase tertentu terhadap harga beli rata-rata ( $\underline{P}_i$ ), di mana dalam penelitian ini akan menggunakan persentase sebesar 30 %.
7. Satuan volume untuk jenis barang ke- $i$  tidak dihitung lagi tapi diketahui dengan pasti nilainya.
8. Kekurangan barang selama satu horison perencanaan, setelah periode terjadinya kekurangan barang, akan dianggap sebagai *lost sales*.
9. Biaya kekurangan per unit akan diasumsikan sama dengan keuntungan yang didapatkan dari setiap barang.
10. Biaya kekurangan per unit akibat barang kedaluwarsa maupun akibat pola permintaan yang bersifat probabilistik akan dianggap sama.

### Notasi Model

Berikut adalah notasi-notasi yang digunakan dalam model ini, yaitu sebagai berikut :

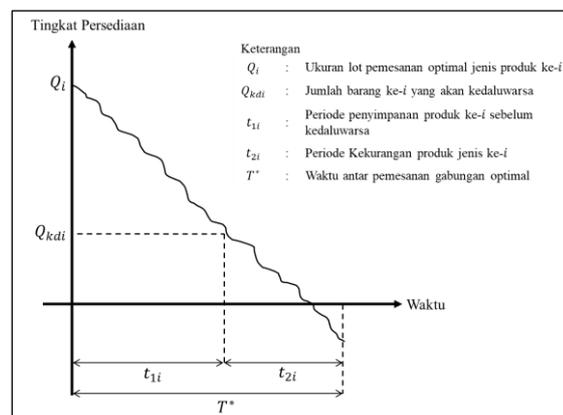
$i$	: Jumlah jenis produk (unit)
$k$	: Jumlah rentang dalam suatu <i>price break</i>
$y$	: Batas nilai $k$
$D_i$	: Jumlah <i>demand</i> produk ke- $i$ dalam satu horison perencanaan (unit/tahun)
$\underline{P}_i$	: Harga beli rata-rata per unit produk ke- $i$ (\$)
$P_{ki}$	: Harga beli produk ke- $i$ dalam satu rentang <i>price break</i> (\$)
$E_{ki}$	: Biaya pembelian ekstra produk ke- $i$ (\$)

$U_{ki}$  : Batas ketentuan unit diskon dalam rentang  $k$  produk ke- $i$  (unit)  
 $A$  : Biaya pesan per sekali pesan (\$/unit)  
 $H_i$  : Biaya simpan per produk ke- $i$  per periode perencanaan (\$/unit)  
 $I$  : Fraksi biaya simpan berdasarkan harga beli per unit (%)  
 $\theta_i$  : Fraksi barang baik untuk jenis produk ke- $i$  ( $0 < \theta_i < 1$ ) (%)  
 $1 - \theta_i$  : Fraksi barang yang akan mengalami kedaluwarsa untuk jenis produk ke- $i$  ( $0 < 1 - \theta_i < 1$ ) (%)  
 $a$  : Kemungkinan terjadinya kekurangan persediaan (%)  
 $z_{ai}$  : Nilai  $z$  pada tingkat kekurangan  $\alpha$  pada distribusi normal untuk setiap produk ke- $i$   
 $f_{z_{ai}}$  : Fungsi ordinat **distribusi normal** pada titik  $Z_\alpha$  untuk jenis produk ke- $i$   
 $\varphi_{z_{ai}}$  : Ekspektasi distribusi parsial dari distribusi normal untuk jenis produk ke- $i$   
 $S_i$  : Standar deviasi permintaan jenis produk ke- $i$  selama horison perencanaan (unit/tahun)  
 $L$  : Waktu anjang-ancang untuk seluruh jenis produk (tahun)  
 $cu_i$  : Biaya kekurangan persediaan jenis produk ke- $i$  (\$/unit)  
 $W$  : Total kapasitas gudang yang tersedia (satuan volume)  
 $w_i$  : Volume untuk jenis produk ke- $i$  (satuan volume)  
 $Q_i$  : Jumlah pemesanan optimal untuk produk ke- $i$  (unit) (unit)  
 $Q_{kdi}$  : Jumlah barang yang akan kedaluwarsa untuk jenis produk ke- $i$  (unit)  
 $ss_i$  : Cadangan pengaman untuk jenis produk ke- $i$  (unit)  
 $N_i$  : Ekspektasi kekurangan persediaan jenis produk ke- $i$  (unit)  
 $N_{Ti}$  : Ekspektasi kekurangan persediaan jenis produk ke- $i$  selama horison perencanaan (unit)  
 $J_i$  : Harga jual per unit produk ke- $i$  yang akan kedaluwarsa (\$/unit)  
 $t_{1i}$  : Periode penyimpanan produk ke- $i$  sebelum mengalami kedaluwarsa (tahun)  
 $t_{2i}$  : Periode terjadinya kekurangan produk jenis ke- $i$  (tahun)  
 $\lambda$  : Nilai pengali Lagrange untuk batasan kapasitas gudang  
 $T^*$  : Waktu antar pemesanan optimal (tahun)  
 $T_{gudang}$  : Waktu antar pemesanan berdasarkan kapasitas gudang (tahun)  
 $T_{joint}$  : Waktu antar pemesanan optimal dengan kebijakan *joint order* (tahun)

$T_{joint}^*$  : Waktu antar pemesanan gabungan baru berdasarkan  $T_{max}$  (tahun)  
 $T_{max}$  : Waktu antar pemesanan pada batas pembelian maksimum dalam  $U_k$  (tahun)  
 $T_{min}$  : Waktu antar pemesanan pada batas pembelian minimum dalam  $U_k$  (tahun)  
 $O_b$  : Biaya pembelian selama satu periode perencanaan (\$)  
 $O_p$  : Biaya pemesanan selama satu periode perencanaan (\$)  
 $O_s$  : Biaya penyimpanan selama satu periode perencanaan (\$)  
 $O_k$  : Biaya kekurangan selama satu periode perencanaan (\$)  
 $O_{kd}$  : Biaya kedaluwarsa selama satu periode perencanaan (\$)  
 $TIC$  : Biaya total persediaan selama satu periode perencanaan (\$)

### Formulasi Model

Model persediaan dari penelitian ini adalah hasil dari pengembangan model persediaan probabilistik *multi-item* yang mempertimbangkan faktor kedaluwarsa, faktor *all unit discount*, dan kendala keterbatasan kapasitas gudang (Silitonga et al., 2021) dengan merubah faktor diskon menjadi *incremental discount* (Lesmono & Limansyah, 2012).



**Gambar 1.** Ilustrasi posisi persediaan probabilistik dalam satu siklus (Silitonga et al., 2021)

Ilustrasi posisi persediaan dalam satu siklus dapat dilihat pada Gambar 1.  $Q_i$  merupakan tingkat persediaan maksimal dan waktu antar pemesanan optimal digambarkan dengan  $T^*$ . Nilai  $T^*$  didapatkan dari hasil pembagian jumlah pemesanan barang ke- $i$  ( $Q_i$ ) dengan *demand* produk ke- $i$  dalam satu horison perencanaan ( $D_i$ ). Oleh karena kebijakan pengadaan yang

digunakan adalah *joint order*, lamanya waktu antar pemesanan semua produk dianggap sama di mana  $T^* = \frac{Q_1}{D_1} = \frac{Q_2}{D_2} = \frac{Q_3}{D_3} = \frac{Q_i}{D_i}$ . Maka dari itu untuk mencari nilai  $Q_i$ , persamaannya adalah:

$$Q_i = T^* D_i \quad \text{Pers. 1}$$

Kekurangan persediaan dalam model ini disebabkan oleh 2 hal yaitu barang yang mengalami kedaluwarsa dan ketidakpastian dari *demand* yang bersifat probabilistik. Saat periode akhir  $t_{1i}$ , seluruh produk akan dijual kepada pihak khusus dengan harga jual yang lebih rendah daripada harga beli ke pemasok. Hal ini dilakukan untuk mengurangi kerugian dari barang yang akan mengalami kedaluwarsa.

Dengan menggunakan pendekatan kesebangunan, persamaan untuk  $t_{1i}$  dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{Q_i}{T^*} = \frac{Q_i - Q_{kdi}}{t_{1i}} \\ t_{1i} = \frac{T^*(Q_i - Q_{kdi})}{Q_i} \quad \text{Pers. 2}$$

Fraksi barang baik ( $\theta_i$ ) atau barang yang tidak mengalami kedaluwarsa dibandingkan dengan keseluruhan barang dapat ditulis sebagai berikut:

$$\theta_i = \frac{Q_i - Q_{kdi}}{Q_i} \quad \text{Pers. 3}$$

Maka dengan menyederhanakan Persamaan 3, dapat ditentukan persamaan untuk jumlah barang yang mengalami kedaluwarsa ( $Q_{kdi}$ ) yaitu:

$$Q_{kdi} = Q_i(1 - \theta_i) \quad \text{Pers. 4}$$

Lalu substitusikan Persamaan 4 ke Persamaan 2, lalu disederhanakan sehingga dapat diperoleh persamaan untuk  $t_{1i}$  yaitu:

$$t_{1i} = T^* \theta_i \quad \text{Pers. 5}$$

Panjang  $T^*$  didapatkan dengan menjumlahkan  $t_{1i}$  dan  $t_{2i}$ , secara matematis ditulis sebagai berikut :

$$T^* = t_{1i} + t_{2i} \quad \text{Pers. 6}$$

Selanjutnya substitusikan Persamaan 5 ke Persamaan 6, maka dapat diperoleh persamaan untuk  $t_{2i}$  yaitu:

$$t_{2i} = T^*(1 - \theta_i) \quad \text{Pers. 7}$$

Dalam model ini, terdapat 5 komponen biaya persediaan yaitu biaya pembelian ( $O_b$ ), biaya pemesanan ( $O_p$ ), biaya penyimpanan ( $O_s$ ), biaya kekurangan ( $O_k$ ), dan biaya kedaluwarsa ( $O_{kd}$ ). Secara matematis, persamaan biaya total dapat ditulis sebagai berikut :

$$TIC = O_b + O_p + O_s + O_k + O_{kd} \quad \text{Pers. 8}$$

### Biaya Pembelian ( $O_b$ )

Kebijakan diskon yang digunakan dalam biaya pembelian ini adalah *incremental discount* di mana diskon diberikan secara bertahap oleh pemasok. Ilustrasi skema diskon dapat digambarkan sebagai berikut :

$$P_{ki} = \left\{ \begin{array}{l} a_{0i} \text{ untuk } U_{oi} \leq Q \\ < U_{1i} - 1 \ a_{1i} \text{ untuk } U_{1i} \leq Q \\ < U_{2i} - 1 \ a_{2i} \text{ untuk } U_{2i} \leq Q \\ < U_{3i} - 1 \ : \ a_{yi} \text{ untuk } U_{yi} \leq Q \\ < U_{(y+1)i} - 1 \end{array} \right\}$$

Dengan  $U_{ki} < U_{(k+1)i}$  dan  $a_{ki} > a_{(k+1)i}$ ,  $k = 0, 1, 2, \dots, y$  dan  $i = 1, 2, \dots, n$ . Potongan harga akan diberikan secara bertahap sesuai dengan kuantitas produk yang dipesan. Hal ini menyebabkan harga beli per unit setiap produk akan berbeda-beda karena adanya biaya beli ekstra ( $E_{ki}$ ). Di mana  $E_{ki}$  didefinisikan sebagai berikut:

$$E_{ki} = \sum_{k=0}^n (U_{ki} - 1)(a_{ki-1} - a_{ki}), \quad \text{Pers. 9}$$

Biaya pembelian diperoleh dari hasil perkalian antara harga beli per unit dengan *demand* produk dalam satu horison perencanaan. Untuk mengatasi perbedaan harga beli per unit, maka harga beli rata-rata per unit pembelian akan digunakan. Secara matematis biaya pembelian dapat ditulis sebagai berikut :

$$O_b = \sum_{i=1}^n \frac{P_i D_i}{T^*} \\ O_b = \sum_{i=1}^n \left( P_{ki} + \frac{E_{ki}}{Q_i} \right) D_i \quad \text{Pers. 10}$$

Substitusi Persamaan 1 ke Persamaan 10 sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$O_b = \sum_{i=1}^n \left( P_{ki} + \frac{E_{ki}}{T^*} \right) \quad \text{Pers. 11}$$

### Biaya Pemesanan ( $O_p$ )

Biaya pemesanan didapatkan dari hasil perkalian antara biaya per sekali pesan ( $A$ ) dengan frekuensi pemesanan. Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$O_p = A \times \frac{D_i}{Q_i} \quad \text{Pers. 12}$$

Jika  $T^* = \frac{Q_i}{D_i}$ , maka  $\frac{D_i}{Q_i} = \frac{1}{T^*}$ , sehingga

Persamaan 12 dapat ditulis sebagai berikut :

$$O_p = \frac{A}{T^*} \quad \text{Pers. 13}$$

### Biaya Penyimpanan ( $O_s$ )

Biaya penyimpanan merupakan hasil perkalian antara biaya simpan per unit per periode, rata-rata jumlah barang yang disimpan, dan lama periode penyimpanan untuk setiap satu siklus penyimpanan ( $t_{1i}$ ). Biaya simpan per unit diperoleh dari proporsi harga beli per unit produk. Secara matematis biaya simpan dapat ditulis sebagai berikut:

$$O_s = \sum_{i=1}^n \left( H_i \times \frac{1}{2} (Q_i + Q_{kdi}) \times t_{1i} \right) \times \frac{D_i}{Q_i} + \sum_{i=1}^n H_i s s_i \quad \text{Pers. 14}$$

Oleh karena  $T^* = \frac{Q_i}{D_i}$ , maka  $\frac{D_i}{Q_i} = \frac{1}{T^*}$ . Lalu substitusikan Persamaan 2 dan  $\frac{D_i}{Q_i} = \frac{1}{T^*}$  ke Persamaan 14 kemudian disederhanakan sehingga persamaannya dapat ditulis sebagai berikut :

$$O_s = \sum_{i=1}^n \left( \frac{H_i (T^* D_i \theta_i + T^* D_i \theta_i (1 - \theta_i) + 2 s s_i)}{2} \right) \quad \text{Pers. 15}$$

Besarnya cadangan pengaman diestimasi dengan  $a$ . Persamaan untuk mencari cadangan pengaman adalah sebagai berikut :

$$s s_i = z_\alpha S_i \sqrt{L} \quad \text{Pers. 16}$$

### Biaya Kekurangan ( $O_k$ )

Ekspektasi kekurangan barang memiliki distribusi normal mengikuti distribusi permintaannya. Besarnya nilai ekspektasi kekurangan dipengaruhi oleh tingkat persediaan pada saat titik pemesanan ulang, permintaan acak selama *lead time* dan fungsi probabilitas permintaan (Bahagia, 2006). Fungsi probabilitas permintaan digambarkan sebagai fungsi kepadatan distribusi (*probability density function*) normal dengan rata-rata dan standar deviasi permintaan selama *lead time* adalah  $D_L$  dan  $S_L$ .

$$E(N) = S_L \left[ \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z_\alpha^2}{2}} - z_\alpha \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{z_\alpha}^{\infty} e^{-\frac{z_\alpha^2}{2}} \right]$$

Pers.17

Nilai  $\alpha$  yang merupakan ekspektasi atau kemungkinan terjadinya kekurangan ditentukan di awal dengan mempertimbangkan tingkat pelayanan yang diinginkan. Kondisi ini merupakan ciri model persediaan probabilistik sederhana. Dikatakan sederhana karena tingkat kekurangan yang bersifat probabilistik ditentukan menjadi parameter model bukan menjadi variabel keputusan model.

Nilai  $N_i$  dapat dicari dengan persamaan berikut ini :

$$N_i = S_i \sqrt{L} [f_{z_\alpha} - z_\alpha \phi_\alpha] \quad \text{Pers. 18}$$

Biaya kekurangan didapatkan dari hasil perkalian antara biaya kekurangan untuk barang jenis ke- $i$  ( $cu_i$ ), jumlah rata-rata kekurangan barang untuk setiap periode, lama waktu kekurangan untuk setiap periode ( $t_{2i}$ ), serta banyak siklus kekurangan untuk satu horison perencanaan.

Secara matematis persamaan dapat ditulis sebagai berikut

$$O_k = \sum_{i=1}^n \left( \frac{cu_i D_i (1 - \theta_i)^2 T^{*2} + 2 N_i}{2 T^*} \right) \quad \text{Pers. 19}$$

### Biaya Kedaluwarsa ( $O_{kd}$ )

Biaya kedaluwarsa adalah biaya yang muncul ketika barang persediaan sudah melewati batas waktu simpan ( $t_{1i}$ ). Untuk mengatasi ini perusahaan akan menjual produk yang akan mengalami kedaluwarsa dengan harga khusus ( $J_i$ ). Biaya kedaluwarsa didapatkan dari hasil perkalian antara jumlah barang yang akan mengalami kedaluwarsa selama satu horison perencanaan dengan selisih harga beli rata-rata per unit dan harga jual. Selain itu cadangan pengaman yang disimpan juga dapat mengalami kedaluwarsa sehingga secara matematis persamaan dapat ditulis sebagai berikut :

$$O_{kd} = \sum_{i=1}^n \left( (D_i + s s_i) (1 - \theta_i) \times (P_i - J_i) \right) \quad \text{Pers. 20}$$

Biaya total persediaan didapatkan dengan menggabungkan kelima komponen biaya persediaan menjadi sebagai berikut :

$$TIC = \sum_{i=1}^n \left( P_{ki} + \frac{E_{ki}}{T^*} \right) + \frac{A}{T^*} + \sum_{i=1}^n \left( \frac{H_i (T^* D_i \theta_i + T^* D_i \theta_i (1 - \theta_i) + 2 s s_i)}{2} \right) +$$

$$\sum_{i=1}^n \left( \frac{cu_i D_i (1-\theta_i)^2 T^{*2} + 2N_i}{2T^*} \right) + \sum_{i=1}^n \left( D_i + ss_i \right) (1 - \theta_i) \times (P_i - J_i) \quad \text{Pers. 21}$$

### Formulasi Waktu antar Pemesanan Gabungan Optimal antar Siklus

Permasalahan kendala kapasitas gudang dalam model ini diatasi dengan menggunakan metode optimasi *Karush Kuhn Tucker* (KKT). Fungsi kendala keterbatasan kapasitas gudang dapat digambarkan dalam persamaan berikut ini :

$$\sum_{i=1}^n w_i Q_i \leq W \quad \text{Pers. 22}$$

Oleh karena variabel keputusan model ini adalah waktu antar pemesanan optimal ( $T^*$ ), maka fungsi kendala harus mengandung unsur  $T^*$ , sehingga persamaan dapat ditulis sebagai berikut :

$$\sum_{i=1}^n w_i Q_i T \leq W \quad \text{Pers. 23}$$

Dengan menggunakan metode optimasi KKT, dapat diperoleh solusi waktu antar pemesanan gabungan optimal ( $T_{joint}$ ) dengan menurunkan persamaan biaya total persediaan ( $TIC$ ) terhadap waktu antar pemesanan gabungan dengan kendala kapasitas.

Berikut adalah fungsi tujuan untuk *non-linear programming* adalah sebagai berikut :

$$\text{Min } TIC(T)$$

Dengan kendala :

$$g(T) \leq W, \text{ di mana } T \geq 0$$

Berdasarkan hasil penurunan, maka didapatkan persamaan untuk kedua waktu antar pemesanan yaitu :

$$T_{gudang} = \frac{W}{\sum_{i=1}^n w_i D_i} \quad \text{Pers. 24}$$

$$T_{joint} < \sqrt{\frac{2 \left( A + \sum_{i=1}^n (cu_i N_i) + \sum_{i=1}^n E_{ki} \left( 1 + \frac{1}{D_i} \right) \right)}{\sum_{i=1}^n H_i D_i \theta_i (2 - \theta_i) + cu_i D_i (1 - \theta_i)^2}} \quad \text{Pers. 25}$$

25

### Perancangan Algoritma

Algoritma untuk mencari total biaya persediaan akan dilakukan dalam 2 skenario yaitu skenario 1 di mana kapasitas gudang menjadi kendala. Nilai  $T_{gudang} \leq T_{joint}$  sehingga  $T^*$  yang digunakan adalah  $T_{gudang}$ . Berikut adalah algoritma skenario 1, yaitu :

1. Tentukan nilai  $T_{gudang}$  berdasarkan Persamaan 24.
2. Tentukan nilai  $T_{joint}$  berdasarkan nilai  $E_{ki}$  dengan Persamaan 25, dimulai dari  $k = 0, 1, 2, \dots, y$ .
3. Jika nilai  $T_{gudang} \leq T_{joint}$ , maka nilai  $T_{opt}$  adalah nilai  $T_{gudang}$ .
4. Tentukan nilai  $Q_i$  berdasarkan nilai  $T$  yang sudah diperoleh.
5. Tentukan harga beli rata-rata untuk produk ke- $i$  ( $P_i$ ) berdasarkan nilai  $Q_i$  yang sudah diperoleh dari nilai waktu antar pemesanan menggunakan Persamaan 11. Cari nilai biaya pembelian ekstra ( $E_{ki}$ ) terlebih dahulu, kemudian dibagi dengan waktu antar pemesanan ( $T^*$ ), lalu ditambahkan dengan harga beli per unit yang terpilih dari *price break* ( $P_{ki}$ ) berdasarkan nilai  $Q_i$  dengan rentang ketentuan unit diskon dalam *price break*.
6. Hitung biaya total persediaan.

Skenario 2 di mana kapasitas gudang tidak menjadi kendala sehingga nilai  $T_{gudang} \geq T_{joint}$  dan  $T^*$  yang digunakan adalah  $T_{joint}$ . Berikut adalah algoritma skenario 2, yaitu :

1. Tentukan nilai  $T_{gudang}$  berdasarkan Persamaan 24.
2. Tentukan nilai  $T_{joint}$  berdasarkan nilai  $E_{ki}$  dengan Persamaan 25, dimulai dari  $k = 0, 1, 2, \dots, y$ .
3. Jika nilai  $T_{gudang} \geq T_{joint}$ , maka tidak ada kendala dengan kapasitas gudang dan nilai  $T_{opt}$  adalah nilai  $T_{joint}$ .
4. Tentukan nilai  $Q_i$  berdasarkan  $T_{joint}$ .
5. Evaluasi apakah nilai  $Q_i$  dapat diterima (valid) atau masuk ke dalam rentang pembelian  $U_{ki} \leq Q \leq U_{(k+1)i}$ . Apabila  $Q_i$  dapat diterima (valid), maka lanjutkan ke langkah 9. Jika tidak valid maka lanjutkan ke langkah 6.
6. Jika  $Q_i$  tidak valid, maka:
  - a. Ketika  $Q_i$  berada di bawah batas minimal pembelian, maka  $Q_i$  yang digunakan adalah  $U_{ki}$ .
  - b. Ketika  $Q_i$  berada di atas batas maksimal pembelian, maka  $Q_i$  yang digunakan adalah  $U_{(k+1)i}$ .
7. Tentukan waktu pemesanan gabungan baru ( $T_{joint}^*$ ) berdasarkan batas kuantitas pembelian minimum ( $T_{min}$ ) atau maksimum ( $T_{max}$ ) dengan Persamaan 1.

8. Evaluasi apakah kuantitas pemesanan sudah valid atau tidak, ketika kuantitas pemesanan tidak valid, maka waktu pemesanan gabungan baru tidak dapat digunakan. Jika kuantitas pemesanan valid, maka dapat dilanjutkan ke langkah 9.
9. Tentukan harga beli rata-rata untuk produk ke- $i$  ( $P_i$ ) sesuai dengan nilai  $Q_i$  berdasarkan waktu pemesanan.
10. Hitung biaya total persediaan.

## Hasil dan Pembahasan

### Data dan Perhitungan

Data numerikal yang digunakan untuk uji numerik model diperoleh dari penelitian Silitonga, dkk (Silitonga et al., 2021, 2022). Uji coba data numerik akan dilakukan dalam 2 skenario. Skenario pertama, di mana kapasitas gudang terbatas sehingga membatasi waktu antar pemesanan produk. Skenario kedua, di mana kapasitas gudang sangat besar sehingga tidak akan membatasi waktu antar pemesanan. Kedua skenario diuji menggunakan data-data yang sama, hanya berbeda pada nilai kapasitas gudang untuk masing-masing skenario. Data-data tersebut dapat dilihat pada Tabel 1 sampai Tabel 3. Selain itu, nilai  $H_i$  yang digunakan dalam seluruh perhitungan  $T_{joint}$  adalah fraksi dari harga beli per unit dalam harga normal tanpa potongan harga.

**Tabel 1.** Data produk dan elemen persediaan

Keterangan	Tipe Produk		
	1	2	3
$D_i$ (unit/tahun)	550	450	800
$w_i$ (satuan vol)	2	2	2
$L_i$ (tahun)	0,0083 102	0,0083 102	0,0083 102
$S_i$ (unit/tahun)	57,75	42	72
$N_i$ (unit)	0,3596	0,3046	0,6028
$\theta_i$ (%)	0,9	0,9	0,9
$a_i$ (%)	0,05	0,06	0,07
Nilai $z$	1,65	1,55	1,45
Nilai $f_{z\alpha}$	0,1023	0,12	0,1394
Nilai $\varphi_{z\alpha}$	0,0206	0,0261	0,0328
$A$ (\$)	\$5		
$I$ (%)	0,3	0,3	0,3
$cu_i$ (\$)	\$3	\$4	\$2
$J_i$ (\$)	\$0,3	\$0,5	\$0,2

Berdasarkan pengolahan data Tabel 1 sampai 3, uji coba numerikal pada skenario 1 menghasilkan nilai  $T_{gudang} < T_{joint}$ . Hal ini menunjukkan bahwa kapasitas gudang sebesar 500 satuan volume membatasi waktu

pemesanan. Oleh karena itu waktu pemesanan optimal untuk skenario 1 adalah  $T_{gudang}$  sebesar 0,1388 tahun atau 51 hari dengan biaya total persediaan sebesar \$ 827,43. Namun dengan menggunakan  $T_{joint}$ , biaya total jauh lebih murah daripada biaya total dengan  $T_{gudang}$  yaitu sebesar \$ 781,19. Agar biaya total persediaan optimal dapat tercapai, volume kapasitas gudang perlu direlaksasi menjadi sebesar 1.287,63 satuan volume.

**Tabel 2.** Data skema harga produk dan kapasitas gudang

Ketentuan Unit Diskon	Tipe Produk		
	1	2	3
$\leq 50$	\$0,43	\$0,57	\$0,33
51-100	\$0,41	\$0,55	\$0,31
101-150	\$0,39	\$0,53	\$0,29
$\geq 151$	\$0,37	\$0,51	\$0,27

**Tabel 3.** Data kapasitas gudang

Keterangan	Skenario 1	Skenario 2
$W$ (satuan vol)	500	2250

**Tabel 4.** Hasil pengolahan data skenario 1

Waktu antar Pemesanan (Tahun)	Biaya Total Persediaan	
$T_{gudang}$	<b>0,1388</b>	<b>\$827,43</b>
$T_{joint}$	0,2485	\$795,23
	0,2695	\$791,71
	0,3074	\$786,08
	<b>0,3567</b>	<b>\$781,19</b>

**Tabel 5.** Hasil pengolahan data skenario 2

Waktu antar Pemesanan (Tahun)	Biaya Total Persediaan	
$T_{gudang}$	<b>0,625</b>	<b>\$782,32</b>
$T_{joint}^*$	0,0625	\$890,04
	0,125	\$835,02
$T_{joint}$	<b>0,3567</b>	<b>\$781,19</b>

Dalam uji coba numerikal skenario 2, diperoleh nilai  $T_{joint} < T_{gudang}$  sehingga waktu antar pemesanan optimal yang digunakan adalah  $T_{joint}$ . Namun dalam skenario 2, diperlukan pemeriksaan apakah kuantitas pemesanan produk valid terhadap rentang ketentuan unit diskon dalam *price break* atau tidak. Apabila kuantitas pemesanan tidak valid terhadap rentang ketentuan unit diskonnya, maka diperlukan penyesuaian waktu antar pemesanan gabungan baru ( $T_{joint}^*$ ). Setelah uji coba numerikal dilakukan, dapat diketahui bahwa biaya total persediaan dengan menggunakan  $T_{joint}$  memberikan biaya yang

paling optimum sebesar \$ 781,19. Hal ini menunjukkan bahwa biaya total dengan  $T_{joint}$  tetap memberikan biaya paling minimum untuk kedua skenario. Adanya penyesuaian waktu pemesanan gabungan baru menyebabkan waktu pemesanan menjadi lebih pendek sehingga kuantitas pembelian menjadi lebih sedikit, yang kemudian mengakibatkan penurunan diskon pembelian.

### Analisis Perbandingan Model

Analisis perbandingan dilakukan untuk mengetahui perbedaan karakteristik model dengan model sebelumnya. Selain itu kedua kebijakan diskon juga akan dibandingkan untuk melihat pengaruh *incremental discount* terhadap komponen biaya persediaan dibandingkan dengan *all unit discount*. Analisis perbandingan kebijakan diskon hanya dilakukan terhadap 1 jenis produk yaitu produk ke-1 dengan asumsi jumlah pemesanan sebesar 125 unit. Berikut adalah model-model yang akan dibandingkan yaitu:

1. Model 1: Model probabilistik multi-item dengan mempertimbangkan faktor kedaluwarsa, *all unit discount*, dan kendala kapasitas gudang (Silitonga et al., 2021).
2. Model 2: Model probabilistik single item dengan mempertimbangkan faktor kedaluwarsa, dan *incremental discount* (Lesmono & Limansyah, 2012).
3. Model 3: Model dalam penelitian ini, yaitu model probabilistik multi-item dengan mempertimbangkan faktor kedaluwarsa, *incremental discount*, dan kendala kapasitas gudang.

Ketiga model dibandingkan menggunakan data parameter yang sama dengan beberapa penyesuaian. Hasil perhitungan biaya total kedua skenario dapat dilihat pada Tabel 6. Pada skenario 1, waktu antar pemesanan optimal model 1 dan 3 adalah  $T_{gudang}$  dengan nilai 0,1388 tahun atau 51 hari. Pada skenario 2, waktu antar pemesanan optimal model 1 dan 3 adalah  $T_{joint}$  dengan nilai 0,2485 tahun atau 91 hari dan 0,3567 tahun atau 130 hari. Pada kedua skenario, Model 1 dengan kebijakan *all unit discount* memberikan biaya total persediaan yang lebih rendah daripada model 2 dan 3 yang menggunakan kebijakan *incremental discount*.

Dengan menggunakan kebijakan *all unit discount*, total diskon produk yang diperoleh nilainya lebih besar ketika rentang potongan harga dan rentang ketentuan unit diskonnya bernilai sama. Semakin besar total diskon produk yang diperoleh, akan menghasilkan harga beli per unit yang lebih rendah dan menghasilkan biaya pembelian, penyimpanan, serta biaya kedaluwarsa yang lebih rendah juga. Hal ini yang menyebabkan biaya total persediaan model 1 lebih rendah daripada kedua model lainnya. Biaya pemesanan model 2 lebih mahal daripada model lainnya karena kebijakan pengadaan persediaan dilakukan secara terpisah sehingga biaya pemesanannya lebih mahal. Dengan menggunakan model *multi-item*, kebijakan pengadaan secara bersamaan (*joint order*) dapat digunakan sehingga biaya pemesanan bisa jauh lebih murah.

**Tabel 6.** Perbandingan biaya total persediaan model 1, model 2, dan 3

Skenario 1			
Komponen Biaya	Model 1	Model 2	Model 3
Biaya Pembelian	\$705,00	\$747,48	\$741,02
Biaya Pemesanan	\$36,02	\$132,38	\$36,02
Biaya Penyimpanan	\$17,50	\$9,99	\$18,39
Biaya Kekurangan	\$12,63	\$30,92	\$12,63
Biaya Kedaluwarsa	\$15,72	\$19,75	\$ 9,37
<b>Total Biaya Persediaan</b>	<b>\$786,87</b>	<b>\$940,51</b>	<b>\$827,43</b>
Skenario 2			
Komponen Biaya	Model 1	Model 2	Model 3
Biaya Pembelian	\$ 669	\$ 747,48	\$ 699,46
Biaya Pemesanan	\$ 20,12	\$ 132,38	\$ 14,02
Biaya Penyimpanan	\$ 27,50	\$ 9,99	\$ 39,99
Biaya Kekurangan	\$ 11,37	\$ 30,92	\$ 12,56
Biaya Kedaluwarsa	\$ 12,07	\$ 19,75	\$ 15,16
<b>Total Biaya Persediaan</b>	<b>\$ 740,07</b>	<b>\$ 940,51</b>	<b>\$ 781,19</b>

Berdasarkan analisis perbandingan model sebelumnya, diketahui bahwa kebijakan diskon *all unit* memberikan diskon yang lebih besar daripada *incremental* sehingga biaya total persediaannya lebih murah. Adanya biaya

pembelian ekstra pada kebijakan *incremental discount* membuat harga beli per unit menjadi lebih tinggi. Dalam Tabel 7, persentase diskon produk yang diperlukan di masing-masing *price break* untuk memperoleh harga beli per unit yang sama nilainya jauh lebih besar daripada *all unit discount*. Semakin tinggi harga beli per unit produk, maka komponen biaya lain juga akan terpengaruh, seperti biaya pembelian, biaya simpan, dan biaya kedaluwarsa yang kemudian akan memengaruhi biaya total persediaan juga. Perlu adanya penyesuaian persentase diskon sebesar 9-10% agar harga beli per unit *incremental discount* sama dengan *all unit discount*. Hal ini membuktikan bahwa model 3 dapat memperoleh biaya total persediaan yang lebih murah ketika potongan harga yang ditawarkan nilainya relatif lebih besar apabila rentang ketentuan unit diskonnya sama.

**Tabel 7.** Perbandingan kebijakan *all unit discount* & *incremental discount*

<b>All Unit Discount</b>			
Ketentuan Unit Diskon	$Q_i = 125$ unit		$O_b = \$48,75$
	Harga Produk	Diskon (%)	$P_{ki}$
1 – 50	\$0,43	0,00%	
51 – 100	\$0,41	4,65%	
101 – 150	\$0,39	9,30%	\$0,39
$\geq 151$	\$0,37	13,95%	
<b>Incremental Discount</b>			
Ketentuan Unit Diskon	$Q_i = 125$ unit		$O_b = \$48,81$
	Harga Produk	Diskon (%)	$\frac{P_i}{}$
1 – 50	\$0,43	0,00%	
51 – 100	\$0,37	14,00%	
101 – 150	\$0,35	18,00%	\$0,39
$\geq 151$	\$0,34	22,00%	

### Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan parameter yang memengaruhi variabel keputusan yaitu waktu antar pemesanan, biaya total persediaan, dan jumlah barang yang mengalami kedaluwarsa. Parameter yang akan diuji adalah faktor ketentuan unit diskon, fraksi barang baik, kapasitas gudang, dan biaya simpan. Pengaruh perubahan nilai parameter

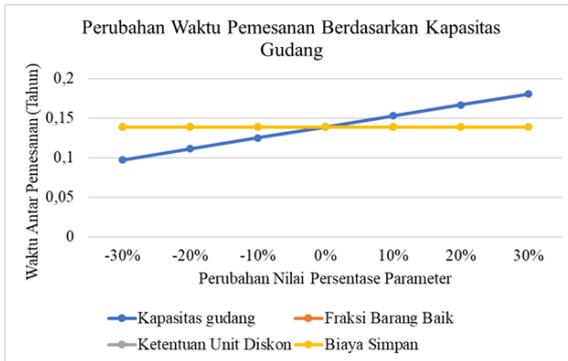
dapat dilihat pada Gambar 2 sampai Gambar 8. Gambar 2 merupakan analisis sensitivitas nilai  $T_{joint}$  terhadap faktor *incremental discount* yang dilakukan pada kondisi kapasitas gudang yang besar. Ketika kapasitas gudang tidak menjadi sebuah kendala, uji sensitivitas terhadap rentang ketentuan unit diskon dan rentang diskon perlu dilakukan untuk melihat pengaruh perubahan faktor *incremental discount* terhadap variabel keputusan yaitu waktu pemesanan optimal yang terpilih. Nilai  $T^*$  akan ditentukan oleh perubahan nilai  $T_{joint}$  akibat adanya perubahan pada rentang *incremental discount* baik dari rentang ketentuan unit atau rentang potongan harga. Pada model ini, perubahan rentang diskon akan memengaruhi nilai  $E_{ki}$ , di mana komponen  $E_{ki}$  dilibatkan dalam menentukan nilai  $T_{joint}$ . Gambar 3 analisis sensitivitas nilai  $T_{gudang}$  terhadap perubahan parameter, sedangkan gambar 4 merupakan analisis sensitivitas nilai  $T_{joint}$  terhadap perubahan parameter yang diuji. Gambar 5 dan 6 merupakan analisis sensitivitas terhadap biaya total persediaan kedua waktu antar pemesanan yaitu  $T_{gudang}$  dan  $T_{joint}$  dari perubahan parameter yang diuji. Terakhir Gambar 7 dan Gambar 8 merupakan analisis sensitivitas terhadap jumlah produk yang mengalami kedaluwarsa dari masing-masing nilai  $T_{gudang}$  dan  $T_{joint}$ .

Berdasarkan hasil analisis sensitivitas, nilai  $T_{gudang}$  sangat sensitif terhadap parameter kapasitas gudang. Dalam Gambar 3, dapat dilihat peningkatan 30% kapasitas gudang akan meningkatkan waktu antar pemesanan sebesar 30% juga. Nilai  $T_{joint}$  sensitif terhadap ketentuan unit diskon, fraksi barang baik, dan biaya simpan. Berdasarkan Gambar 2, semakin panjang rentang ketentuan unit diskon dan potongan harga dalam skema *incremental discount*, akan menghasilkan waktu antar pemesanan yang lebih panjang dengan ukuran lot pemesanan yang lebih besar. Dengan ukuran pemesanan yang besar, diskon yang diperoleh akan lebih besar juga sehingga harga beli per unit produk lebih murah. Namun komponen biaya simpan perlu diperhatikan karena semakin banyak jumlah persediaan yang disimpan, maka biaya simpan juga akan semakin tinggi. Selain itu dalam skenario 2, ketika rentang ketentuan unit diskon bernilai cukup besar, dapat menyebabkan sebuah kondisi di mana nilai  $T_{joint} > T_{gudang}$  sehingga

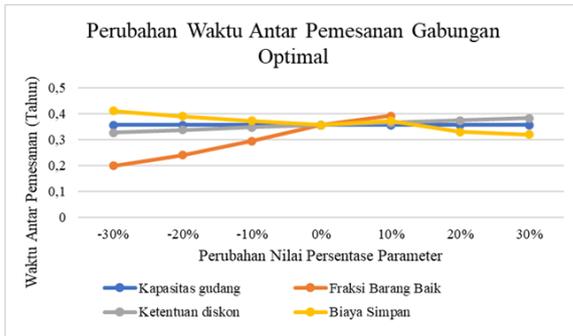
memengaruhi variabel keputusan model menjadi  $T_{gudang}$  kembali.



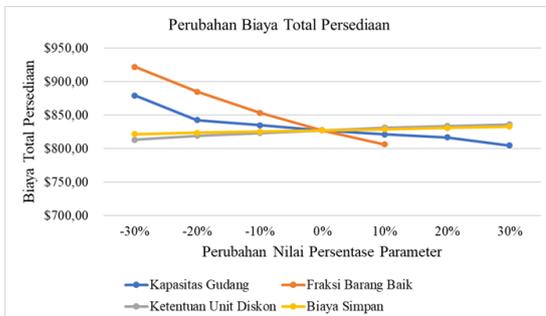
**Gambar 2.** Analisis sensitivitas  $T_{joint}$  terhadap faktor *incremental discount*



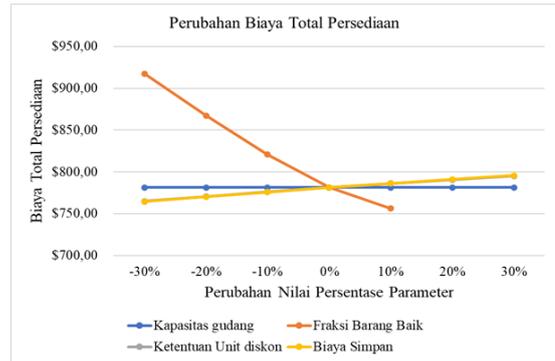
**Gambar 3.** Analisis sensitivitas  $T_{gudang}$



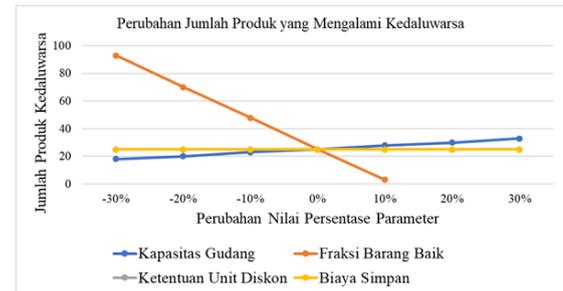
**Gambar 4.** Analisis sensitivitas  $T_{joint}$



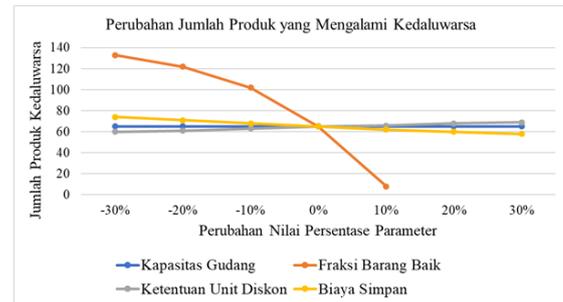
**Gambar 5.** Analisis sensitivitas biaya total persediaan dengan nilai  $T_{gudang}$



**Gambar 6.** Analisis sensitivitas biaya total persediaan dengan nilai  $T_{joint}$



**Gambar 7.** Analisis sensitivitas jumlah produk kedaluwarsa dengan nilai  $T_{gudang}$



**Gambar 8.** Analisis sensitivitas jumlah produk kedaluwarsa dengan nilai  $T_{joint}$

Berdasarkan Gambar 5, biaya total persediaan dengan nilai  $T_{gudang}$  sensitif terhadap kapasitas gudang, fraksi barang baik, dan ketentuan unit diskon. Biaya total persediaan dengan nilai  $T_{joint}$  sensitif terhadap fraksi barang baik, biaya simpan, dan ketentuan unit diskon. Ketika volume kapasitas gudang bertambah besar, biaya total persediaan menjadi lebih kecil karena frekuensi pemesanan lebih sedikit dengan ukuran lot pemesanan yang lebih besar. Nilai fraksi barang baik yang lebih besar disisi lain mengurangi biaya kedaluwarsa karena barang yang mengalami kedaluwarsa menjadi lebih sedikit. Ketentuan unit diskon memengaruhi biaya total persediaan karena memengaruhi diskon yang diperoleh. Semakin besar ketentuan unit diskon produk akan

menyebabkan biaya pembelian ekstra menjadi lebih besar sehingga total diskon yang diperoleh lebih kecil. Hal ini memengaruhi komponen biaya pembelian, simpan, dan kedaluwarsa sehingga biaya total persediaan menjadi lebih mahal. Semakin besar biaya simpan akan meningkatkan biaya total persediaan.

Jumlah barang kedaluwarsa untuk kedua nilai  $T$  sama-sama sensitif terhadap parameter fraksi barang baik. Semakin besar persentase fraksi barang baik, jumlah barang yang mengalami kedaluwarsa menjadi lebih sedikit. Ketika  $T^* = T_{gudang}$ , semakin besarnya kapasitas gudang akan menyebabkan jumlah produk kedaluwarsa menjadi semakin banyak ketika. Namun jumlah barang yang mengalami kedaluwarsa ketika menggunakan  $T^* = T_{joint}$  tidak mengalami perubahan. Faktor ketentuan unit diskon tidak memengaruhi jumlah produk kedaluwarsa ketika menggunakan nilai  $T_{gudang}$ , tetapi memengaruhi ketika menggunakan nilai  $T_{joint}$ . Perubahan ketentuan unit diskon akan memengaruhi nilai  $T_{joint}$  dan memengaruhi jumlah produk yang dipesan. Semakin besar ketentuan unit diskon akan menyebabkan jumlah produk yang mengalami kedaluwarsa semakin banyak. Biaya simpan yang semakin besar akan membuat jumlah produk yang mengalami kedaluwarsa lebih sedikit ketika  $T^*$  yang terpilih adalah  $T_{joint}$ . Akan tetapi ketika  $T^*$  yang terpilih adalah  $T_{gudang}$ , jumlah produk yang mengalami kedaluwarsa tidak mengalami perubahan atau konstan.

### Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengembangkan sebuah model inventori probabilistik *multi-item* dengan mempertimbangkan faktor kedaluwarsa, kendala kapasitas gudang, dan kebijakan *incremental discount*. Berdasarkan analisis perbandingan, dapat disimpulkan bahwa skema *all unit discount* memberikan total diskon yang lebih besar daripada skema *incremental discount* ketika rentang ketentuan unit dan rentang diskon yang ditawarkan nilainya sama. Ketika berhadapan dengan kebijakan *all unit & incremental discount* untuk produk yang sama, pihak pengelola persediaan lebih baik memilih kebijakan *all unit discount*. Namun kebijakan *incremental discount* dapat saja memberikan total harga lebih rendah ketika rentang *price break* berjumlah lebih banyak dengan harga lebih murah,

Hasil analisis sensitivitas menunjukkan bahwa nilai  $T_{gudang}$  sangat sensitif terhadap perubahan parameter kapasitas gudang. Nilai  $T_{joint}$  sensitif terhadap perubahan parameter ketentuan unit diskon, fraksi barang baik, dan biaya simpan.

Beberapa saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah mengembangkan model serupa di mana terdapat lebih dari satu pemasok yang memasok produk, kebijakan *goods return* untuk menangani produk yang mengalami kedaluwarsa, keterbatasan modal tunai, dan kondisi di mana kedaluwarsa setiap jenis produk berbeda-beda.

### Daftar Pustaka

- Ardiansyah, H., Gunawan, G., & Resipitawulan. (2016). Optimisasi Fungsi Nonlinier Dua Variabel Bebas dengan Satu Kendala Pertidaksamaan Menggunakan Syarat Kuhn-Tucker. *Prosiding Matematika*.
- Bahagia, S. N. (2006). *Sistem Inventori*. Penerbit ITB.
- Debora, M., Limansyah, T., & Lesmono, D. (2012). Model Persediaan Deterministik dengan Mempertimbangkan Waktu Kadaluarsa dan Faktor Incremental Discount. *Seminar Nasional MATEMATIKA*, 07, 70–77.
- Lesmono, J. D., & Limansyah, T. (2012). Pengembangan Model Persediaan Probabilistik dengan Faktor Kedaluwarsa dan Incremental Discount. *SiMantap*, 03, 209–217.
- Limanjaya, B., & Silitonga, R. Y. H. (2018). Development of Multi Item Probabilistic Inventory Model by Considering Perishable and Purchase Bonus Factors. *Jurnal Telematika Edisi IESC*, 54–59.
- Limansyah, T., & Lesmono, D. (2011). Model Persediaan Multi Item dengan Mempertimbangkan Faktor Kedaluwarsa dan Faktor All Unit Discount. *Jurnal Teknik Industri*, 13(2), 87–94.
- Prasetyo, H., Munawir, H., & Musthofiyah, N. A. (2005). Pengembangan Model Persediaan Dengan Mempertimbangkan Waktu Kadaluarsa dan Faktor Incremental Discount. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 4, 49–56.
- Silitonga, R. Y. H., Budiyo, I. J., & Bautista, C. C. (2022). Development of a Multi-Item Inventory Model by Considering Perishable and Return of Goods in a Hospital

- Pharmacy. *Journal of Novel Engineering Science and Technology*, 1(01), 9–14. <https://doi.org/10.56741/jnest.v1i01.55>
- Silitonga, R. Y. H., & Kawet, M. P. (2017). Pengembangan Model untuk Aplikasi Pengendalian Persediaan Probabilistik Multi Item Single Supplier. *Jurnal Telematika*, 12(1), 13–22.
- Silitonga, R. Y. H., & Kezia, C. (2017). Model Pengendalian Persediaan Probabilistik Multi Item Single Supplier dengan Bonus Pembelian. *4th Annual Conference in Industrial and System Engineering*.
- Silitonga, R. Y. H., Kristiana, L. R., & Parley, T. A. (2021). A Multi-Item Probabilistic Inventory Model that Considers Expiration Factor, All Unit Discount Policy and Warehouse Capacity Constraints. *Jurnal Teknik Industri*, 23(2), 139–148. <https://doi.org/10.9744/jti.23.2.139-148>
- Tersine, R. J. (1994). *Principles of Inventory and Materials Management 4th Edition* (4th ed.). Prentice Hall.
- Utama, D. M. (2017). Model Penentuan Lot Pemesanan Dengan Mempertimbangkan Unit Diskon dan Batasan Kapasitas Gudang dengan Program Dinamis. *Jurnal Teknik Industri*, 18(1), 94–102.

This page is intentionally left blank.