

PENGEMBANGAN MODEL PERSEDIAAN *ECONOMIC ORDER QUANTITY* MULTI ITEM DENGAN MEMPERTIMBANGKAN FAKTOR KADALUARSA, *ALL UNIT DISCOUNT*, DAN KENDALA KAPASITAS

Roland Y. H. Silitonga*, Celia Esterina Julieta

Program Studi Teknik Industri, Institut Teknologi Harapan Bangsa, Bandung, Indonesia

(Received: May 24, 2022/Accepted: October 18, 2022)

Abstrak

Jenis usaha produk konsumsi seperti minimarket biasanya menjual beberapa jenis produk dengan volume yang rendah dan memiliki fluktuasi permintaan yang cenderung kecil. Terdapat tiga hal yang perlu diperhatikan dalam mengendalikan persediaan pada minimarket, yaitu kemungkinan untuk mendapatkan potongan harga jika membeli bahan makanan dalam jumlah besar, barang konsumsi yang dapat kadaluarsa, serta adanya keterbatasan kapasitas yang dimiliki. Tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan model persediaan *economic order quantity* multi item dengan mempertimbangkan faktor kadaluarsa, *all unit discount*, dan kendala kapasitas. Pengembangan model dilakukan dengan cara mengembangkan model persediaan *economic order quantity* multi item dengan mempertimbangkan kadaluarsa dan *all unit discount* dari model terdahulu, lalu dilanjutkan dengan mengembangkan faktor kendala kapasitas menggunakan persamaan proporsi permintaan produk. Model yang telah dikembangkan akan diuji coba dengan melakukan perubahan pada nilai parameter model untuk melihat sensitivitasnya. Dari hasil analisis sensitivitas yang telah dilakukan, ditemukan bahwa total biaya persediaan sensitif terhadap harga beli satuan barang. Sedangkan, waktu pemesanan sensitif terhadap perubahan kapasitas gudang.

Kata kunci: *economic order quantity*; multi item; kadaluarsa; *all unit discount*; kendala kapasitas.

Abstract

[Development of Economic Order Quantity Multi Item Inventory Model by Considering Perishable Factor, All Unit Discount, and Capacity Constraint] Types of consumer product businesses such as minimarkets usually sell several types of products with low volumes and tend to have small fluctuations in demand. There are three things that need to be considered in controlling inventory at minimarkets, namely the possibility of getting a discount if you buy food in bulk, consumer goods that can expire, and the limited capacity they have. The purpose of this study is to develop a multi-item *economic order quantity* inventory model by considering expiration factors, *all unit discounts*, and capacity constraints. Model development is carried out by developing a multi-item *economic order quantity* inventory model by considering expiration and *all unit discounts* from the previous model, then proceeding to develop a capacity constraint factor using the product demand proportion equation. The developed model will be tested by making changes to the model parameter values to see its sensitivity. From the results of the sensitivity analysis that has been carried out, it was found that the total cost of inventory is sensitive to the unit purchase price of goods. Meanwhile, the time of ordering is sensitive to changes in warehouse capacity.

Keywords: *economic order quantity*; multi item; perishable; *all unit discount*; capacity constraint.

1. Pendahuluan

Dalam aktivitas usaha, persediaan merupakan aspek penting yang selalu ditemukan dan perlu untuk diperhatikan bukan hanya di dalam sistem manufaktur, namun di luar sistem manufaktur juga (Bahagia, 2006). Persediaan merupakan suatu fasilitas khusus yang sifatnya tetap dan dirancang untuk

mencapai target tingkat pelayanan yang diharapkan oleh perusahaan dengan total biaya yang serendah mungkin (Alhori dkk., 2020). Dari sisi pengguna/konsumen, kinerja dari sistem persediaan dapat diukur berdasarkan tingkat pelayanan (*service level*) yang diberikan oleh pengelola sistem persediaan kepada pengguna. Tingkat pelayanan adalah indikator kinerja yang secara sederhana mengukur kemampuan perusahaan untuk melayani permintaan pelanggan dan dinyatakan dalam persentase (Priniotakis dan Argyropoulos, 2018). Persediaan yang baik adalah

*Penulis Korespondensi.

E-mail: roland@ithb.ac.id

saat di mana persediaan berada pada jumlah yang optimal. Hal ini dikarenakan jika persediaan yang dimiliki tinggi, maka perusahaan perlu mengeluarkan biaya simpan yang besar, seperti biaya perawatan, biaya sewa, atau biaya asuransi (Limansyah dan Lesmono, 2011) serta kemungkinan kerugian yang muncul akibat kerusakan. Namun, jika terlalu kecil juga perusahaan akan mengeluarkan biaya *stock out* (kehabisan persediaan) yang terjadi karena perusahaan tidak bisa memenuhi permintaan konsumen (Juventia dan Hartanti, 2016).

Untuk jenis usaha produk konsumsi, seperti retail makanan pada tingkat menengah dan kecil terutama pada *minimarket* biasanya menjual beberapa jenis produk dengan volume yang rendah dan memiliki fluktuasi permintaan yang cenderung kecil. Untuk model persediaan dengan ukuran pemesanan tetap, model *economic order quantity* (EOQ) adalah model yang digunakan untuk menentukan ukuran pesanan optimal yang meminimalkan jumlah biaya penyimpanan dan biaya pemesanan (Ziukov, 2015). *Minimarket* memiliki tiga ciri khas. Pertama, produk-produk konsumsi yang disimpan di *minimarket* memiliki kemungkinan untuk mengalami kadaluarsa, sehingga perlu untuk mempertimbangkan adanya faktor kadaluarsa yang dimiliki produk untuk menghindari kerugian-kerugian yang timbul akibat kadaluarsanya produk (Nafisah dkk., 2016). Salah satu strategi yang perusahaan dapat diterapkan untuk meminimalisir kerugian adalah dengan melakukan menurunkan harga jual saat produk sudah mendekati masa kadaluarsanya untuk meningkatkan minat pembelian. Kedua, potongan harga yang diberikan oleh pemasok. Hal ini akan membuat pembeli lebih tertarik untuk meningkatkan jumlah pembelinya (Prasetyo dkk., 2006). Ketiga, jumlah barang yang dijual cenderung rendah dikarenakan adanya batasan kapasitas penyimpanan yang dimiliki. Kapasitas dari gudang terbatas dan dapat menjadi penghalang dalam menentukan jumlah barang yang harus dibeli dari pemasok (Silitonga dan Moses, 2021).

Pengembangan model untuk persediaan *multi item* yang mempertimbangkan faktor-faktor seperti, faktor *all unit discount*, *joint order*, dan kapasitas gudang telah banyak dilakukan, baik pada permintaan yang bersifat deterministik maupun probabilistik (Silitonga dan Moses, 2021; Wirawan dan Silitonga, 2021; Koswara dan Lesmono, 2018; Djunaidi dkk., 2005; Prasetyo dkk., 2012; Kusri, 2005). Silitonga dan Moses (2021) membuat model *economic order quantity* (EOQ) *multi item* dengan mempertimbangkan faktor *all unit discount* dan faktor kendala kapasitas. Kekurangan dalam penelitian ini yaitu tidak dimasukkannya faktor kadaluarsa sehingga apabila terdapat barang yang kadaluarsa, maka terdapat kerugian yang tidak diperhitungkan sebesar nilai dari harga beli barang tersebut. Limansyah dan Lesmono (2011) menyatakan faktor kadaluarsa barang merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi besarnya biaya total persediaan yang dikeluarkan bagi perusahaan makanan atau industri bahan kimia. Ketika barang sudah melewati batas umur pakainya (kadaluarsa), maka barang tidak dapat digunakan lagi

sehingga sudah tidak ada nilai jualnya lagi. Penelitian dengan menambahkan faktor kadaluarsa sudah dilakukan oleh Limansyah & Lesmono (2011) dan Marbun (2021) yang mengembangkan model *multi item* dengan memperhatikan faktor kadaluarsa. Untuk mengurangi kerugian akibat barang kadaluarsa, maka diterapkan strategi penurunan harga saat barang mendekati kadaluarsa. Penelitian lain terkait dengan model persediaan dengan menambahkan faktor kadaluarsa juga dilakukan oleh Prasetyo dkk. (2012) yang mengembangkan model persediaan untuk menentukan ukuran *lot size* pemesanan dengan memperhatikan faktor kadaluarsa dan retur untuk barang yang mendekati kadaluarsa, dalam hal ini permintaan diasumsikan bersifat deterministik konstan tetapi berbeda-beda untuk selang waktu tertentu akibat dari adanya diskon penjualan secara bertahap sebelum produk mengalami kadaluarsa. Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan model persediaan yang lebih lengkap dengan mengacu pada model-model yang terdahulu (Silitonga dan Moses (2021) serta Limansyah dan Lesmono (2011)), yaitu model deterministik *multi item* dengan mempertimbangkan faktor kadaluarsa, faktor *all unit discount*, dan faktor kapasitas gudang.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut. Pertama, penelitian dimulai dengan melakukan studi terhadap penelitian sebelumnya, perumusan masalah, penentuan tujuan dan manfaat penelitian. Kemudian, dilanjutkan dengan studi literatur untuk mempelajari model-model terdahulu sebagai dasar dalam mengembangkan model. Penelitian dilanjutkan dengan pengembangan model, di mana penelitian Silitonga dan Moses (2021) yang telah memperhatikan faktor *all unit discount* dan kendala kapasitas digunakan sebagai model acuan. Model ini kemudian dikembangkan lebih lanjut dengan menambahkan faktor kadaluarsa yang diambil dari penelitian Limansyah dan Lesmono (2011).

Model yang telah dikembangkan kemudian divalidasi dengan cara melakukan verifikasi dan uji coba. Verifikasi model merupakan proses pemeriksaan setiap persamaan yang terdapat pada model untuk memastikan satuan di sisi kiri persamaan sama dengan satuan di sisi kanan persamaan. Uji coba model dilakukan dengan mencoba memasukkan data numerik sekunder yang didapat dari penelitian terdahulu, untuk memastikan model yang dikembangkan mampu menghasilkan komponen biaya dan biaya persediaan total. Selain itu, uji sensitivitas juga dilakukan pada beberapa parameter yang mempengaruhi total biaya persediaan. Parameter tersebut adalah harga beli satuan, kapasitas gudang, biaya pesan, biaya simpan, dan fraksi barang bagus. Tahap terakhir dalam penelitian ini adalah kesimpulan. Kesimpulan merupakan jawaban dari tujuan penelitian ini berdasarkan hasil pengembangan dan uji coba model serta usulan penelitian lanjutan terkait kinerja model yang dikembangkan ini.

2.1 Asumsi Model

Model penelitian ini dikembangkan dengan menggunakan beberapa asumsi untuk menghindari terjadinya kesalahpahaman, yaitu sebagai berikut:

1. Semua barang dipesan dari satu *supplier* yang sama sehingga waktu ancap-ancang (L) akan sama untuk seluruh jenis barang.
2. Permintaan berlaku konstan dan diketahui dengan pasti, *lead time* juga diketahui dengan pasti.
3. Kebijakan *joint order* diberlakukan pada pemesanan barang (pemesanan dilakukan secara bersama-sama untuk semua barang).
4. Semua *item* akan dipesan pada waktu sama dan akan datang pada satu titik waktu yang sama untuk setiap siklus.
5. Tidak ada perubahan pada kapasitas gudang dan satuan kapasitas gudang sama dengan satuan *multi item*.
6. Barang dapat mengalami kadaluarsa sehingga dapat menimbulkan konsekuensi pada komponen biaya kekurangan dan biaya kadaluarsa.
 - a. Konsekuensi pada biaya kekurangan: bertambahnya biaya kekurangan karena adanya barang yang mengalami kadaluarsa sehingga ketersediaan barang menjadi berkurang dan tidak dapat memenuhi permintaan yang ada.
 - b. Konsekuensi pada biaya kadaluarsa: bertambahnya biaya kadaluarsa karena perusahaan mengalami kerugian akibat menjual barang dengan harga yang lebih murah dari harga beli.
7. Seluruh barang yang akan kadaluarsa dijual secara serentak pada akhir periode t_{1i} sehingga tidak ada barang yang tersisa selama periode t_{2i} .
8. Seluruh barang yang akan kadaluarsa tidak dijual kepada konsumen melainkan kepada pihak khusus sehingga harga jual barang kadaluarsa (J_i) akan selalu lebih rendah dari harga beli (C_{ij}) atau dapat ditulis $J_i < C_{ij}$.
9. Model persediaan yang dikembangkan ditujukan untuk jenis produk pada kategori C dalam analisis ABC dan kapasitas gudang yang diketahui merupakan kapasitas gudang untuk produk kategori C.

2.2 Notasi Model

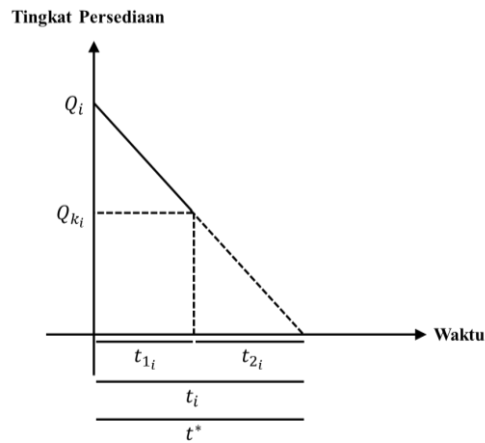
Notasi yang digunakan adalah sebagai berikut:

- D_i : Permintaan jenis *item* ke- i untuk suatu horizon perencanaan (unit/tahun)
- C_{ij} : Harga barang per unit untuk *item* ke- i pada interval harga diskon j (Rp/unit)
- H_i : Ongkos simpan *item* ke- i /unit/periode, karena pengaruh potongan harga maka $H_i = h_{ij}$. C_{ij} (Rp/unit/tahun)
- h_i : Persentase ongkos simpan *item* ke- i per periode terhadap harga *item* ke- i (%/tahun)
- S : Ongkos pesan untuk setiap kali pemesanan (Rp/pesan)
- Q_i^* : Ukuran *lot* pemesanan ekonomis untuk jenis *item* ke- i (unit)
- $Q_{min_{ij}}$: Batas bawah kuantitas *item* ke- i yang dapat

- dibeli dengan harga j (unit)
- $Q_{max_{ij}}$: Batas atas kuantitas *item* ke- i yang dapat dibeli dengan harga j (unit)
- t_{ij}^* : Periode antar pemesanan (tahun)
- t_i : Siklus kecil periode persediaan jenis *item* ke- i (tahun)
- t_{1i} : Periode penyimpanan jenis *item* ke- i sebelum kadaluarsa (tahun)
- t_{2i} : Periode terjadinya kekurangan jenis *item* ke- i (tahun)
- n : Jumlah jenis *item* (unit)
- r : Jumlah interval harga diskon j (unit)
- N : Frekuensi pesan (pesan/tahun)
- w_i : Kebutuhan luas tiap unit jenis *item* ke- i (volume)
- θ_i : Fraksi barang baik untuk jenis *item* ke- i ($0 < \theta_i < 1$)
- $1 - \theta_i$: Fraksi barang yang akan kadaluarsa untuk jenis *item* ke- i ($0 < \theta_i < 1$)
- C_{ki} : Biaya kekurangan barang per unit untuk jenis *item* ke- i (unit)
- J_i : Harga jual per unit barang yang akan kadaluarsa untuk jenis *item* ke- i (Rp/unit)
- D_{ki} : Jumlah permintaan yang tidak dapat terpenuhi untuk jenis *item* ke- i (unit)
- Q_{ki} : Jumlah barang yang akan kadaluarsa untuk jenis *item* ke- i (unit)
- Q_{wp}^* : Persentase ukuran *lot* pemesanan untuk seluruh *item* setelah mempertimbangkan kapasitas terhadap ukuran *lot* pemesanan ekonomis tiap jenis *item* ke- i (Q_i^*)
- Q_{wi}^* : Kebutuhan luas tiap unit jenis *item* ke- i (satuan volume)
- Q_{gi}^* : Kuantitas pemesanan ekonomis untuk jenis *item* ke- i (unit) setelah mempertimbangkan kapasitas
- W : Kapasitas gudang (volume)
- G : Periode antar pemesanan (tahun) setelah mempertimbangkan kapasitas
- C_{ij} : Harga per unit untuk jenis *item* ke- i pada interval harga diskon j (Rp/unit)
- S_n : Biaya per pesan (Rp/pesan)
- C_p : Total biaya pembelian selama satu periode perencanaan (Rp)
- C_o : Total biaya pemesanan selama satu periode perencanaan (Rp)
- C_h : Total biaya penyimpanan selama satu periode perencanaan (Rp)
- C_k : Total biaya kekurangan selama satu periode perencanaan (Rp)
- C_{kd} : Total biaya kadaluarsa selama satu periode perencanaan (Rp)
- TIC : Total biaya persediaan selama satu periode perencanaan (Rp)

2.3 Formulasi Model

Model persediaan dalam penelitian ini merupakan hasil dari pengembangan model persediaan deterministik *multi item* dengan mempertimbangkan faktor potongan harga pembelian menggunakan *all unit discount* dan keterbatasan kapasitas Gudang



Gambar 1. Ilustrasi Posisi Persediaan Dalam Satu Siklus (Limansyah dan Lesmono, 2011)

(Silitonga dan Moses, 2021) dengan menambahkan faktor kadaluarsa (Limansyah dan Lesmono, 2011).

Tingkat permintaan barang ke- i dalam satu horizon perencanaan adalah D_i . Tingkat persediaan maksimum untuk jenis item i adalah Q_i . t^* merupakan periode antara pemesanan yang didapatkan dari pembagian antara jumlah pemesanan optimal untuk jenis barang ke- i (Q_i) dengan jumlah permintaan barang ke- i dalam satu horizon perencanaan (D_i). Pemesanan barang akan dilakukan dengan menerapkan kebijakan *joint order* karena diasumsikan bahwa semua barang dipesan dari pemasok yang sama dan pada waktu yang sama. Jadi, lamanya waktu antar pesanan ($t^* = \frac{D_1}{Q_1} = \frac{D_2}{Q_2} = \frac{D_3}{Q_3} = \frac{D_i}{Q_i}$) untuk semua *item* adalah sama. Oleh karena itu:

$$Q_i = t^* D_i \quad (1)$$

Kondisi kekurangan persediaan dalam model persediaan ini disebabkan oleh barang yang disimpan memiliki masa kadaluarsa. Ilustrasi tingkat persediaan untuk satu siklus penggantian dalam penelitian ini adalah seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1**. t_{1i} merupakan periode penyimpanan jenis *item* ke- i sebelum mengalami kadaluarsa. Pada akhir t_{1i} , barang yang tersisa akan dijual dengan harga yang lebih murah dan terjual habis untuk mengurangi kerugian akibat barang kadaluarsa. Kondisi kekurangan persediaan untuk setiap *item* terjadi selama periode t_{2i} , di mana jumlah kekurangan barang adalah sebanyak Q_{ki} .

Dengan menggunakan pendekatan keseimbangan, persamaan t dapat ditulis sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \frac{Q_i}{t^*} &= \frac{Q_i - Q_{ki}}{t_{1i}} \\ t_{1i} &= \frac{t^*(Q_i - Q_{ki})}{Q_i} \end{aligned} \quad (2)$$

Fraksi barang baik (θ_i) digunakan untuk merepresentasikan jumlah barang yang tidak mengalami kadaluarsa dibandingkan dengan jumlah barang total yang dapat ditulis sebagai berikut:

$$\theta_i = \frac{Q_i - Q_{ki}}{Q_i} \quad (3)$$

Dari persamaan (2), dapat diperoleh banyaknya barang kadaluarsa untuk jenis barang ke- i adalah sebagai berikut:

$$Q_{ki} = Q_i(1 - \theta_i) \quad (4)$$

Selanjutnya, persamaan (4) disubstitusikan ke persamaan (3), sehingga diperoleh persamaan untuk t_{1i} adalah sebagai berikut:

$$t_{1i} = t^* \theta_i \quad (5)$$

Panjang waktu antar siklus (t^*) dapat diperoleh dengan menjumlahkan t_{1i} dan t_{2i} yang dapat ditulis sebagai berikut:

$$t = t_{1i} + t_{2i}$$

Jadi, persamaan t_{2i} dapat ditulis sebagai berikut:

$$t_{2i} = t^*(1 - \theta_i) \quad (6)$$

Terdapat 5 komponen dari total biaya persediaan dalam penelitian ini yaitu biaya pembelian (C_p), biaya pesan (C_o), biaya simpan (C_h), biaya kekurangan (C_k), dan biaya kadaluarsa (C_{kd}), yang dapat ditulis sebagai berikut:

$$TIC = (C_p + C_o + C_h + C_k + C_{kd}) \quad (7)$$

Dalam penelitian ini, biaya pembelian barang diperoleh dengan mempertimbangkan adanya faktor *all unit discount* pada biaya harga per satuan unit tiap jenis barang. Potongan harga barang akan bergantung pada besarnya kuantitas barang yang akan dipesan, sehingga pada model ini akan mempertimbangkan kuantitas pemesanan optimal untuk menentukan harga per satuan unit yang akan terpilih untuk tiap jenis barang. Persamaan biaya pembelian pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

$$C_p = \sum_{i=1}^n C_{ij} D_i, j \in (1,2,3,4 \dots r) \quad (8)$$

Kebijakan pemesanan dalam penelitian ini menggunakan kebijakan *joint order*. Persamaan biaya pemesanan merupakan perkalian antara biaya per sekali pemesanan dengan banyaknya pemesanan dalam satu horizon perencanaan sehingga persamaan biaya pemesanan dapat ditulis sebagai berikut:

$$C_o = \sum N \times S_n \quad (9)$$

Jika periode pesan (t) = $\frac{1}{N}$ untuk semua jenis barang sama, maka $t_1 = t_2 = t_3 = t_n$, sehingga biaya pemesanan menjadi sebagai berikut:

$$C_o = \frac{S}{t^*} \quad (10)$$

Biaya penyimpanan dalam model penelitian ini didapatkan dengan mengalikan rata-rata barang yang disimpan dalam setiap periode penyimpanan, biaya penyimpanan untuk jenis barang ke- i per periode, lama waktu penyimpanan tiap periode penyimpanan sebelum barang kadaluarsa (t_{1i}), dan banyaknya siklus penyimpanan dalam satu horizon penyimpanan. Jadi, biaya penyimpanan dapat ditulis sebagai berikut:

$$C_h = \sum_{i=1}^n \left(\frac{Q_i + Q_{k_i}}{2} \times C_{ij} \cdot h_i \times t_{1i} \times N \right) \quad (11)$$

Substitusikan persamaan (1), (4), dan (5) ke dalam persamaan (11), sehingga diperoleh persamaan untuk C_h adalah sebagai berikut:

$$C_h = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left((t^* \cdot D_i) \cdot (2 - \theta_i) \cdot C_{ij} \cdot h_i \cdot \theta_i \right), j \in (1, 2, 3, \dots, r) \quad (12)$$

Biaya kekurangan merupakan biaya yang harus dikeluarkan karena terjadinya kekurangan barang akibat dari adanya barang yang mengalami kadaluarsa. Persamaan biaya kekurangan pada penelitian ini merupakan perkalian antara biaya kekurangan barang per unit jenis barang ke- i (C_{k_i}), rata-rata kekurangan barang untuk setiap periode, lama waktu kekurangan untuk setiap periode (t_{2i}), dan banyak siklus kekurangan untuk satu horizon perencanaan atau dapat ditulis sebagai berikut:

$$C_k = \sum_{i=1}^n \left(C_{k_i} \cdot \frac{Q_{k_i}}{2} \cdot t_{2i} \cdot N \right) \quad (13)$$

Substitusikan persamaan (4), dan (6) ke dalam persamaan (11), sehingga diperoleh persamaan untuk C_k adalah sebagai berikut:

$$C_k = \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_{k_i} \cdot t^* \cdot D_i \cdot (1 - \theta_i)^2}{2} \right) \quad (14)$$

Biaya kadaluarsa merupakan biaya yang harus dikeluarkan karena barang mengalami kadaluarsa setelah melewati batas waktu pakai (t_{1i}). Untuk mengurangi kerugian akibat barang kadaluarsa, maka

salah satu cara yang dapat dilakukan perusahaan adalah menjual barang dengan harga lebih murah saat barang sudah mendekati waktu kadaluarsanya. Oleh karena itu, biaya kadaluarsa dapat diperoleh dengan mengalikan antara jumlah barang yang akan mengalami kadaluarsa dalam satu horizon perencanaan dengan selisih antara harga beli dan harga jual. Persamaan untuk biaya kadaluarsa adalah sebagai berikut:

$$C_{kd} = \sum_{i=1}^n \left(D_i \cdot (1 - \theta_i) \cdot (C_{ij} - J_i) \right), j \in (1, 2, 3, \dots, r) \quad (15)$$

Biaya total persediaan (TIC) didapatkan dengan mensubstitusikan kelima biaya yang sudah dijabarkan sebelumnya, yaitu persamaan (8), (10), (12), (14), dan (15) ke dalam persamaan (7) sebagai berikut:

$$TIC = \sum_{i=1}^n C_{ij} \cdot D_i + \frac{S}{t^*} + \sum_{i=1}^n \left(\frac{(t^* \cdot D_i) \cdot (2 - \theta_i)}{2} \cdot c_{ij} \cdot h_i \cdot \theta_i \right) + \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_{k_i} \cdot t^* \cdot D_i \cdot (1 - \theta_i)^2}{2} \right) + \sum_{i=1}^n \left(D_i \cdot (1 - \theta_i) \cdot (C_{ij} - J_i) \right), j \in (1, 2, 3, \dots, r) \quad (16)$$

Setelah mendapatkan persamaan biaya persediaan total, maka langkah selanjutnya adalah menurunkan persamaan biaya persediaan total (TIC) terhadap waktu antar pemesanan (t^*) atau dapat ditulis sebagai $\frac{\partial TIC}{\partial t^*} = 0$ untuk mendapatkan waktu antar pemesanan optimal. Jadi, persamaan untuk mencari nilai t^* adalah sebagai berikut:

$$t_{ij}^* = \sqrt{\frac{2S}{\sum_{i=1}^n D_i \cdot (2 - \theta_i) \cdot h_i \cdot C_{ij} \cdot \theta_i + C_{k_i} \cdot D_i \cdot (1 - \theta_i)^2}}, j \in (1, 2, 3, \dots, r) \quad (17)$$

Algoritma yang digunakan untuk menentukan kebijakan persediaan (waktu antar pemesanan dan total biaya persediaan) adalah sebagai berikut:

1. Hitung jarak pesan optimal (t^*) untuk masing – masing item- i pada interval diskon harga j (t_{ij}^*) untuk setiap harga satuan j .
2. Selanjutnya hitung kuantitas pesanan optimal untuk item- i (Q_i) untuk permintaan item- i (D_i).
3. Tentukan apakah Q_i yang telah dihitung berada pada interval diskon harga j atau di luar interval diskon harga j . Q_i dikatakan valid apabila Q_i berada di dalam interval diskon harga j . Jika Q_i tidak valid, maka:
 - Apabila nilai $Q_i > Q_{max_{ij}}$, maka $Q_i = Q_{max_{ij}}$
 - Apabila nilai $Q_i < Q_{min_{ij}}$, maka $Q_i = Q_{min_{ij}}$

Tabel 1. Data Komponen Biaya Produk

	Produk 1		Produk 2		Produk 3	
D_i (unit/tahun)	55.500		40.000		80.000	
h_i (%/unit/tahun)	0,001		0,015		0,01	
C_{ij} (Rp/unit)	13.000	$Q < 9.000$	16.000	$Q < 6.500$	9.000	$Q < 13.000$
	12.000	$Q \geq 9.000$	15.000	$Q \geq 6.500$	8.000	$Q \geq 13.000$
	11.000	$Q \geq 15.000$	13.000	$Q \geq 12.000$	7.000	$Q \geq 21.000$
J_{1i} (Rp/unit)	9.500		12.000		5.750	
J_{2i} (Rp/unit)	8.000		10.500		4.250	
C_{k_i} (Rp/unit)	50		100		150	
θ_i	0,75		0,84		0,81	
w_i (m ³)	2,5		2		3	
S (Rp/pesanan)			235.000			

Tabel 2. Data Kapasitas Gudang

	Skenario 1	Skenario 2
W (m ³)	50.000	125.000

Lalu hitung kembali jarak pesan optimal (t^*) dengan menggunakan persamaan berikut:

$$t^* = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{\sum_{i=1}^n D_i} \quad (18)$$

4. Kemudian hitung biaya total persediaan (TIC) dari tiap interval harga j menggunakan kuantitas pesanan optimal untuk $item$ ke- i (Q_i) dan waktu antar pemesanan optimal (t^*) yang sudah dihitung.
5. Pilih Q_i yang memiliki biaya total persediaan (TIC) minimum.
6. Carilah kebutuhan luas tiap $item$ dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Qw_i = Q_i \times w_i \quad (19)$$

Jika $\sum_{i=1}^n Qw_i > W$, maka lanjutkan perhitungan ke langkah 7.

Jika $\sum_{i=1}^n Qw_i < W$, maka lanjutkan perhitungan ke langkah 10.

7. Cari persentase kuantitas seluruh $item$ setelah mempertimbangkan kapasitas (Qwp^*) dengan persamaan berikut:

$$Qwp^* = \frac{W}{\sum_{i=1}^n Qw_i} \quad (20)$$

8. Lakukan perkalian masing-masing Q_i^* yang telah dihitung Qwp^* untuk mendapatkan kuantitas pemesanan tiap $item$ ke- i setelah mempertimbangkan kapasitas (Qg_i^*) dengan persamaan berikut:

$$Qg_i^* = Q_i \times Qwp^* \quad (21)$$

Setelah menghitung Qg_i^* langkah berikutnya menyesuaikan nilai Qg_i^* dengan interval diskon.

9. Kemudian cari kembali periode antar pemesanan setelah mempertimbangkan kapasitas dengan persamaan berikut:

$$G = t_{ij}^* \cdot Qwp^* \quad (22)$$

10. Setelah menemukan nilai kuantitas optimal dari $item$ ke- i (Qg_i^*), maka langkah selanjutnya adalah menentukan kuantitas optimal dari barang yang akan kadaluarsa (Q_{k_i}).
11. Kemudian hitung biaya total persediaan (TIC) untuk kuantitas pesanan optimal untuk $item$ ke- i yang berada di dalam interval diskon harga j (Qg_i^*) menggunakan nilai waktu antar pemesanan setelah mempertimbangkan kapasitas (G).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Data dan Perhitungan

Data numerik yang digunakan untuk pengujian model diambil dari penelitian Silitonga dan Moses (2021) serta dari penelitian Limansyah dan Lesmono (2011). Uji coba data numerik ke dalam model yang dikembangkan akan dilakukan dengan 2 skenario. Skenario pertama adalah saat di mana kapasitas gudang tidak mencukupi untuk menyimpan barang yang dibeli. Skenario kedua adalah saat kapasitas gudang mencukupi untuk menyimpan barang yang dibeli. Jadi, data numerik antara skenario 1 dan 2 hanya berbeda pada nilai kapasitas gudang Data tersebut dapat dilihat pada **Tabel 1** dan **Tabel 2**.

Berdasarkan data dari **Tabel 1** dan **Tabel 2** diperoleh t^* skenario 1 $<$ t^* skenario 2. Hal ini dikarenakan skenario 1 terhalang oleh kendala kapasitas gudang, sehingga barang yang dipesan menjadi terbatas. Sedangkan, pada skenario 2 tidak terjadi kendala kapasitas sehingga t optimum dapat tercapai. Oleh karena itu, solusi waktu antar pesanan untuk skenario 1 adalah 0,110 tahun atau sama dengan 40,09 hari (365 hari dalam setahun) dan untuk skenario 2 adalah 0,274 tahun atau sama dengan 99,83 hari.

Total biaya persediaan untuk skenario 2 lebih kecil dibanding skenario 1. Total biaya persediaan skenario 1 lebih besar Rp 211.319.966 atau sama dengan 10,58% dibandingkan dengan total biaya persediaan skenario 2. Hal ini dikarenakan, pada skenario 2 tidak terjadi kendala keterbatasan kapasitas gudang, sehingga model persediaan dapat memaksimalkan potongan harga yang diberikan oleh

Tabel 3. Hasil Pengolahan Data

No.	Hasil	Skenario 1	Skenario 2
1	Jumlah Pemesanan Optimum Produk 1	6.049,05 unit	9.432,39 unit
2	Jumlah Pemesanan Optimum Produk 2	4.359,67 unit	6.798,12 unit
3	Jumlah Pemesanan Optimum Produk 3	8.719,35 unit	13.596,24 unit
4	Waktu Pemesanan Optimal	0,109 tahun	0,170 tahun
5	Biaya Pembelian (C_p)	Rp 2.081.500.000	Rp 1.906.000.000
6	Biaya Pemesanan (C_o)	Rp 2.156.125	Rp 1.382.735
7	Biaya Penyimpanan (C_h)	Rp 924.835	Rp 1.442.113
8	Biaya Kekurangan (C_k)	Rp 38.640	Rp 60.252
9	Biaya Kadaluausa (C_{kd})	Rp 150.168.750	Rp 114.693.750
10	Biaya Total Persediaan (TIC)	Rp 2.234.788.350	Rp 2.023.459.220

Tabel 4. Hasil Analisis Sensitivitas Total Biaya Persediaan terhadap Perubahan Parameter

Elemen Analisis	Perubahan Total Biaya (%)									
	-50	40	-30	-20	-10	10	20	30	40	50
Kapasitas Gudang	0,075	0,047	0,028	0,015	0,006	0,004	0,007	0,009	0,010	5,256
Harga Beli Satuan	56,653	45,323	33,992	22,661	11,331	11,331	22,661	33,992	45,323	56,653
Biaya Simpan	0,021	0,017	0,013	0,008	0,004	0,004	0,008	0,013	0,017	0,021
Biaya Pesan	0,048	0,039	0,029	0,019	0,010	0,010	0,019	0,029	0,039	0,048
Fraksi Barang Baik	11,112	8,889	6,667	4,445	2,222	2,222	4,387	5,376	5,596	5,596

Tabel 5. Hasil Analisis Sensitivitas Waktu Pemesanan terhadap Perubahan Parameter

Elemen Analisis	Perubahan Waktu Pemesanan (%)									
	-50	40	-30	-20	-10	10	20	30	40	50
Kapasitas Gudang	50,00	40,00	30,00	20,00	10,00	10,00	20,00	30,00	40,00	50,00
Harga Beli Satuan	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Biaya Simpan	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Biaya Pesan	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fraksi Barang Baik	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

pemasok karena ukuran *lot* pemesanan optimal yang diperoleh sesuai batasan minimum yang telah ditentukan pemasok. Sedangkan, pada skenario 1 dikarenakan terjadi kendala keterbatasan kapasitas sehingga menyebabkan kuantitas *lot* pemesanan tidak dapat mencukupi minimum pembelian yang diberikan pemasok untuk mendapatkan potongan harga. Potongan harga beli yang diperoleh pada skenario 2 juga menyebabkan besarnya biaya kadaluarsa pada skenario 2 menjadi lebih kecil dari skenario 1. Selain itu, karena adanya kendala kapasitas, waktu antar pemesanan pada skenario 1 lebih kecil dibandingkan dengan skenario 2 sehingga frekuensi pemesanan semakin sering dan menyebabkan biaya pemesanan menjadi lebih besar. Hasil pengolahan data ini dapat dilihat pada **Tabel 3**.

3.2 Analisis

3.2.1 Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas dilakukan untuk melihat pengaruh dari faktor-faktor yang mempengaruhi total biaya persediaan dan waktu antar pemesanan. Parameter yang akan dilakukan perubahan adalah harga beli satuan, kapasitas gudang, biaya pesan, biaya simpan, dan fraksi barang baik. Perubahan parameter dilakukan dengan melakukan pengurangan dan penambahan pada parameter sebesar 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50%. Pengaruh perubahan nilai parameter dapat dilihat pada **Tabel 4** dan **Tabel 5**.

Dari hasil perhitungan pada **Tabel 4**, dapat dilihat bahwa perubahan elemen harga beli satuan sangat mempengaruhi nilai dari total biaya persediaan. Perubahan pada harga satuan berbanding lurus dengan nilai total biaya persediaan. Selain itu, perubahan pada fraksi barang baik juga memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap total biaya persediaan. Hal ini dikarenakan, perubahan pada fraksi barang baik akan mempengaruhi jumlah barang yang mengalami kadaluarsa.

Perubahan pada kapasitas gudang akan berpengaruh cukup besar terhadap total biaya persediaan apabila besarnya jumlah barang yang dipesan dalam satu kali pemesanan dapat mencapai batas yang ditentukan untuk mendapatkan potongan harga dari pemasok. Namun, apabila perubahan kapasitas gudang tidak menyebabkan harga beli satuan barang mendapatkan potongan harga, maka perubahan total biaya persediaan akibat perubahan kapasitas gudang termasuk kecil, yaitu di bawah 1%. Selain itu, perubahan pada biaya simpan dan biaya pesan berbanding lurus dengan nilai total biaya persediaan. Akan tetapi, perubahan pada total biaya persediaan akibat perubahan biaya pesan dan simpan termasuk cukup kecil, yaitu di bawah 1%.

Tabel 4 menunjukkan persentase perubahan pada harga beli satuan lebih besar dari perubahan total biaya persediaan. Oleh karena itu, hal tersebut menunjukkan bahwa model tidak sensitif terhadap perubahan yang terjadi pada kapasitas gudang, biaya

Tabel 6. Perbandingan Struktur Komponen Biaya Persediaan

Komponen Model	Model Persediaan Silitonga dan Moses (2021)	Model Persediaan yang Dikembangkan dalam Penelitian Ini
Biaya Pembelian	$\sum_{i=1}^n C_{ij} D_i, j \in (1,2,3,4 \dots r)$	$\sum_{i=1}^n C_{ij} D_i, j \in (1,2,3,4 \dots r)$
Biaya Pemesanan	$\frac{s}{t^*}$	$\frac{s}{t^*}$
Biaya Penyimpanan	$\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n t^* \cdot D_i \cdot h_i \cdot C_{ij}, j \in (1,2,3, \dots, r)$	$\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n ((t^* \cdot D_i) \cdot (2 - \theta_i) \cdot C_{ij} \cdot h_i \cdot \theta_i), j \in (1,2,3, \dots, r)$
Biaya Kekurangan	-	$C_k = \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_{ki} \cdot t^* \cdot D_i \cdot (1-\theta_i)^2}{2} \right)$
Biaya Kadaluarsa	-	$\sum_{i=1}^n (D_i \cdot (1 - \theta_i) \cdot (C_{ij} - J_i)), j \in (1,2,3, \dots, r)$
t Optimal	$\sqrt{\frac{2s}{\sum_{i=1}^n D_i \cdot h_i \cdot C_{ij}}}, j \in (1,2,3, \dots, r)$	$\sqrt{\frac{2s}{\sum_{i=1}^n D_i \cdot (2-\theta_i) \cdot h_i \cdot C_{ij} + C_{ki} \cdot D_i \cdot (1-\theta_i)^2}}, j \in (1,2,3, \dots, r)$
Q Optimal	$t^* \times D_i$	$t^* \times D_i$
Q Kapasitas	$QW_i^* = QWP_i^* \times W$ $Qg_i^* = \frac{QW_i^*}{w}$	$QW_i^* = QWP_i^* \times W$ $Qg_i^* = \frac{QW_i^*}{w}$
Q Kadaluarsa	-	$Q_{ki} = Q_i(1 - \theta_i)$
t Kapasitas	$\frac{\sum_{i=1}^n Qg_i^*}{\sum_{i=1}^n D_i}$	$\frac{\sum_{i=1}^n Qg_i^*}{\sum_{i=1}^n D_i}$
Total Biaya Persediaan	$\sum_{i=1}^n C_{ij} \cdot D_i + \frac{s}{t^*} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n t^* \cdot D_i \cdot h_i \cdot C_{ij}, j \in (1,2,3, \dots, r)$	$\sum_{i=1}^n C_{ij} \cdot D_i + \frac{s}{t^*} + \sum_{i=1}^n \left(\frac{(t^* \cdot D_i) \cdot (2-\theta_i)}{2} \cdot c_{ij} \cdot h_i \cdot \theta_i \right) + \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_{ki} \cdot t^* \cdot D_i \cdot (1-\theta_i)^2}{2} \right) + \sum_{i=1}^n (D_i \cdot (1 - \theta_i) \cdot (C_{ij} - J_i)), j \in (1,2,3, \dots, r)$

pesan, biaya simpan, dan fraksi barang baik, namun sensitif terhadap perubahan harga beli satuan barang.

Hasil perhitungan pada **Tabel 6** menunjukkan bahwa perubahan dari nilai waktu pemesanan sangat dipengaruhi oleh kapasitas gudang. Hal ini dikarenakan, apabila terjadi kendala kapasitas, maka jumlah dari barang yang dipesan per pemesanan akan sangat tergantung dari besarnya kapasitas yang dimiliki. Semakin besar kapasitas gudang, maka semakin banyak barang yang dapat dipesan dan semakin besar pula waktu antar pemesanan. Perubahan pada kapasitas gudang berbanding lurus dengan perubahan waktu pemesanan.

Untuk elemen harga beli satuan, biaya simpan, biaya pesan, dan fraksi barang baik, perubahan nilai pada keempat elemen tersebut tidak menyebabkan adanya perubahan nilai waktu pemesanan. Jadi, dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa model tidak sensitif terhadap perubahan elemen harga beli satuan, biaya simpan, biaya pesan, dan fraksi barang baik, namun sensitif terhadap perubahan kapasitas gudang.

3.2.2 Analisis Perbandingan Model Persediaan

Secara umum total biaya yang didapat dari penelitian ini dibandingkan dengan penelitian terdahulu adalah lebih besar karena jumlah keterbatasan yang diperhatikan lebih banyak. Untuk melihat perbedaan yang terjadi, model matematika

yang terbentuk perlu dibandingkan. Perbandingan struktur model matematika antara model Silitonga dan Moses (2021) dengan model yang dikembangkan dapat dilihat pada **Tabel 6**. Dari hasil perbandingan struktur komponen model tersebut, dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara model persediaan Silitonga dan Moses (2021) dengan model persediaan pada penelitian ini. Adanya perbedaan faktor yang dipertimbangkan, yaitu faktor kadaluarsa, menyebabkan adanya perbedaan pada struktur komponen model persediaan pada penelitian ini. Terdapat perbedaan pada biaya penyimpanan dalam model persediaan yang dikembangkan pada penelitian ini dikarenakan rata-rata barang yang disimpan pada model penelitian ini akan memperhitungkan juga jumlah barang yang akan kadaluarsa. Selain itu, jika dilihat dari seluruh persamaan terdapat 3 persamaan matematis yang tidak dimiliki model persediaan Silitonga dan Moses (2021), yaitu adanya jumlah barang yang akan mengalami kadaluarsa, biaya kadaluarsa, dan biaya kekurangan. Oleh karena adanya perbedaan struktur komponen antara model Silitonga dan Moses (2021) dan model yang dikembangkan dalam penelitian ini menyebabkan adanya perbedaan pada struktur komponen total biaya persediaan dan waktu pemesanan optimal.

3.2.3 Analisis Tingkat Pelayanan

Model persediaan yang dikembangkan dalam penelitian ini mempertimbangkan adanya faktor kadaluarsa. Barang yang mengalami kadaluarsa akan menyebabkan terdapat permintaan dari konsumen yang tidak dapat terpenuhi sehingga akan berpengaruh terhadap tingkat pelayanan yang dimiliki perusahaan. Semakin besar jumlah permintaan yang tidak terpenuhi, maka akan semakin rendah tingkat pelayanan yang dimiliki perusahaan.

Tingkat pelayanan dapat diukur dari tingkat ketersediaan sistem persediaan yang dimiliki perusahaan, dimana diukur berdasarkan persentase jumlah permintaan yang dapat dipenuhi dibandingkan dengan total permintaan yang ada. Pada model ini, berdasarkan data pada **Tabel 1**, oleh karena adanya barang yang mengalami kadaluarsa menyebabkan adanya permintaan yang tidak dapat terpenuhi (D_{k_i}) sebesar:

$$D_{k_i} = \sum_{i=1}^n (D_i \cdot (1 - \theta_i))$$
$$D_{k_i} = 35.475 \text{ unit}$$

Tingkat pelayanan diukur dari persentase jumlah barang yang terpenuhi, dari model persediaan yang dikembangkan adalah sebagai berikut:

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^n D_i - D_{k_i}}{\sum_{i=1}^n D_i} \times 100\%$$
$$\eta = 79,79\%$$

Dari perhitungan tersebut diketahui bahwa tingkat pelayanan persediaan berdasarkan data pada **Tabel 4** adalah sebesar 79,79%. Model persediaan yang dikembangkan dalam penelitian ini mempertimbangkan faktor kadaluarsa yang memungkinkan terjadinya *inventory shortage*, sehingga dalam hal ini tingkat pelayanan pada model EOQ ini tidak 100%.

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengembangkan model deterministik dengan mempertimbangkan faktor kadaluarsa produk, potongan harga *all unit discount*, dan kendala kapasitas. Model yang dikembangkan tidak selalu mencapai hasil atau titik optimum global seperti metode analitis, namun model ini mempunyai kelebihan seperti proses pengerjaan yang lebih mudah dipahami oleh pekerja lapangan dan waktu pencarian solusi yang lebih cepat. Verifikasi dan uji coba model telah dilakukan model menggunakan data dari penelitian sebelumnya, yang menghasilkan waktu pemesanan, jumlah pemesanan optimum, seluruh komponen biaya, dan biaya persediaan total untuk 2 skenario kapasitas. Dari hasil analisis sensitivitas, total biaya persediaan sensitif terhadap perubahan pada harga beli barang. Sedangkan, waktu pemesanan optimal sensitif terhadap besarnya kapasitas penyimpanan.

Penelitian lanjutan yang dapat dilakukan, yaitu melakukan penelitian dengan mempertimbangkan faktor *multi supplier*, *multi echelon*, dan keterbatasan

lainnya pada sistem persediaan untuk melengkapi kondisi aktual dari *minimarket*.

5. Daftar Pustaka

- Alhori, Machfud, & Hasbullah, R. (2020). Analisis Tingkat Utilisasi Gudang (Studi Kasus di Gudang Perum Bulog). *Jurnal REKOMEN (Riset Ekonomi Manajemen)*, 3(2), 78-88.
- Bahagia, S. N. (2006). *Sistem Inventori* (p. 257). Bandung: Institut Teknologi Bandung Press.
- Djunaidi, M., Nandiroh, S., & Marzuki, I. O. (2005). Pengaruh Perencanaan Pembelian Bahan Baku dengan Model EOQ untuk Multi Item dengan All Unit Discount. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 4(2), 86-94.
- Juventia, J., & Hartanti, L. P. S. (2016). Analisis Persediaan Bahan Baku PT. BS dengan Metode Economic Order Quantity (EOQ). *Jurnal GEMA AKTUALITA*, 5(1), 55-64.
- Limansyah, T., & Lesmono, D. (2011). Model Persediaan Multi Item dengan Mempertimbangkan Faktor Kadaluarsa dan Faktor All Unit Discount. *Jurnal Teknik Industri*, 13(2), 87-94.
- Koswara, H., dan Lesmono, D. (2018), Penentuan Waktu Antar Pemesanan Optimal untuk Model Persediaan Probabilistik Multi Item dengan All-Units Discount dan Kendala Kapasitas Gudang. *Performa: Media Ilmiah Teknik Industri*, 17(1), 1-6.
- Kusrini, E. (2005), Sistem Persediaan Multi Item dengan Kendala Investasi dan Luas Gudang, *Jurnal Teknologi Industri*, 10(2), 95-103.
- Marbun, E. J. (2021). Model Persediaan Deterministik Multi Item dengan Mempertimbangkan All Unit Discount dan Faktor Kadaluarsa. *Skripsi*. Institut Teknologi Harapan Bangsa.
- Nafisah, L., Sally, W., & Puryani. (2016). Model Persediaan pada Produk yang Mendekati Masa Kadaluarsa: Mempertimbangkan Diskon Penjualan dan Retur. *Jurnal Teknik Industri*, 18(1), 63-72.
- Prasetyo, H., Herni, F. M., & Dewi, C. (2012). Model Sistem Persediaan Probabilistik Multi Item pada Pendistribusian Multi Eselon dengan Potongan Harga (pp. 125-132). In *Prosiding Seminar Nasional Teknoin*. Yogyakarta, Indonesia: Department of Industrial Engineering, Universitas Islam Indonesia.
- Prasetyo, H., Nugroho, M. T., & Pujiarti, A. (2006). Pengembangan Model Persediaan Bahan Baku dengan Mempertimbangkan Waktu Kadaluarsa dan Faktor Unit Diskon. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 115-122.
- Priniotakis, G., & Argyropoulos, P. (2018). Inventory Management Concepts and Techniques. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (459(1)), Lesvos, Greece: Aegean International Textile and Advanced Engineering Conference.

- Silitonga, R. Y. H., & Moses, J. (2021). Pengembangan Model Economic Order Quantity Multi Item dengan Mempertimbangkan All Unit Discount dan Kendala Kapasitas. *Journal of Integrated System*, 4(1), 92–100.
- Wirawan, C., & Silitonga, R. Y. H. (2021). Pengembangan Model Persediaan Economic Order Quantity dengan Mempertimbangkan Faktor Kadaluarsa, Kelonggaran Waktu Pembayaran, dan Potongan Harga. *Seminar Nasional Teknik dan Manajemen Industri*, 1(1), 82–89.
- Ziukov, S. (2015). A literature review on models of inventory management under uncertainty. *Business Systems & Economics*, 5(1), 26-35.