JURNAL ILMIAH TEKNIK INDUSTRI
ISSN: 1412-6869 e-ISSN: 2460-4038
Journal homepage: http://journals.ums.ac.id/index.php/jiti/index
doi:10.23917/jiti.v18i2.8749

Model Persediaan dengan Permintaan Bergantung pada Harga Jual dan Tingkat Persediaan dengan Faktor Deteriorasi

Widyoretno Adiani[1a], Dharma Lesmono[1b*], Taufik Limansyah[1c]

***Abstract**. Inventory management and control are needed, especially for retailers, to make their business run smoothly. Inventory management is related to the purchase, storage, and sale of goods. Therefore, the determination of the right amount of inventory in hands is crucial in this situation. Low inventory levels will cause a higher probability of shortage, but on the other hand, having a lot of inventory in hands will incur higher holding costs, extra storage space, and deterioration of goods in hands. In this paper, we propose an inventory model with the inventory and price-dependent demand. We also consider a deterioration factor in our model. There are two models developed in this paper, namely the linear deterioration rate model with constant holding cost and the model of the deterioration rate with Weibull distribution with linear time-dependent holding cost. The purpose of the model is to find the optimal price and ending inventory level that maximizes the average profit. Sensitivity analysis is also performed to find the effect of parameter changes in our model to the optimum solution. We found that model with Weibull deterioration rate and linear holding costs will give a higher average profit.*

***Keywords.** inventory-dependent demand, price-dependent demand, deterioration, linear time-dependent holding cost, Weibull distribution*

***Abstrak.** Pengelolaan dan pengendalian persediaan sangat diperlukan terutama untuk pengecer agar bisnis mereka berjalan dengan lancer. Pengelolaan persediaan berkaitan dengan pembelian, penyimpanan dan penjualan barang. Sehingga, penentuan jumlah barang secara tepat merupakan hal yang penting dalam kondisi ini. Persediaan yang terlalu sedikit akan meningkatkan peluang terjadinya kekurangan barang tetapi di sisi lain persediaan yang terlalu banyak akan menyebabkan biaya penyimpanan membesar, ruang penyimpanan ekstra dan kemungkinan terjadinya deteriorasi barang. Dalam paper ini kami mengembangkan suatu model persediaan dengan permintaan bergantung pada persediaan dan harga jual serta mempertimbangkan faktor deteriorasi. Ada dua model yang dikembangkan, yaitu model dengan laju deteriorasi linier dan biaya penyimpanan konstan dan model dengan laju deteriorasi berdistribusi Weibull dan biaya penyimpanan linier bergantung pada waktu. Tujuan dari model yang dikembangkan adalah menentukan harga dan tingkat persediaan akhir yang optimal yang memaksimumkan keuntungan rata-rata. Analisis sensitivitas dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan parameter di dalam model terhadap solusi optimal. Diperoleh bahwa model dengan laju deteriorasi berdistribusi Weibull dan biaya penyimpanan linier, memberikan keuntungan rata-rata yang lebih tinggi.*

***Kata Kunci:** permintaan bergantung persediaan, permintaan bergantung harga, deteriorasi, Biaya penyimpanan linier bergantung waktu, Distribusi Weibull.*

I. PENDAHULUAN

Pengelolaan barang yang baik dibutuhkan agar kegiatan perdagangan suatu usaha dapat berjalan lancar. Pengelolaan barang berkaitan dengan pembelian, penyimpanan, serta penjualan barang. Pengadaan persediaan barang yang terlalu sedikit dapat berakibat pada kemungkinan terjadinya kekurangan persediaan dan penurunan permintaan barang dari konsumen, akibat barang yang ditawarkan terlalu sedikit. Akibatnya, semakin besar pula terjadinya kehilangan kesempatan untuk mendapatkan keuntungan. Namun, apabila produk yang disediakan terlalu banyak, maka modal yang tertanam pada persediaan akan semakin banyak dan biaya penyimpanan yang harus dikeluarkan juga semakin banyak ditambah dengan kemungkinan barang mengalami penurunan kualitas seiring dengan berjalannya waktu. Oleh karena itu, persediaan barang harus ditentukan dalam jumlah yang tepat.

Pengadaan persediaan barang tentu harus

[1] Jurusan Matematika, Fakultas Teknologi Informasi dan Sains, Gedung 9 Jalan Ciumbuleuit 94, Bandung 40141.

[a] email: adianiirawadi@gmail.com
[b] email: jdharma@unpar.ac.id
[c] email: taufik.limansyah@unpar.ac.id

Diajukan: 30-08-2019 Diperbaiki: 28-11-2019
Disetujui: 03-12-2019

mempertimbangkan beberapa faktor. Beberapa pertimbangan tersebut antara lain keterbatasan tempat penyimpanan, biaya penyimpanan, biaya pembelian, dan faktor penurunan kualitas barang (deteriorasi). Pada saat suatu barang disimpan dalam jangka waktu tertentu, biasanya barang tersebut mengalami penurunan kualitas, kerusakan, sehingga hal tersebut dapat mengakibatkan penurunan nilai jual barang yang dapat mengakibatkan kerugian. Salah satu contoh penurunan kualitas barang yang sering terjadi adalah pembusukan pada sayur-mayur, buah-buahan, atau makanan dan obat-obatan yang telah mencapai tanggal kadaluarsa. Faktor penurunan kualitas barang menjadi salah satu penyebab suatu usaha tidak bisa menyediakan barang dalam jumlah yang terlalu banyak. Selain itu, biaya penyimpanan juga menjadi salah satu pertimbangan agar barang yang disimpan tidak terlalu banyak, dan biaya yang dimiliki dapat dialokasikan untuk keperluan lain yang lebih menguntungkan. Review mengenai studi sistem persediaan dengan faktor deteriorasi dapat dilihat pada Li dkk (2010) dan Ray (2017).

Sementara itu, bagi konsumen, selain jumlah persediaan barang, harga tentu menjadi salah satu faktor yang sangat berpengaruh pada keputusan membeli barang. Seperti halnya dalam hukum permintaan yang menyebutkan bahwa jika harga barang yang ditawarkan semakin tinggi, tentu permintaan konsumen terhadap barang tersebut akan semakin rendah.

Telah banyak literatur yang mengulas berbagai masalah yang berkaitan dengan model-model persediaan barang dari sudut pandang yang berbeda-beda. Model *Economic Order Quantity* (EOQ) (Tersine, 1994; Shenoy dan Rosas, 2018) merupakan model persediaan yang paling sederhana, yang menjadi dasar bagi pengembangan model-model persediaan barang selanjutnya. Perkembangan model-model persediaan senantiasa mencoba melibatkan faktor-faktor yang relevan dan dihadapi secara nyata oleh perusahaan. Beberapa model persediaan barang dengan melibatkan faktor permintaan barang oleh konsumen telah cukup banyak dibahas dari berbagai sudut pandang. Nagare dan Dutta (2012) mengembangkan suatu model persediaan untuk barang yang mengalami deteriorasi dengan asumsi bahwa permintaan barang yang bergantung pada persediaan. Clarabella (2016) menambahkan faktor diskon, baik *all-units discount* maupun *incremental discount*. Sedangkan Ricardo dkk. (2017) mengasumsikan fungsi kuadratik untuk biaya penyimpanan dan laju deteriorasi bergantung waktu sebagai pengembangan dari model Nagare dan Dutta (2012). Sementara itu, Setiawan dkk. (2017) telah mengembangkan suatu model persediaan dengan permintaan bergantung pada persediaan untuk barang yang mengalami deteriorasi dan mempertimbangkan kebijakan retur. Loedy dkk. (2018) telah mengembangkan suatu model persediaan barang dengan melibatkan faktor deteriorasi, *all-units discount*, dan retur. Untuk kasus permintaan yang probabilistik, pengembangan model telah dilakukan antara lain oleh Limansyah dan Lesmono (2019) dengan menggunakan Distribusi Gamma untuk permintaan barang selama *lead time*. Model yang melibatkan biaya kekurangan *fuzzy* dan permintaan eksponensial untuk kasus barang yang mengalami deteriorasi dibahas oleh Sharmila dan Uthayakumar (2015), sedangkan Singh dkk. (2017) telah melakukan untuk tingkat deteriorasi yang bergantung waktu.

Artikel ini merupakan pengembangan dari model Chang dkk. (2010) terkait dengan laju deteriorasi dan biaya penyimpanan. Model yang dikembangkan oleh Chang dkk. (2010) berasumsi bahwa laju deteriorasi dan biaya penyimpanan adalah konstan, sedangkan di dalam artikel ini laju deteriorasi merupakan fungsi linier terhadap waktu (Model I) dan mengikuti distribusi Weibull (Model II) dengan biaya penyimpanan konstan atau merupakan fungsi linier terhadap waktu. Notasi yang digunakan sama dengan yang ada di Chang, dkk (2010).

Terdapat dua model yang dikembangkan di dalam paper ini, yaitu: (1) **Model I**, yaitu model persediaan dengan laju deteriorasi linier dan biaya penyimpanan konstan, dan (2) **Model II**, yaitu model persediaan dengan laju deteriorasi berdistribusi Weibull dan biaya penyimpanan linier terhadap waktu.

Tujuan artikel ini adalah mengembangkan

model persediaan dengan permintaan bergantung pada persediaan dan harga jual serta melibatkan faktor deteriorasi. Model ini akan menentukan harga jual, tingkat persediaan akhir, dan kuantitas pemesanan optimal yang memaksimumkan keuntungan rata-rata per satuan waktu. Artikel juga melakukan analisis sensitivitas dan perbandingan antara kedua model di atas.

II. METODE PENELITIAN

Notasi yang digunakan

Berikut ini adalah notasi dan asumsi yang digunakan pada model ini:

K : Harga pembelian/order (konstan dan diketahui)

B : Tingkat persediaan maksimum (konstan dan diketahui)

c : Harga pembelian/unit (konstan dan diketahui)

p : Harga penjualan

$I(t)$: Tingkat persediaan pada saat waktu t

Q : Banyak permintaan barang

s : Biaya pemusnahan jika barang mengalami deteriorasi (konstan dan diketahui)

y : Tingkat persediaan akhir ($y \geq 0$)

h : Biaya penyimpanan minimum

m : Peningkatan biaya penyimpanan

HC : Biaya penyimpanan total bergantung waktu per unit barang per waktu, dimana $HC = h + mt,\ h \geq 0, m \geq 0, t \geq 0$

θ : Laju penurunan kualitas barang (deteriorasi) ($0 \leq \theta \leq 1$)

Asumsi yang digunakan pada model ini:

1. Tidak terdapat kekurangan barang dan waktu tunggu pemesanan 0,
2. Siklus pengisian barang $[0, T]$ dan diasumsikan identik,
3. Tingkat permintaan deterministik dan mengikuti persamaan,
   $$R(I(t), p) = \alpha(p) + \beta I(t)$$
   dengan β konstanta non-negatif, $\alpha(p)$ merupakan fungsi non-negatif dari p dengan
   $$\alpha'(p) = \frac{d\alpha(p)}{dp} < 0 ,$$
4. Fungsi harga ($\alpha(p)$) yang digunakan adalah xp^{-r} dengan x dan r merupakan konstanta non-negatif,
5. Jika barang harus dimusnahkan maka terdapat biaya pemusnahan *(disposal cost)*.

Pengembangan Model I

Melalui model ini, ingin diketahui perubahan tingkat persediaan terhadap waktu dengan faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat persediaan adalah faktor deteriorasi dan permintaan barang, sehingga diperoleh persamaan:

$$\boldsymbol{I'(t) + btI(t) = -R(I(t), p)\ , 0 \leq t \leq T} \quad \text{... (1)}$$

Dengan menggunakan kondisi batas $I(T) = y$ pada Persamaan (1) maka diperoleh

$$\boldsymbol{I(t) = ye^{\frac{b(T^2 - t^2)}{2} + \beta(T - t)}} \quad \text{... (2)}$$

Sementara itu, apabila digunakan syarat batas $I(0) = B$ maka dapat diperoleh

$$B = ye^{\frac{bT^2}{2} + \beta T} \quad \text{... (3)}$$

Melalui persamaan (2) dapat diperoleh keuntungan total (TP) dan keuntungan rata-rata (AP) pada siklus $[0, T]$

$$TP = (p - c)\int_0^T \alpha(p) + \beta I(t)dt - K - \big(HC + bt(c + s)\big)\int_0^T I(t)dt$$

$$= (p - c)\alpha(p) - K + \Big((p - c)\beta - \big(HC + bt(c + s)\big)\Big)\Bigg(ye^{\frac{bT^2}{2} + \beta T}\ \Big(T - \frac{bt^3}{6} - \frac{\beta T^2}{2} + \frac{\beta bT^5}{40} + \frac{\beta b\ \ ^4}{8}\ + \frac{\beta^2 T^3}{6} - \frac{b^3 T^7}{336} - \frac{b^2 \beta T^6}{144} - \frac{\beta b^2 T^6}{72} - \frac{\beta^2 bT^5}{30} - \frac{\beta^2 bT^5}{60} - \frac{\beta^3 T^4}{24}\Big)\Bigg)$$

$$\boldsymbol{AP = \frac{1}{T}\left((p-c)\alpha(p) - K + \left((p-c)\beta - \left(HC + bt(c+s)\right)\right)\left(ye^{\frac{bT^2}{2}+\beta T}\left(T - \frac{bt^3}{6} - \frac{\beta T^2}{2} + \frac{\beta bT^5}{40} + \frac{\beta bT^4}{8} + \frac{\beta^2 T^3}{6} - \frac{b^3T^7}{336} - \frac{b^2\beta T^6}{144} - \frac{\beta b^2 T^6}{72} - \frac{\beta^2 bT^5}{30} - \frac{\beta^2 bT^5}{60} - \frac{\beta^3 T^4}{24}\right)\right)\right)} \quad \text{... (4)}$$

Turunkan persamaan (4) terhadap y dan p agar diperoleh nilai AP yang optimal

$$\frac{\partial AP}{\partial p} = \frac{1}{T}\left(\left((p-c)\frac{d\alpha(p)}{dp} + \alpha(p)\right) + \beta + \left(ye^{\frac{bT^2}{2}+\beta T}\left(T - \frac{bt^3}{6} - \frac{\beta T^2}{2} + \frac{\beta bT^5}{40} + \frac{\beta bT^4}{8} + \frac{\beta^2 T^3}{6} - \frac{b^3T^7}{336} - \frac{b^2\beta T^6}{144} - \frac{\beta b^2 T^6}{72} - \frac{\beta^2 bT^5}{30} - \frac{\beta^2 bT^5}{60} - \frac{\beta^3 T^4}{24}\right)\right)\right) = 0 \quad \text{... (5)}$$

$$\frac{\partial AP}{\partial y} = \frac{1}{T}\left(\left((p-c)\beta - \left(HC + bt(c+s)\right)\right)\left(e^{\frac{bT^2}{2}+\beta T}\left(T - \frac{bt^3}{6} - \frac{\beta T^2}{2} + \frac{\beta bT^5}{40} + \frac{\beta bT^4}{8} + \frac{\beta^2 T^3}{6} - \frac{b^3T^7}{336} - \frac{b^2\beta T^6}{144} - \frac{\beta b^2 T^6}{72} - \frac{\beta^2 bT^5}{30} - \frac{\beta^2 bT^5}{60} - \frac{\beta^3 T^4}{24}\right)\right)\right) = 0 \quad \text{... (6)}$$

Nilai T diperoleh dengan membuat persamaan:

$$T - \frac{bt^3}{6} - \frac{\beta T^2}{2} + \frac{\beta bT^5}{40} + \frac{\beta bT^4}{8} + \frac{\beta^2 T^3}{6} - \frac{b^3T^7}{336} - \frac{b^2\beta T^6}{144} - \frac{\beta b^2 T^6}{72} - \frac{\beta^2 bT^5}{30} - \frac{\beta^2 bT^5}{60} - \frac{\beta^3 T^4}{24}$$

pada (6) bernilai sama dengan nol. Dengan membuat persamaan di atas menjadi sama dengan nol akan menjadikan turunan parsial pertama AP terhadap y sama dengan nol. Kemudian nilai T diperoleh dengan menggunakan perangkat lunak MAPLE. Setelah diperoleh turunan pertama nilai keuntungan rata-rata (AP) terhadap y dan p maka akan dicari nilai optimal y dan p yang memaksimumkan keuntungan rata-rata.

Prosedur pencarian solusi

Pencarian solusi untuk memaksimumkan nilai keuntungan rata-rata yang diperoleh, dapat dicapai dengan tahap-tahap berikut ini:

1. Agar diperoleh nilai y dan p yang optimal, maka dapat dicari dengan dengan menyelesaikan dua persamaan berikut ini, $\frac{\partial AP}{\partial p} = 0$ dan $\frac{\partial AP}{\partial y} = 0$. AP hanya diturunkan terhadap y dan p, arena saat AP diturunkan terhadap T diperoleh bahwa T merupakan fungsi dari y dan p. Dengan mensubstitusikan nilai T yang diperoleh dari MAPLE dan persamaan (5) maka akan diperoleh nilai y dan p.
2. Setelah nilai p dan y diperoleh, selanjutnya periksa apakah nilai p dan y yang diperoleh dapat memaksimumkan keuntungan rata-rata (AP), dimana $\frac{\partial^2 f}{\partial p^2}\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 f}{\partial p \partial y}\frac{\partial^2 f}{\partial y \partial p} > 0$, dan $\frac{\partial^2 AP}{\partial p^2} < 0$ atau $\frac{\partial^2 AP}{\partial y^2} < 0$.
3. Tingkat permintaan barang optimal (Q) dapat diperoleh dengan mengurangkan nilai B dan y
4. Jika semua syarat telah terpenuhi, maka hitung nilai keuntungan rata-rata (AP) dengan p, y, dan T yang telah diperoleh, sehingga diperoleh solusi yang optimal

Contoh Numerik

Menggunakan Persamaan (3), (5), dan (6) maka akan dibuat contoh numerik untuk menggambarkan model yang telah di buat, dengan:

Harga pembelian/order (K) = \$10
Harga pembelian/unit (c) = \$1.5
Stok persediaan maksimum (B) = 150 unit
Biaya pemusnahan (s) = \$1
Biaya penyimpanan (HC) = \$0.5

Fungsi permintaan $R(I(t),p)=\alpha(p)+\beta I(t)$ dengan β = 0,5
Fungsi harga $\alpha(p)=xp^{-r}$ dengan x=1000, r=2,5
Laju deteriorasi $\theta(t)=bt$ dengan b=1
Maka diperoleh:
Harga penjualan (p) = \$2.5
Banyak permintaan (Q) = 144,4 unit
Waktu pemesanan optimal (T) = 2,1 bulan
Tingkat persediaan barang minimum (y) = 5,59 unit
Keuntungan rata-rata (AP) = \$43.16

Melalui contoh numerik, diperoleh waktu pemesanan optimal (T) 2,1 bulan. Hal ini disebabkan karena saat nilai *(T)* 2 bulan atau 2,2 bulan, nilai keuntungan rata-rata yang diperoleh tidak maksimal.

Pengembangan Model II

Melalui model ini, ingin diketahui perubahan tingkat persediaan terhadap waktu dengan faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat persediaan adalah faktor deteriorasi dan permintaan barang, sehingga diperoleh persamaan:

$$I'(t)+abt^{b-1}I(t)=-R(I(t),p), 0\le t\le T \quad \text{... (7)}$$

Dengan menggunakan kondisi batas $I(T)=y$ pada Persamaan (7) maka diperoleh

$$I(t)=ye^{a(T^b-t^b)+\beta(T-t)} \quad \text{... (8)}$$

Sementara itu, apabila digunakan syarat batas $I(0)=B$ maka dapat diperoleh

$$B=ye^{aT^b+\beta T} \quad \text{... (9)}$$

Melalui persamaan (8) dapat diperoleh keuntungan total (TP) dan keuntungan rata-rata (AP) pada siklus $[0,T]$

$$TP=(p-c)\alpha(p)-K+\Bigg((p-c)\beta-\big(HC+abt^{b-1}(c+s)\big)\Bigg)\Bigg(ye^{aT^b+\beta T}\Bigg(T-\frac{aT^{b+1}}{b+1}-\frac{\beta T^2}{2}+\frac{a^2T^{2b+1}}{2(2b+1)}+\frac{a\beta T^{b+2}}{b+2}+\frac{\beta^2T^3}{6}-\frac{a^3T^{2b^2+1}}{6(2b^2+1)}-\frac{a^2\beta T^{2b+2}}{6(2b+2)}-\frac{a^2\beta T^{(b^2+2)}}{3(b^2+2)}-\frac{a\beta^2T^{b+3}}{2(b+3)}-\frac{\beta^3T^4}{24}\Bigg)\Bigg)$$

$$AP=\frac{1}{T}\Bigg((p-c)\alpha(p)-K+\Big((p-c)\beta-\big(HC+abt^{b-1}(c+s)\big)\Big)\Bigg(ye^{aT^b+\beta}\Bigg(T-\frac{aT^{b+1}}{b+1}-\frac{\beta T^2}{2}+\frac{a^2T^{2b+1}}{2(2b+1)}+\frac{a\beta T^{b+2}}{b+2}+\frac{\beta^2T^3}{6}-\frac{a^3T^{2b^2+1}}{6(2b^2+1)}-\frac{a^2\beta T^{2b+2}}{6(2b+2)}-\frac{a^2\beta T^{b^2+2}}{3(b^2+2)}-\frac{a\beta^2T^{b+3}}{2(b+3)}-\frac{\beta^3T^4}{24}\Bigg)\Bigg)\Bigg) \quad \text{... (10)}$$

Persamaan (10) diturunkan terhadap y dan p agar diperoleh nilai (AP) yang optimal

$$\frac{\partial AP}{\partial y}=\frac{1}{T}\Bigg((p-c)\beta-\big(HC+abt^{b-1}(c+s)\big)\Bigg)\Bigg(e^{aT^b+\beta}\Bigg(T-\frac{aT^{b+1}}{b+1}-\frac{\beta T^2}{2}+\frac{a^2T^{2b+1}}{2(2b+1)}+\frac{a\beta T^{b+2}}{b+2}+\frac{\beta^2T^3}{6}-\frac{a^3T^{2b^2+1}}{6(2b^2+1)}-\frac{a^2\beta T^{2b+2}}{6(2b+2)}-\frac{a^2\beta T^{b^2+2}}{3(b^2+2)}-\frac{a\beta^2T^{b+3}}{2(b+3)}-\frac{\beta^3T^4}{24}\Bigg)\Bigg)=0 \quad \text{... (11)}$$

$$\frac{\partial AP}{\partial p}=\frac{1}{T}\Bigg((p-c)\alpha'(p)+\alpha(p)+\beta\Bigg(ye^{aT^b+\beta T}\Bigg(T-\frac{aT^{b+1}}{b+1}-\frac{\beta T^2}{2}+\frac{a^2T^{2b+1}}{2(2b+1)}+\frac{a\beta T^{b+2}}{b+2}+\frac{\beta^2T^3}{6}-\frac{a^3T^{2b^2+1}}{6(2b^2+1)}-\frac{a^2\beta T^{2b+2}}{6(2b+2)}-\frac{a^2\beta T^{b^2+2}}{3(b^2+2)}-\frac{a\beta^2T^{b+3}}{2(b+3)}-\frac{\beta^3T^4}{24}\Bigg)\Bigg)\Bigg)=0 \quad \text{... (12)}$$

Contoh Numerik

Menggunakan cara penyelesaian dan nilai yang sama seperti pada contoh numerik pada Model I, pada Model II akan dibuat contoh numerik untuk menggambarkan model yang telah dibuat. Berikut ini adalah nilai yang digunakan untuk faktor yang berbeda pada Model ini:
Biaya penyimpanan barang (HC) = $h+mt$ dengan h = 0,5, m = 1,5
Laju deteriorasi $\theta(t)=abt^{b-1}$, dengan a = 0,5, b = 2,5
Maka diperoleh:
Harga penjualan (p) = \$2.5
Banyak permintaan (Q) = 135,4 unit

Waktu pemesanan optimal (T) = 1,57 bulan
Tingkat persediaan minimum (y) =14,6 unit
Keuntungan rata-rata (AP) = \$55.14

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Akan dibahas pengaruh perubahan parameter dari beberapa faktor, seperti faktor persediaan barang maksimum (B), faktor harga beli (c), faktor biaya penyimpanan (HC), dan faktor deteriorasi (θ) pada Model I dan Model II. Selanjutnya, akan dilihat keuntungan rata-rata yang lebih tinggi yang diperoleh antara Model I dan Model II. Perubahan dilakukan dalam prosentase kenaikan dan penurunan nilai parameter dari 10%, 25%, dan 50% dari nilai parameter awal.

Pengaruh perubahan nilai parameter pada Model I ditunjukkan pada Tabel 1. Pada Model I laju deteriorasi diasumsikan linier dengan biaya penyimpanan yang konstan., peningkatan laju deteriorasi (b) menyebabkan peningkatan pada tingkat permintaan barang dan keuntungan rata-rata yang diperoleh, dan menyebabkan penurunan pada nilai tingkat persediaan barang minimum dan waktu pemesanan optimal. Apabila laju deteriorasi barang semakin meningkat, maka suatu usaha harus menyediakan barang dengan jumlah yang lebih banyak, untuk menghindari terjadinya kekurangan barang. Jumlah barang persediaan yang banyak, dapat meningkatkan tingkat permintaan terhadap barang tersebut, sehingga barang persediaan dapat cepat habis dan waktu pemesanan barang semakin singkat. Sehingga, peningkatan laju deteriorasi akan meningkatkan nilai keuntungan rata-rata yang diperoleh. Perubahan laju deteriorasi barang, tidak memberikan pengaruh pada harga jual.

Peningkatan nilai persediaan barang maksimum (B), dapat menyebabkan peningkatan terhadap nilai tingkat persediaan barang minimum dan tingkat permintaan barang, namun tidak memberikan perubahan terhadap harga penjualan, waktu pemesanan barang optimal, dan

Tabel 1 Pengaruh perubahan parameter pada Model I

Parameter	% Perubahan	y (unit)	p (dolar)	T (bulan)	Q (unit)	AP (dolar)
b	+50	5,36	2,5	1,80	144,64	50,65
	+25	5,46	2,5	1,94	144,64	47,09
	+10	5,54	2,5	2,04	144,64	44,78
	−10	5,66	2,5	2,20	144,64	41,46
	−25	5,79	2,5	2,35	144,64	38,74
	−50	6,09	2,5	2,72	144,64	33,56
B	+50	8,68	2,5	2,1	216,32	43,42
	+25	7,23	2,5	2,1	180,27	43,42
	+10	6,36	2,5	2,1	158,64	43,42
	−10	5,20	2,5	2,1	129,8	43,42
	−25	4,34	2,5	2,1	108,16	43,42
	−50	2,89	2,5	2,1	72,11	43,42
HC	+50	5,78	2,5	2,1	144,22	43,306
	+25	5,78	2,5	2,1	144,22	43,360
	+10	5,78	2,5	2,1	144,22	43,401
	−10	5,78	2,5	2,1	144,22	43,449
	−25	5,78	2,5	2,1	144,22	43,484
	−50	5,78	2,5	2,1	144,22	43,544
c	+50	5,78	3,75	2,1	144,22	21,700
	+25	5,78	3,13	2,1	144,22	29,890
	+10	5,78	2,75	2,1	144,22	37,149
	−10	5,78	2,25	2,1	144,22	51,771
	−25	5,78	1,88	2,1	144,22	69,367
	−50	5,78	1,25	2,1	144,22	131,413

nilai keuntungan rata-rata yang diperoleh. Peningkatan nilai harga pembelian barang (c), tidak memberikan pengaruh pada tingkat persediaan barang minimum, waktu pemesanan barang optimal, dan tingkat permintaan barang, namun dapat menyebabkan peningkatan pada harga jual dan penurunan pada keuntungan rata-rata yang diperoleh. Peningkatan nilai biaya penyimpanan (HC) hanya menyebabkan penurunan pada keuntungan rata-rata yang diperoleh dan tidak memberi pengaruh pada nilai faktor-faktor lainnya.

Perubahan nilai parameter pada Model II telah ditunjukkan pada Tabel 2. Pada Model II laju deteriorasi diasumsikan berdistribusi Weibull dengan biaya penyimpanan linier. Peningkatan laju deteriorasi (a dan b) menyebabkan penurunan pada nilai waktu pemesanan optimal dan peningkatan pada nilai keuntungan rata-rata. Namun, perubahan nilai parameter a dan b memberikan pengaruh yang berbeda pada parameter lainnya. Peningkatan nilai parameter a, menyebabkan penurunan pada tingkat persediaan barang minimum dan peningkatan pada tingkat permintaan barang. Sementara itu, peningkatan nilai parameter b menyebabkan peningkatan nilai tingkat persediaan barang minimum dan menurunkan nilai tingkat permintaan barang. Semakin besar nilai parameter b dapat menunjukkan bahwa tingkat kerusakan barang semakin tinggi. Sehingga, ketika kualitas barang semakin menurun, maka permintaan barang

Tabel 2 Pengaruh perubahan parameter pada Model II

Parameter	% Perubahan	y (unit)	p (dolar)	T (bulan)	Q (unit)	AP (dolar)
a	+50	11,72	2,5	1,43	138,28	59,44
	+25	12,9	2,5	1,49	137,10	57,40
	+10	13,77	2,5	1,54	136,23	56,02
	−10	15,09	2,5	1,61	134,91	53,82
	−25	16,21	2,5	1,69	133,79	51,83
	−50	18,40	2,5	1,85	131,60	47,52
b	+50	24,31	2,5	1,26	125,69	67,46
	+25	19,16	2,5	1,38	130,84	62,16
	+10	14,66	2,5	1,48	135,34	58,28
	−10	11,99	2,5	1,71	138,01	50,80
	−25	8,43	2,5	2,02	141,57	43,24
	−50	4,96	2,5	2,95	145,04	29,87
B	+50	21,90	2,5	1,57	203,10	55,14
	+25	18,25	2,5	1,57	169,25	55,14
	+10	16,06	2,5	1,57	148,94	55,14
	−10	13,14	2,5	1,57	121,86	55,14
	−25	10,95	2,5	1,57	101,55	55,14
	−50	7,30	2,5	1,57	67,7	55,14
HC	+50	14,60	2,5	1,57	135,40	55,66
	+25	14,60	2,5	1,57	135,40	55,59
	+10	14,60	2,5	1,57	135,40	55,34
	−10	14,60	2,5	1,57	135,40	55,23
	−25	14,60	2,5	1,57	135,40	55,04
	−50	14,60	2,5	1,57	135,40	54,89
c	+50	14,60	3,75	1,57	135,40	25,33
	+25	14,60	3,13	1,57	135,40	36,58
	+10	14,60	2,75	1,57	135,40	46,46
	−10	14,60	2,25	1,57	135,40	66,26
	−25	14,60	1,88	1,57	135,40	90,14
	−50	14,60	1,25	1,57	135,40	173,43

tersebut akan menurun dan semakin cepat barang harus dipesan kembali karena barang persediaan semakin cepat rusak.

Peningkatan jumlah persediaan barang maksimum(B), hanya menyebabkan peningkatan pada tingkat persediaan barang minimum dan tingkat permintaan barang, namun tidak memberikan pengaruh pada faktor-faktor lainnya. Peningkatan harga pembelian barang (c), menyebabkan peningkatan harga penjualan dan penurunan nilai keuntungan rata-rata yang diperoleh. Semakin tinggi harga pembelian barang, maka harga jual barang akan semakin tinggi dan keuntungan rata-rata yang diperoleh akan semakin rendah. Peningkatan harga pembelian tentu akan mempengaruhi harga penjualan, yang mengakibatkan pada penurunan nilai keuntungan yang diperoleh. Namun selain itu, peningkatan harga pembelian barang tidak memberikan pengaruh pada faktor-faktor lainnya.

Peningkatan biaya penyimpanan (HC) menyebabkan peningkatan terhadap nilai keuntungan rata-rata yang diperoleh namun tidak memberikan pengaruh pada faktor-faktor lainnya.

Apabila Model I dan Model II dibandingkan, maka Model II dapat memberikan nilai keuntungan rata-rata yang lebih besar. Perbedaan ini disebabkan karena pada Model II biaya penyimpanan yang digunakan tidak konstan, melainkan linier. Biaya penyimpanan yang linier, lebih mendekati keadaan real karena ketika suatu tempat usaha semakin lama menyimpan barang, maka biaya penyimpanan akan semakin meningkat. Peningkatan biaya penyimpanan ini, merupakan salah satu upaya untuk memperlambat laju deteriorasi dari barang yang disimpan. Selain itu, pada Model II laju deteriorasi yang digunakan berdistribusi Weibull. Laju deteriorasi dengan distribusi Weibull lebih mendekati laju deteriorasi riil, dibandingkan laju deteriorasi linier. Saat suatu barang disimpan dalam jangka waktu tertentu, maka semakin lama tentu barang tersebut akan mengalami penurunan kualitas barang. Namun, terdapat banyak faktor yang mempengaruhi penurunan kualitas barang, sehingga kualitas dari barang penyimpanan tidak memburuk secara linier. Model II menggunakan laju deteriorasi berdistribusi Weibull dan biaya penyimpanan linier yang lebih mendekati kondisi real, sehingga Model II dapat memberikan keuntungan rata-rata yang lebih tinggi dibandingkan Model I.

IV. SIMPULAN

Berdasarkan analisis sensitivitas, dapat disimpulkan apabila kedua model dibandingkan, maka pada Model II keuntungan rata-rata yang diperoleh lebih tinggi dibandingkan keuntungan yang diperoleh pada Model I. Hal ini disebabkan karena biaya penyimpanan (HC) yang diasumsikan linier dan laju deteriorasi berdistribusi Weibull yang digunakan pada Model II lebih mendekati kondisi real. Dari analisis sensitivitas juga ditemukan bahwa perubahan nilai dari parameter akan mengakibatkan perubahan pada besaran variabel keputusan dan solusi optimal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Direktorat Riset dan Pengabdian kepada Masyarakat Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi melalui skema Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi. Ucapan terima kasih juga disampaikan untuk para reviewer yang telah memberikan masukan yang berharga terhadap paper ini.

REFERENCES

Chang, C.T., Tsai, T.R., Wu, S.J., Chen, Y.J. (2010). Inventory Models with Stock and Price Dependent Demand for Deteriorating Items Based on Limited Shelf Space, *Yugoslav Journal of Operation Research*, *20* (1), 55-69

Chaudhary, S.K., Tripathi, R.P. (2017). An EOQ Model for Weibull Deterioration with Exponential Demand under Linearly Time Dependent Shortages, *International Journal of Computational and Applied Mathematics*, Vol. *12* (1), 81-98

Clarabella, M. (2016). *Model Persediaan dengan Permintaan Bergantung pada Persediaan, Faktor Kedaluwarsa dan Faktor Diskon*. Skripsi. Program Studi Matematika Universitas Katolik Parahyangan.

Li, R., Lan, H., Mawhinney, J.R. (2010). A Review on Deteriorating Inventory Study. *J. Service Science & Management*, *3*, 117-129.

Limansyah, T., Lesmono, D. (2019). Probabilistic Inventory Model with Expiration Date and All-Units Discount. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 546 052042

Loedy, N., Lesmono, D., Limansyah, T. (2018). An Inventory-Dependent Demand Model with Deterioration, All-Units Discount, and Return. *J. Phys.: Conf. Ser. 1108 012010*

Mishra, V.K. (2012). Inventory Model for Time Dependent Holding Cost and Deterioration with Salvage Value and Shortages. *The Journal of Mathematics and Computer Science*, *4* (1), 37-47

Nagare, M., Dutta, P. (2012). *Continuous Review Model for Perishable Products with Inventory Dependent Demand*. Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists (IMECS 2012), II, Hong Kong.

Ray, J. (2017). Deterioration and its Uncertainty in Inventory Systems. *Global Journal of Pure and Applied Mathematics*, 13 (8), 4003-4014.

Ricardo, C., Lesmono, D, Limansyah, T (2017). Pengembangan Model Persediaan Continuous Review dengan All Unit Discount dan Faktor Kadaluwarsa. *Jurnal Teknik Industri*, *19* (1), 29-38.

Setiawan, S.W., Lesmono, D., Limansyah, T. (2018). A Perishable Inventory Model with Return. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 335 012049

Sharmila, D., Uthayakumar, R. (2015). Inventory model for deteriorating items involving fuzzy with shortages and exponential demand. *International Journal of Supply and Operations Management*, *2* (3), 888-904.

Shenoy, D., Rosas, R. (2018). *Problems & Solutions in Inventory Management*. Springer, Switzerland.

Singh, T., Mishra, P.J., Pattanayak, H. (2017). An optimal policy for deteriorating items with time-proportional deterioration rate and constant and time-dependent linear demand rate. *J. Ind. Eng. Int.* 13, 455-463.

Tersine, Richard J. (1994). *Principles of Inventory and Material Management*. 4th ed. Prentice Hall, New Jersey.