

**PENGEMBANGAN MODEL EPQ DENGAN VARIASI BIAYA *SETUP* DAN BIAYA  
PENYIMPANAN SERTA PENGIRIMAN DISKRIT*****DEVELOPMENT OF EPQ MODEL WITH VARIATIONS OF SETUP AND  
HOLDING COSTS WITH DISCRETE DELIVERIES*****Supardi Manurung\*<sup>1)</sup>, Sukoyo<sup>2)</sup>, dan Erika Fatma<sup>3)</sup>**<sup>1)</sup> Balai Riset dan Standardisasi Industri Manado,  
Jalan Mapanget Raya, Manado, 95257, Indonesia<sup>2)</sup> Program Studi Teknik Industri Institut Teknologi Bandung,  
Jalan Tamansari No.64, Bandung, 40116, Indonesia<sup>3)</sup> Program Studi Manajemen Logistik Industri Elektronika.Politeknik APP Jakarta,  
Jalan Timbul No. 34, Jakarta, 12630, IndonesiaEmail: [supardi\\_manru@yahoo.com](mailto:supardi_manru@yahoo.com)

Diterima: 21-01-2021

Direvisi: 07-04-2021

Disetujui: 23-06-2021

**ABSTRAK**

Makalah ini mengkaji kebijakan inventori pada perusahaan yang memiliki kapasitas gudang terbatas sehingga pengiriman barang harus dilakukan secara diskrit serta mempertimbangkan variasi biaya *setup* yang meningkat berdasarkan lama waktu produksi dan biaya penyimpanan yang meningkat sesuai fungsi waktu penyimpanan. Tujuan dari penelitian adalah untuk mengembangkan model *Economic Production Quantity* (EPQ) dan meminimasi total biaya inventori dengan mempertimbangkan faktor-faktor yang telah disebutkan sebelumnya. Terdapat dua kasus yang dikaji yaitu variasi biaya *setup* yang dikombinasikan dengan variasi biaya penyimpanan (H). Metode optimasi digunakan untuk mendapatkan waktu siklus (T) optimal. Berdasarkan T optimal yang dihasilkan, dihitung nilai waktu produksi ( $T_p$ ), jumlah produksi (Q), jumlah pengiriman (m), kapasitas pengiriman (k), dan total biaya optimal. Perhitungan numerik menunjukkan bahwa 2 model yang dihasilkan dapat menurunkan total biaya secara keseluruhan. Penurunan nilai TC\* terbesar dicapai pada saat  $\beta=1$  dan  $\varepsilon=0,4$  yaitu sebesar \$3.967 (0,198%) untuk model 1 sedangkan untuk model 2, diperoleh pada saat  $\beta=1$  yaitu sebesar \$2.607 (0,130%).

**Kata kunci:** Biaya Penyimpanan, Biaya Setup, EPQ, Inventori, Pengiriman Diskrit**ABSTRACT**

*This paper examines inventory policies in companies that have limited warehouse capacity so that delivery has been done discretely and considering setup variable cost that increases based on the length of production time and holding variable cost that increases based on the length of holding time. The aim of this study is to develop the EPQ model and to minimize total inventory cost by considering the factors aforementioned. In this research, the optimization method is used to obtain the optimal cycle time (T). Based on the optimal T resulted, the value of optimal production time ( $T_p$ ), production quantity (Q), number of delivery (m), capacity of delivery (k), and Total Cost are calculated. Numerical calculations show that 2 models obtained can reduce the overall Total Cost. The biggest decrease in TC\* value is achieved when  $\beta=1$  and  $\varepsilon=0,4$ , which is \$3.967 (0,198%) for Model 1, while for Model 2, it is obtained when  $\beta=1$  is \$2.607 (0,130%).*

**Keywords:** Holding Cost, Setup Cost, EPQ, Inventory, Discrete Deliveries

## PENDAHULUAN

Setiap perusahaan berkompetisi dengan cara yang berbeda dan memiliki proses produksi yang berbeda, sehingga inventornya juga terfokus di tempat yang berbeda. Saat ini telah dikenal berbagai macam kebijakan dalam manajemen inventori yang tentu saja memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing, tergantung kondisi dan asumsi yang dibuat. Model yang digunakan pada dasarnya ada 2 yaitu model *Economic Order Quantity* (EOQ) untuk menentukan jumlah pemesanan ekonomis dan model *Economic Production Quantity* (EPQ) untuk menentukan jumlah produksi ekonomis. Model dibangun dengan asumsi, sehingga perlu dikaji bagaimana pengaruh jika terjadi perubahan pada asumsi tersebut. Semakin sedikit asumsi yang dibuat maka semakin mendekati kondisi riil.

Sebagai contoh, model inventori EPQ tradisional tidak mengkaji kebijakan inventori diskrit, sementara hal tersebut umum terjadi dalam kondisi nyata. Model EPQ klasik mengasumsikan isu kebijakan persediaan berkelanjutan untuk dapat memenuhi permintaan dan semua produk yang diproduksi memiliki kualitas sempurna (S. W. Chiu et al., 2011). Namun, dalam kehidupan nyata sistem integrasi *vendor-buyer*, kebijakan dengan banyak pengiriman digunakan sebagai pengganti isu kebijakan berkelanjutan dan menghasilkan produk cacat tidak dapat dihindarkan. Chiu et al. (2012) mengusulkan model inventori EPQ untuk menentukan jumlah produksi optimal dan jumlah pengiriman ketika sistem manufaktur menghasilkan *item* cacat yang bisa dikerjakan kembali.

Asumsi lain yang digunakan dalam model EPQ klasik adalah biaya *setup* tetap, sedangkan dalam situasi nyata, sering ditemukan kondisi biaya *setup* tidak tetap. Biaya *setup* dapat dikontrol melalui berbagai usaha seperti pelatihan pekerja, perubahan prosedur, dan penggunaan peralatan khusus (Hou, 2007). Manfaat lain yang dihasilkan dengan pengurangan waktu *setup* adalah perputaran inventori dan produk yang lebih cepat dan dapat meningkatkan kualitas produk. Oleh karena itu, untuk menghasilkan efisiensi sistem produksi, hanya mengurangi *lot size* tidaklah cukup, jika tidak disertai dengan pengurangan biaya *setup* yang sesuai dan pengembangan kualitas.

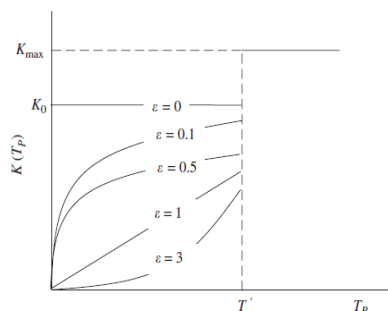
Lebih lanjut lagi, biaya lain yang dianggap tetap dalam model EPQ dasar adalah biaya penyimpanan. Darwish (2008) yang menyebutkan bahwa seharusnya biaya penyimpanan produk rusak dan tidak berguna tidak selalu tetap dan sama, dan tarif biaya meningkat seiring waktu. Parameter yang berhubungan dengan biaya penyimpanan tidak dianggap tetap dan berhubungan dengan fungsi kenaikan panjang siklus pemesanan. Tarif biaya penyimpanan yang berhubungan dengan penyewaan peralatan bisa mendapatkan diskon untuk pemakaian jangka panjang dan bisa menurun seiring waktu (Alfares dan Turnadi, 2016).

Berdasarkan analisa manfaat yang bisa diperoleh, kondisi ini perlu dimodelkan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap total biaya yang dihasilkan secara keseluruhan. Sebelumnya telah dilakukan beberapa penelitian yang berhubungan dengan permasalahan ini. Penelitian dengan mempertimbangkan pengiriman pesanan secara diskrit dengan pembatas ruang penyimpanan telah dilakukan (Pasandideh & Niaki, 2008; Hossein et al., 2017; Ozturk & Senel, 2019; Nasution, 2020). Sarkar & Sarkar (2013) telah mengembangkan model inventori dengan pemenuhan *backlogging* parsial yang mempertimbangkan penyusutan produk oleh waktu. Kemudian Sarkar & Sarkar (2013) melakukan pengembangan model *Economic Manufacturing Quantity* (EMQ) dengan memperhatikan probabilistik penyusutan dan permintaan eksponensial. Pengembangan model EPQ dengan fokus pada keterbatasan ruang penyimpanan dan pengiriman secara diskrit ataupun *multiple shipments* yang dipengaruhi oleh pengerjaan kembali produk cacat telah dilakukan (Chiu et al., 2011b; Taleizadeh, et al., 2016; Ritha & Martin (2013). Dalam rangka menghasilkan solusi optimal, berbagai metode pencarian solusi optimal juga telah dilakukan (Nobil, et al.,

2017; 2017b; Qiu et al., 2018). Darwish (2008) telah menganalisis masalah inventori melalui pendekatan EPQ dengan mempertimbangkan variasi biaya *setup* produksi dan adanya kekurangan dalam inventori. Kajian untuk menentukan total biaya optimum dengan mempertimbangkan variasi biaya penyimpanan sebagai kenaikan fungsi dari panjang siklus pemesanan dilakukan oleh Ghasemi & Nadjafi (2013). Pengembangan model EOQ dengan mempertimbangkan variasi biaya pemesanan dan biaya penyimpanan untuk kondisi satu pemasok, permintaan deterministik dan mengizinkan adanya kekurangan inventori dilakukan oleh Simarmata (2014).

Pasandideh & Niaki (2008) mengkaji penerapan model EPQ dengan mempertimbangkan batasan kapasitas gudang dan pengiriman secara diskrit dalam bentuk palet-palet. Perusahaan dianggap bekerja dengan pemasok dengan situasi perusahaan dan pemasok bekerja didefinisikan sebagai berikut pemasok memproduksi semua permintaan produk dengan laju yang diketahui dan konstan, permintaan setiap produk dalam perusahaan diketahui, pemasok mengirimkan pesanan ke perusahaan dengan pallet, perusahaan membayar biaya transportasi masing-masing pallet, perusahaan menentukan kapasitas masing-masing pallet dan jumlah pengiriman, jumlah pengiriman masing-masing pesanan harus dalam interval yang diijinkan yang ditentukan oleh perusahaan, kapasitas gudang perusahaan untuk semua produk terbatas, biaya *setup* dan penyimpanan diketahui, kekurangan (*shortages*) dan penundaan tidak diijinkan.

Pengembangan model EPQ klasik dengan mempertimbangkan hubungan antara biaya *setup* dengan lama waktu produksi telah dilakukan oleh Darwish (2008). Model yang dibuat ada dua yaitu dengan mempertimbangkan ada dan tidak adanya kekurangan inventori. Asumsi yang digunakan adalah proses produksi untuk satu jenis produk, permintaan konstan dan deterministik, laju produksi ( $P$ ) lebih besar daripada laju permintaan ( $D$ ), parameter lain diketahui dan independen, dan kekurangan dapat dipenuhi kembali. Biaya *setup* pada model yang diajukan berhubungan dengan lama waktu produksi. Darwish (2008) menetapkan nilai biaya *setup* sebagai berikut:  $K(T_p) = K_0 T_p^\varepsilon$  jika  $T' \leq T_p$  dan  $K(T_p) = K_{\max}$  jika  $T' > T_p$ , dengan parameter *setup*  $\varepsilon$ , biaya *setup*  $K_0$  dan biaya *setup* maksimum  $K_{\max}$ . Perubahan pada nilai  $K(T_p)$  ditunjukkan pada Gambar 1 berikut.



**Gambar 1.** Grafik perilaku  $K(T_p)$  untuk nilai  $\varepsilon \geq 0$  (Darwish, 2008)

Pada saat inventori maksimum, rata-rata biaya penyimpanan per satuan waktu adalah  $hQ(P-D)/2P$  dan rata-rata biaya *setup* per satuan waktu adalah  $DK_0 T_p^{\varepsilon-1}/P$ . Total biaya yang diharapkan per satuan waktu,  $C$ , adalah jumlah biaya *setup* dan inventori (Surie dan Reuter, 2015). Parameter bentuk *setup*,  $\varepsilon$ , yang merupakan properti dari sistem mendefinisikan sistem produksi di bawah pertimbangan. Sebagai contoh, ketika  $\varepsilon$  lebih dari satu, solusi optimal memberikan kemungkinan *lot size* terkecil yaitu satu unit. Namun ketika parameter bentuk mendekati 1 dari bawah, sistem jatuh ke dalam kategori menghasilkan lot yang lebih kecil dengan lebih sering. Lebih lagi, nilai  $\varepsilon$  mendekati nol sesuai dengan sistem

*lot size* yang relatif lebih besar dan waktu produksi yang lebih panjang (Jaber, et al., 2017). Hasil numerik mengindikasikan bahwa kehilangan yang berhubungan dengan pemakaian EPQ klasik adalah signifikan. Hasil juga menunjukkan bahwa *lot size* dan lama waktu produksi menurun ketika hubungan antara biaya *setup* dan lama waktu produksi diabaikan.

Ghasemi & Nadjafi (2013) mengembangkan model EOQ yang mempertimbangkan biaya penyimpanan sebagai kenaikan fungsi kontinu dari panjang siklus pemesanan. Diasumsikan bahwa biaya penyimpanan akan tetap hingga waktu yang ditentukan ( $T'$ ) dan akan meningkat sesuai fungsi siklus pemesanan. Model EOQ klasik dengan mempertimbangkan variasi biaya pemesanan dan biaya penyimpanan sebagai fungsi waktu (Simarmata, 2014). Diasumsikan bahwa biaya penyimpanan dan biaya pemesanan akan tetap sampai waktu yang ditetapkan ( $T'$ ), yaitu sebelum  $T'$  biaya penyimpanan dan biaya pemesanan adalah konstan dan akan meningkat sesuai dengan fungsi waktu siklus pemesanan. Penelitian tersebut menghasilkan dua model yaitu mempertimbangkan ada kekurangan dan tidak ada kekurangan dalam inventori. Dalam kedua model tersebut diperoleh total biaya optimal yang lebih kecil, baik dengan peningkatan nilai  $\beta$  (rentang nilai antara 0 dan 1 dengan penambahan 0,1) dan variasi nilai  $\alpha$  (0; 0,1; 0,5 dan 0,9) maupun peningkatan nilai  $\alpha$  dan variasi nilai  $\beta$ . Persentase kehilangan terbesar pada model I berada pada rentang 71,03-76,36% yang dihasilkan ketika  $\alpha = 0,9$  dan variasi  $\beta$  (0 sampai 1). Akan tetapi pada model II, kehilangan terbesar berada pada rentang 65,62-71,21% yang dihasilkan pada nilai  $\alpha = 0,9$  dan variasi  $\beta$  (0 sampai 1).

Berdasarkan studi terhadap penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, belum ada penelitian yang mengkaji model EPQ dengan variasi biaya *setup* dan biaya penyimpanan dengan keterbatasan gudang penyimpanan. Keterbatasan ruang penyimpanan menyebabkan pengiriman dilakukan secara bertahap ataupun diskrit. Untuk itu penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model EPQ untuk meminimasi total biaya inventori untuk kondisi kapasitas gudang terbatas, biaya *setup* dan biaya penyimpanan yang bervariasi serta mempelajari perilaku dari model yang dihasilkan.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan tahapan sebagai berikut: melakukan studi pendahuluan, mengidentifikasi faktor-faktor riil, mengidentifikasi model-model inventori, menganalisis faktor-faktor pembatas, membuat asumsi yang relevan, memilih model yang akan dikembangkan, membuat model yang relevan, menganalisis dan mengevaluasi model dengan menggunakan metode optimasi dan melakukan verifikasi model, serta menganalisis perilaku model usulan.

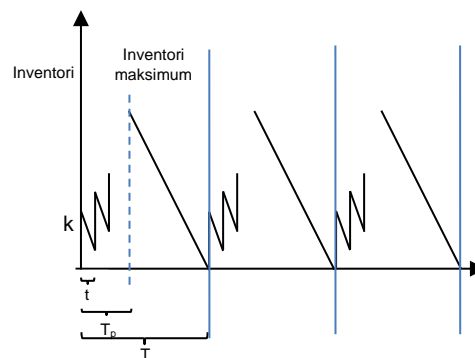
## Deskripsi Masalah

Pemanufaktur yang memproduksi suatu produk memiliki kapasitas gudang penyimpanan yang terbatas sehingga perusahaan meminta pengiriman barang dari pemasok dilakukan secara diskrit/bertahap dalam interval waktu tertentu. Pemanufaktur juga mempertimbangkan perubahan nilai biaya *setup* yang mengalami kenaikan sesuai lama waktu produksi. Selain itu, pemanufaktur juga memperhitungkan perubahan nilai biaya penyimpanan yang mengalami kenaikan sesuai dengan waktu penyimpanan. Selain itu, Darwish (2008) juga melakukan perhitungan persentase kehilangan (% *Loss*) untuk mengetahui berapa persen pengurangan yang diakibatkan oleh pertimbangan variasi biaya yang digunakan dengan  $(TC_{EPQ}^* - TC^*) \times 100\% / TC_{EPQ}^*$ .

Beberapa faktor yang mengakibatkan terjadinya perubahan biaya antara lain periode *setup*, waktu *setup*, pelatihan karyawan, penggunaan teknologi baru, ukuran pemesanan, perubahan prosedur, perubahan nilai kurs/mata uang, perubahan biaya gudang, kerusakan barang, dan lain sebagainya. Perubahan yang terjadi memiliki tingkat pengaruh dan

kecepatan yang berbeda dan bisa saja terjadi setiap waktu sehingga perlu menjadi perhatian pamanufaktur dan pengambil kebijakan. Kondisi-kondisi ini membuat pamanufaktur untuk dapat mengatur jadwal produksi dan lama waktu produksi seefisien mungkin. Hal ini tentu saja memerlukan perencanaan yang baik sehingga biaya penyimpanan dan biaya yang berhubungan dengannya bisa diperoleh secara optimal.

Pengiriman barang yang dilakukan secara bertahap mengakibatkan pemenuhan inventori juga terjadi secara bertahap. Kecepatan pemenuhan inventori maksimum dipengaruhi oleh laju produksi dan jumlah permintaan dengan laju produksi ( $P$ ) diasumsikan selalu lebih besar daripada laju permintaan ( $D$ ). Pamanufaktur meminta pengiriman barang dilakukan dalam interval waktu tertentu ( $t$ ) dengan jumlah yang sama setiap kali pengiriman ( $k$ ). Pamanufaktur juga menetapkan jumlah minimum barang yang bisa dikirim oleh pemasok. Situasi persediaan yang terjadi dalam perusahaan digambarkan seperti dalam Gambar 2 di bawah ini.



**Gambar 2.** Grafik sistem persediaan

### Asumsi

Dalam penelitian ini, beberapa asumsi yang digunakan adalah pemasok memproduksi semua permintaan produk dengan laju yang diketahui dan konstan, permintaan dalam pamanufaktur diketahui, pamanufaktur membayar biaya transportasi, pamanufaktur menentukan kapasitas dan jumlah pengiriman, jumlah pengiriman masing-masing pesanan harus dalam interval yang diijinkan yang ditentukan oleh pamanufaktur, kapasitas gudang pamanufaktur terbatas, biaya *setup* dan penyimpanan meningkat sesuai dengan fungsi waktu, serta tidak diijinkan adanya kekurangan (*shortages*).

### Notasi

Notasi dan satuan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### Parameter

- $P$  : Laju produksi (unit/tahun)
- $D$  : Laju permintaan (unit/tahun)
- $b$  : Biaya transportasi (\$/pengiriman)
- $A$  : Biaya *setup* produksi (\$/*setup*)
- $H$  : Biaya simpan (\$/unit/tahun)
- $c$  : Biaya pengadaan (\$/tahun)
- $k_0$  : Kapasitas minimal pengiriman (unit)
- $f$  : Ruang gudang tersedia (unit)
- $T_s'$  : Waktu *setup* (tahun)

- $T_h'$  : Waktu penyimpanan (tahun)  
 $\varepsilon$  : Parameter bentuk untuk *setup*  
 $\beta$  : Parameter bentuk untuk penyimpanan

**Variabel**

- TH : Total biaya penyimpanan (\$/tahun)  
 TT : Total biaya transportasi (\$/tahun)  
 TB : Total biaya pengadaan (\$/tahun)  
 TS : Total biaya setup (\$/tahun)  
 TC : Total biaya keseluruhan (\$/tahun)

**Variabel keputusan**

- $T$  : Waktu siklus (tahun)  
 $Q$  : Jumlah pesanan (unit)  
 $T_p$  : Waktu produksi untuk tiap siklus (tahun)  
 $K$  : Kapasitas setiap pengiriman (unit)  
 $m$  : Jumlah pengiriman dalam setiap siklus (kali atau pengiriman)

**Pengembangan Model**

Biaya *setup* tidak selamanya dianggap konstan dan akan berubah berdasarkan fungsi waktu produksi, sehingga biaya *setup* ( $A$ ) diperoleh:

$$A(T_p) = \begin{cases} A_0 T_p^\varepsilon, & \text{jika } T_p < T_s' \text{ untuk } 0 \leq \varepsilon < 1 \\ A_{max}, & \text{jika } T_p \geq T_s' \end{cases} \quad (1)$$

Diasumsikan bahwa biaya penyimpanan akan tetap sampai waktu yang ditetapkan ( $T'$ ) sehingga untuk biaya penyimpanan ( $H$ ), diperoleh:

$$H = H_0, \quad \text{jika } T \leq T_h' \\ H = H_0 T^\beta, \quad \text{jika } T > T_h', \text{ dan } 0 < \beta \leq 1 \quad (2)$$

Dari persamaan 1 dan 2 di atas terdapat 4 kombinasi kasus yang mungkin terjadi yaitu untuk  $A(T_p) = A_0 T_p^\varepsilon$  dan  $H = H_0$ ,  $A(T_p) = A_0 T_p^\varepsilon$  dan  $H = H_0 T^\beta$ ,  $A(T_p) = A_{max}$  dan  $H = H_0$ , serta  $A(T_p) = A_{max}$  dan  $H = H_0 T^\beta$ . Namun, untuk biaya penyimpanan akan didapatkan  $H = H_0$  ketika digunakan  $\beta = 0$ , sehingga kondisi  $T \leq T_h'$  tidak perlu dibahas. Oleh karena itu, terdapat 2 kombinasi kasus yang perlu diselesaikan yaitu  $A(T_p) = A_0 T_p^\varepsilon$  dan  $H = H_0 T^\beta$  (Model 1) serta  $A(T_p) = A_{max}$  dan  $H = H_0 T^\beta$  (Model 2). Namun untuk saat ini pencarian solusi akan difokuskan pada Model 1.

Menggunakan formulasi EPQ yang dikembangkan oleh Pasandideh and Niaki (2008), yang mempertimbangkan pengiriman pesanan secara bertahap, maka fungsi total biaya per tahun untuk kondisi satu produk adalah sebagai berikut:

$$TC = TB + TT + TS + TH \\ TC = cD + b \frac{D}{k} + A \frac{D}{Q} + \frac{h}{2} \left( Q - (Q - k) \frac{D}{P} \right) \quad (3)$$

Untuk Model 1 yaitu pada saat  $T_p < T_s'$  dan  $T > T_h'$  ( $T_h' = T'$ ) dilakukan substitusi  $A(T_p) = A_0 T_p^\varepsilon$  dan  $H = H_0 T^\beta$  sehingga diperoleh:

$$TC(T, k) = cD + b \frac{D}{k} + A_0 T_p^\varepsilon \frac{D}{Q} + \frac{H_0 T^\beta}{2} \quad (4)$$

Mengingat  $T_p = \frac{Q}{P}$  dan  $Q = DT$  maka:

$$TC(T, k) = cD + b \frac{D}{k} + A_0 \left( \frac{Q}{P} \right)^\varepsilon \frac{D}{Q} + \frac{H_0 T^\beta}{2} \left( DT - (DT - k) \frac{D}{P} \right) \\ TC(T, k) = cD + b \frac{D}{k} + A_0 \frac{(DT)^\varepsilon}{P^\varepsilon T} + \frac{H_0 T^\beta}{2} \left( DT - \frac{D^2 T}{P} + k \frac{D}{P} \right) \\ TC(T, k) = cD + b \frac{D}{k} + A_0 \frac{D^\varepsilon T^\varepsilon}{P^\varepsilon T} + \frac{H_0 D T^{\beta+1}}{2} - \frac{H_0 D^2 T^{\beta+1}}{2P} + \frac{H_0 D k T^\beta}{2P}$$



$$TC(T, k) = cD + b \frac{D}{k} + A_0 \frac{D^\varepsilon T^{\varepsilon-1}}{P^\varepsilon} + \frac{DH_0 T^{\beta+1}}{2} - \frac{D^2 H_0 T^{\beta+1}}{2P} + \frac{DH_0 k T^\beta}{2P} \quad (5)$$

Fungsi tujuan adalah untuk meminimasi total biaya inventori secara keseluruhan (TC), sehingga fungsi tujuan untuk Model 1 adalah:

$$Min TC(T, k) = cD + b \frac{D}{k} + A_0 \frac{D^\varepsilon T^{\varepsilon-1}}{P^\varepsilon} + \frac{DH_0 T^{\beta+1}}{2} - \frac{D^2 H_0 T^{\beta+1}}{2P} + \frac{DH_0 k T^\beta}{2P} \quad (6)$$

Kondisi yang terjadi di dalam pemanufaktur adalah terdapat batasan dalam sumber daya yang dimiliki sehingga terdapat kesepakatan tertentu antara pemasok dan pemanufaktur. Ketentuan kondisi yang terjadi adalah kapasitas pengiriman minimal sebesar  $k_0$  dan tidak melebihi kapasitas gudang ( $f$ ). Pengiriman dilakukan secara bertahap yaitu minimal 2 kali pengiriman. Jumlah minimal ukuran pemesanan adalah sebesar 2 kali jumlah minimal pengiriman. Oleh karena itu, pembatas yang digunakan adalah:

$$k_0 \leq k \leq f \quad (7)$$

$$DT \geq 2k_0; T \geq \frac{2k_0}{D} \quad (8)$$

Sementara itu, untuk Model 2 yaitu pada saat  $T_p \geq T_s'$  dan  $T > T_h'$  dengan  $A(T_p) = A_{max}$  dan  $H = H_0 T^\beta$  diperoleh:

$$TC(T, k) = cD + b \frac{D}{k} + A_{max} \frac{D}{Q} + \frac{H_0 T^\beta}{2} \left( Q - (Q - k) \frac{D}{P} \right)$$

$$TC(T, k) = cD + b \frac{D}{k} + \frac{A_{max}}{T} + \frac{H_0 T^\beta}{2} \left( DT - (DT - k) \frac{D}{P} \right)$$

$$TC(T, k) = cD + b \frac{D}{k} + \frac{A_{max}}{T} + \frac{H_0 T^\beta}{2} \left( DT - \frac{D^2 T}{P} + k \frac{D}{P} \right)$$

$$TC(T, k) = cD + b \frac{D}{k} + \frac{A_{max}}{T} + \frac{H_0 D T^{\beta+1}}{2} - \frac{H_0 D^2 T^{\beta+1}}{2P} + \frac{H_0 D k T^\beta}{2P} \quad (9)$$

Sebagaimana pada Model 1, fungsi tujuan pada Model 2 adalah untuk meminimasi total biaya secara keseluruhan (TC), sehingga fungsi tujuan untuk Model 2 adalah:

$$Min TC(T, k) = cD + b \frac{D}{k} + \frac{A_{max}}{T} + \frac{H_0 D T^{\beta+1}}{2} - \frac{H_0 D^2 T^{\beta+1}}{2P} + \frac{H_0 D k T^\beta}{2P} \quad (10)$$

dengan pembatas:

$$k_0 \leq k \leq f \quad (11)$$

$$DT \geq 2k_0; T \geq \frac{2k_0}{D} \quad (12)$$

Penurunan TC(T,k) terhadap T untuk  $T_p < T_s'$  dan  $T > T_h'$  dengan  $A(T_p) = A_0 T_p^\varepsilon$  dan  $H = H_0 T^\beta$  (Model 1) diperoleh:

$$\begin{aligned} \frac{\partial TC(T, k)}{\partial T} &= 0 \\ \frac{(\varepsilon - 1)A_0 D^\varepsilon T^{\varepsilon-2}}{P^\varepsilon} + \frac{(\beta + 1)DH_0 T^\beta}{2} - \frac{(\beta + 1)D^2 H_0 T^\beta}{2P} + \frac{\beta DH_0 k T^{\beta-1}}{2P} &= 0 \\ \frac{(\varepsilon - 1)A_0 D^\varepsilon T^{\varepsilon-2}}{P^\varepsilon} + \frac{(\beta + 1)DH_0 T^\beta}{2} \left( 1 - \frac{D}{P} \right) + \frac{\beta DH_0 k T^{\beta-1}}{2P} &= 0 \end{aligned} \quad (13)$$

Sedangkan untuk penurunan nilai total biaya (TC) terhadap nilai k diperoleh:

$$\begin{aligned} \frac{\partial TC(T, k)}{\partial k} &= 0 \\ TC(T, k) &= cD + b \frac{D}{k} + A_0 \frac{D^\varepsilon T^{\varepsilon-1}}{P^\varepsilon} + \frac{DH_0 T^{\beta+1}}{2} - \frac{D^2 H_0 T^{\beta+1}}{2P} + \frac{DH_0 k T^\beta}{2P} \\ \frac{\partial TC(T, k)}{\partial k} &= -b \frac{D}{k^2} + \frac{H_0 T^\beta D}{2P} = 0 \\ b \frac{D}{k^2} &= \frac{H_0 T^\beta D}{2P} \\ k^* &= \sqrt{\frac{2bP}{H_0 T^\beta}} \end{aligned} \quad (14)$$

Sementara itu, penurunan nilai  $TC(T,k)$  terhadap  $T$  untuk  $T_p \geq T'_s$  dan  $T > T'_h$ , dengan  $A(T_p) = A_{max}$  dan  $H = H_0 T^\beta$  (Model 2) diperoleh:

$$\begin{aligned} \frac{\partial TC(T,k)}{\partial T} &= 0 \\ -\frac{A_{max}}{T^2} + \frac{(\beta+1)DH_0T^\beta}{2} - \frac{(\beta+1)D^2H_0T^\beta}{2P} + \frac{\beta DH_0kT^{\beta-1}}{2P} &= 0 \\ -\frac{A_{max}}{T^2} + \frac{(\beta+1)DH_0T^\beta}{2} \left(1 - \frac{D}{P}\right) + \frac{\beta DH_0kT^{\beta-1}}{2P} &= 0 \\ -\frac{A_{max}}{T^2} + \frac{(\beta+1)DH_0T^\beta}{2} \left(1 - \frac{D}{P}\right) + \frac{\beta DH_0kT^\beta}{2PT} &= 0 \\ -A_{max} + \frac{(\beta+1)DH_0T^{\beta+2}}{2} \left(1 - \frac{D}{P}\right) + \frac{\beta DH_0kT^{\beta+1}}{2P} &= 0 \end{aligned} \quad (15)$$

Pencarian nilai  $k$  dilakukan dengan cara yang sama dengan kondisi  $T_p < T'_s$  dan  $T > T'_h$  (Model 1).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk menguji model yang dihasilkan secara numerik digunakan data berdasarkan Darwish (2008), dengan melakukan penyesuaian berupa penambahan dan perubahan beberapa parameter agar sesuai dengan model penelitian yang diajukan. Data yang digunakan dalam perhitungan yaitu:  $c = \$100$  per unit,  $D = 20.000$  unit per tahun,  $P = 25.000$  unit per tahun,  $h = \$10$  per unit per tahun,  $A_0 = \$100$  per *setup*,  $A_{max} = \$120$  per *setup*,  $k_0 = 200$  unit per pengiriman,  $b = \$20$  per pengiriman, dan  $f = 750$  unit. Pengujian dilakukan menggunakan nilai  $\varepsilon$  antara 0-0,9 dengan penambahan 0,1. Sedangkan untuk nilai  $\beta$  menggunakan nilai 0, 0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 0,9 dan 1 untuk melihat kecenderungan yang terjadi.

Pengujian numerik Model 1 untuk perhitungan nilai  $T^*$ ,  $Q^*$ ,  $k^*$ ,  $m^*$ ,  $T_p^*$ , dan  $TC^*$  untuk  $T_p < T'_s$  dan  $T > T'_h$  disajikan dalam Tabel 1 ( $\beta = 0$ ). Model pada saat nilai  $\varepsilon = 0$  dan  $\beta = 0$  merupakan model EPQ klasik sehingga nilai ini menjadi dasar perbandingan dengan TC yang dihasilkan. Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa nilai  $T^*$  menurun dengan naiknya nilai  $\varepsilon$  hingga  $\varepsilon = 0,4$ , sedangkan untuk  $\varepsilon 0,5$  hingga 0,9 diperoleh nilai  $T^* = 0,02$ . Di sini dapat dilihat bahwa perubahan nilai  $\varepsilon$  yang memberikan pengaruh terhadap panjang waktu siklus optimal ( $T^*$ ) dan panjang waktu produksi ( $T_p^*$ ) adalah 0-0,4. Penurunan nilai Total Biaya (TC) terbesar terjadi pada saat  $\varepsilon$  bernilai 0,4 dengan persentase penurunan (*loss*) sebesar 0,072%. Namun, secara keseluruhan  $TC^*$  yang dihasilkan mengalami penurunan seiring dengan naiknya nilai  $\varepsilon$ , walaupun nilai  $T^*$  dan  $T_p^*$  bernilai konstan. Nilai  $T = 0,02$  merupakan nilai  $T$  minimal untuk batasan yang ditetapkan yaitu pengiriman minimal yang boleh dilakukan adalah 2 kali pengiriman dengan kapasitas pengiriman minimal 200 unit sehingga  $Q^* = 400$  unit. Penentuan batasan jumlah dan kapasitas minimum pengiriman yang diijinkan mempengaruhi panjang waktu siklus ( $T^*$ ) dan panjang waktu produksi ( $T_p^*$ ). Pada saat nilai  $T^*$  minimum tercapai, perhitungan  $T^*$  dan  $T_p^*$  sudah tidak dipengaruhi oleh nilai  $\varepsilon$ . Nilai  $Q^*$ ,  $m^*$ , dan  $k^*$  bernilai optimal dengan semakin mendekati nilai batasan yang ditetapkan. Hal ini disebabkan semakin sedikit jumlah permintaan, maka jumlah dan kapasitas pengiriman semakin sedikit sehingga mengakibatkan jumlah biaya *setup* dan biaya penyimpanan semakin kecil. Pada Model 1 ini dapat dilihat bahwa mempertimbangkan variasi biaya *setup* saja dapat mengurangi Total Biaya (TC) seperti yang dilakukan oleh Darwish (2008). Jika tidak dilakukan pembatasan jumlah pengiriman minimal maka akan mengarah ke sistem *Just in Time* dengan waktu siklus dan waktu produksi yang kecil sekali. Berdasarkan persentase penurunan/pengurangan nilai TC terbesar diperoleh pada saat nilai  $\varepsilon = 0,9$  yaitu sebesar 0,102%.



**Tabel 1.** Hasil optimasi T\* dan TC pada Model 1 ( $\beta = 0$ )

$\epsilon$	T*	Q*	m*	k*	Tp*	TC (\$)	Loss (%)
0	0,071	1415	4	354	0,057	2.005.374	
0,1	0,058	1151	4	288	0,046	2.004.969	0,020
0,2	0,045	908	3	303	0,036	2.004.575	0,040
0,3	0,035	691	2	346	0,028	2.004.217	0,058
0,4	0,025	502	2	251	0,020	2.003.934	0,072
0,5	0,020	400	2	200	0,016	2.003.832	0,077
0,6	0,020	400	2	200	0,016	2.003.618	0,088
0,7	0,020	400	2	200	0,016	2.003.477	0,095
0,8	0,020	400	2	200	0,016	2.003.383	0,099
0,9	0,020	400	2	200	0,016	2.003.321	0,102

Untuk melihat kecenderungan yang terjadi di sepanjang nilai  $\beta$ , pengujian dilakukan untuk nilai  $\beta$  dengan setiap penambahan 0,1. Namun, untuk pembahasan akan dilakukan pada  $\beta$  bernilai 0; 0,5 dan 1. Pada Tabel 2 berikut akan ditunjukkan nilai optimasi T\*, Q\*, m\*, k\*, dan Tp\* pada saat  $\beta=0,5$ .

**Tabel 2.** Hasil optimasi T\* dan TC pada Model 1 ( $\beta=0,5$ )

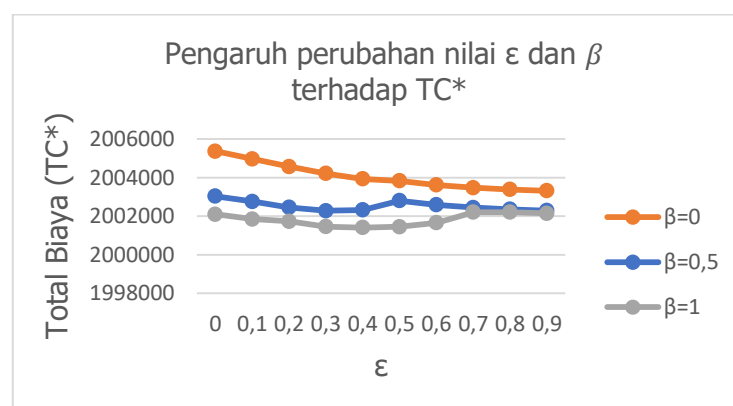
$\epsilon$	T*	Q*	m*	k*	Tp*	TC	Loss (%)
0	0,088	1767	3	589	0,071	2.003.036	0,117
0,1	0,073	1467	2	734	0,059	2.002.764	0,130
0,2	0,059	1175	2	588	0,047	2.002.459	0,145
0,3	0,045	896	2	448	0,036	2.002.284	0,154
0,4	0,032	633	2	317	0,025	2.002.326	0,152
0,5	0,02	400	2	200	0,016	2.002.802	0,128
0,6	0,02	400	2	200	0,016	2.002.588	0,139
0,7	0,02	400	2	200	0,016	2.002.446	0,146
0,8	0,02	400	2	200	0,016	2.002.353	0,151
0,9	0,02	400	2	200	0,016	2.002.291	0,154

Memberikan nilai  $\beta = 0,5$  berarti mempertimbangkan kecepatan faktor perubahan pada waktu penyimpanan sebesar 50%. Dari Tabel 2 di atas dapat dilihat ada kecenderungan yang sama dengan pada saat nilai  $\beta = 0$ . Nilai T\* menurun hingga pada  $\epsilon = 0,4$  dan nilai TC juga menurun dengan naiknya nilai  $\epsilon$ . Selain itu, besaran nilai TC menurun jika dibandingkan dengan nilai TC pada saat  $\beta = 0$ . Naiknya nilai  $\beta$  menjadi 0,5 mengakibatkan nilai T\* dan Tp\* menjadi lebih besar, yang berarti bahwa waktu siklus dan waktu produksi menjadi lebih lama. Semakin lama siklus tahunan mengakibatkan biaya penyimpanan menjadi semakin lebih murah. Kombinasi nilai  $\epsilon$  dan  $\beta = 0,5$  memberikan pengaruh terhadap nilai T\*, Q\*, m\*, k\*, dan Tp\* dari  $\epsilon$  bernilai 0 hingga 0,4, sedangkan untuk  $\epsilon$  bernilai 0,5-0,9 tidak memberikan pengaruh karena nilai T\* berada pada nilai minimum. Secara keseluruhan, pemberian faktor  $\beta=0,5$  menyebabkan nilai TC\* bergerak naik turun dengan penambahan nilai  $\epsilon$ . Nilai persentase pengurangan TC terbesar berada pada saat nilai  $\epsilon = 0,3$  yaitu sebesar 0,154% dan mengalami sedikit penurunan pada saat  $\epsilon = 0,4$  walaupun nilai T\* masih menurun dan TC naik kembali pada saat  $\epsilon = 0,5$ , lalu kemudian mengalami penurunan pada saat  $\epsilon$  bernilai 0,6 hingga 0,9. Untuk selanjutnya, nilai optimasi T pada saat nilai  $\beta = 1$  ditunjukkan pada Tabel 3 berikut ini.

**Tabel 3.** Hasil optimasi  $T^*$  dan TC pada Model 1 ( $\beta=1$ )

$\epsilon$	$T^*$	$Q^*$	$m^*$	$k^*$	$T_p^*$	TC	Loss (%)
0	0,114	2280	4	570	0,091	2.002.099	0,163
0,1	0,099	1980	3	660	0,079	2.001.847	0,176
0,2	0,085	1700	3	567	0,068	2.001.730	0,182
0,3	0,071	1420	2	710	0,057	2.001.462	0,195
0,4	0,057	1140	2	570	0,046	2.001.407	0,198
0,5	0,044	880	2	440	0,035	2.001.452	0,196
0,6	0,032	640	2	320	0,026	2.001.658	0,185
0,7	0,021	420	2	210	0,017	2.002.204	0,158
0,8	0,020	400	2	200	0,016	2.002.207	0,158
0,9	0,020	400	2	200	0,016	2.002.145	0,161

Nilai  $\beta=1$  berarti bahwa faktor yang mempengaruhi variasi biaya penyimpanan terhadap waktu penyimpanan sangat berpengaruh dengan cepat. Tabel 3 menunjukkan bahwa kombinasi  $\epsilon$  dan  $\beta=1$  mempengaruhi nilai  $T^*$  yang menurun dengan meningkatnya nilai  $\epsilon$  dari 0 hingga 0,7 dan mencapai nilai  $T^*$  minimal pada  $\epsilon$  bernilai 0,8-0,9. Dibandingkan dengan nilai  $T^*$  pada saat  $\beta$  bernilai 0 dan 0,5, maka nilai  $T^*$  pada saat  $\beta$  bernilai 1 mengalami peningkatan. Hal ini menunjukkan bahwa mempertimbangkan variasi biaya penyimpanan secara penuh memiliki pengaruh terhadap waktu siklus tahunan ( $T^*$ ) dan waktu produksi ( $T_p^*$ ) yaitu menjadi lebih lama. Hal ini sesuai dengan asumsi bahwa jika waktu penyimpanan lebih besar daripada waktu yang ditentukan maka nilai  $\beta$  berpengaruh ( $H = H_0 T^\beta$ , jika  $T > T_h'$ , dan  $0 < \beta \leq 1$ ). Dari hasil perhitungan juga dapat dilihat bahwa pada saat penurunan nilai TC terbesar, nilai  $Q^*$ ,  $m^*$ , dan  $k^*$  selalu bernilai kecil dan mendekati nilai minimal. Nilai TC menurun pada saat  $\epsilon$  bernilai 0-0,4 dan mengalami kenaikan pada saat  $\epsilon$  bernilai 0,5-0,9. Persentase pengurangan nilai TC terbesar berada pada saat nilai  $\epsilon = 0,4$  yaitu sebesar 0,198% yang merupakan persentase penurunan terbesar dari keseluruhan nilai  $\beta$  sehingga nilai ini merupakan nilai paling optimal. Hasil ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Ghasemi and Nadjafi (2013) bahwa mempertimbangkan variasi biaya penyimpanan dalam model EOQ menyebabkan peningkatan panjang siklus tahunan ( $T^*$ ) seiring dengan penurunan TC secara signifikan. Untuk lebih jelasnya, hubungan dan pengaruh perubahan nilai  $\epsilon$  dan  $\beta$  terhadap nilai  $TC^*$  yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 3 berikut ini.

**Gambar 3.** Pengaruh perubahan nilai  $\epsilon$  dan  $\beta$  terhadap nilai  $TC^*$

Grafik di atas menunjukkan perubahan yang terjadi pada saat  $\beta$  bernilai 0;0,5;1 dan  $\epsilon$  bernilai 0-0,9. Terlihat bahwa semakin meningkat nilai  $\beta$  maka nilai TC semakin kecil hingga  $\epsilon$  bernilai 0,4, kemudian meningkat pada saat nilai  $\epsilon > 0,4$ . Model ini dapat menurunkan nilai TC\* karena di dalam model ini dipertimbangkan bahwa biaya *setup* dapat menurun dengan melakukan berbagai perbaikan dalam proses *setup* yang memang sangat mungkin untuk dilakukan hingga batas tertentu. Demikian pula untuk biaya penyimpanan dapat diminimumkan dengan memanfaatkan kondisi-kondisi yang umum terjadi di dalam proses penyimpanan barang.

Berdasarkan kecenderungan yang terjadi terlihat bahwa Model 1 terbatas hingga nilai  $\epsilon=0,4$ . Proses peningkatan dan perubahan yang dilakukan oleh perusahaan dapat mempengaruhi penurunan biaya *setup* hingga 40% untuk lama waktu produksi di bawah waktu *setup* yang sudah ditentukan. Pengoptimalan biaya *setup* ini dapat dilakukan terutama untuk perusahaan-perusahaan yang baru beroperasi dan sedang berkembang sehingga perhitungan biaya *setup* untuk menentukan  $Q^*$  sangat mungkin berubah-ubah sesuai dengan peningkatan yang dilakukan oleh perusahaan. Hal yang paling penting untuk dilakukan adalah secara terus menerus memperhatikan perubahan-perubahan yang sudah dilakukan oleh perusahaan sehingga dapat meningkatkan kinerja pada bagian *setup* produksi. Sedangkan untuk perusahaan yang sudah lama memproduksi dengan teknologi yang sudah mapan dan tetap serta tidak mungkin lagi untuk menurunkan biaya *setup* maka model ini tidak begitu berpengaruh secara signifikan. Sedangkan dari sisi biaya penyimpanan maka nilai  $\beta=1$  mengindikasikan bahwa biaya penyimpanan berpengaruh secara utuh terhadap fungsi waktu lama penyimpanan.

Hasil perhitungan  $T^*$ ,  $Q^*$ ,  $T_p^*$ ,  $m^*$ ,  $k^*$ , dan TC untuk Model 2 ( $T_p \geq T_s'$  dan  $T > T_h'$ ) disajikan dalam Tabel 4. Model 2 menggunakan nilai biaya *setup* yang bernilai maksimal dan konstan. Hal ini bisa terjadi dalam waktu tertentu yaitu apabila waktu produksi sudah melebihi waktu *setup* yang sudah ditentukan. Pada Tabel 4 dapat dilihat bahwa panjang waktu siklus/periode meningkat dengan naiknya nilai  $\beta$ . Selaras dengan Model 1, mempertimbangkan biaya penyimpanan yang bervariasi sesuai dengan fungsi waktu memberikan indikasi waktu siklus tahunan akan semakin lama. Nilai  $T^*$  meningkat secara linier seiring dengan meningkatnya nilai  $\beta$ . Sementara itu nilai TC mengalami penurunan secara linier dengan meningkatnya nilai  $\beta$  dan nilai TC terkecil diperoleh ketika  $\beta = 1$ .

**Tabel 4.** Hasil optimasi  $T^*$  dan TC pada Model 2

$\beta$	$T^*$	$Q^*$	$m^*$	$k^*$	$T_p^*$	TC (\$)	Loss (%)
0	0,077	1550	7	222	0,062	2.003.987	
0,1	0,081	1612	8	202	0,064	2.003.371	0,031
0,2	0,084	1682	8	211	0,067	2.002.967	0,051
0,3	0,088	1758	8	220	0,070	2.002.638	0,067
0,4	0,092	1839	9	205	0,074	2.002.330	0,083
0,5	0,096	1924	9	214	0,077	2.002.111	0,094
0,6	0,101	2013	10	202	0,081	2.001.905	0,104
0,7	0,105	2104	10	211	0,084	2.001.751	0,112
0,8	0,110	2196	10	220	0,088	2.001.619	0,118
0,9	0,117	2340	11	200	0,094	2.001.482	0,125
1	0,123	2460	12	205	0,098	2.001.380	0,130

Secara umum, jumlah pengiriman ( $m^*$ ) per periode sebesar 7-12 kali pengiriman dengan kapasitas pengiriman ( $k^*$ ) sebesar 200-222 unit. Mempertimbangkan variasi biaya penyimpanan yang meningkat berdasarkan fungsi waktu menyebabkan nilai  $T^*$ ,  $Q^*$ , dan  $T_p^*$  menjadi lebih besar karena biaya penyimpanan semakin kecil. Namun, mempertimbangkan

nilai biaya *setup* yang maksimal, menyebabkan jumlah pengiriman menjadi lebih banyak dengan kapasitas pengiriman yang kecil.

## KESIMPULAN

Pengembangan model EPQ yang dilakukan memberikan pengaruh terhadap berkurangnya nilai TC yang dihasilkan dibandingkan dengan model EPQ Klasik. Mempertimbangkan biaya *setup* yang bervariasi memberikan dampak pada waktu produksi yang semakin kecil dengan meningkatnya nilai faktor  $\epsilon$ , sementara itu mempertimbangkan biaya penyimpanan yang bervariasi memberikan dampak semakin meningkatnya waktu siklus tahunan seiring dengan meningkatnya nilai faktor  $\beta$ . Model ini juga dapat digunakan untuk mengatasi masalah keterbatasan kapasitas gudang. Kombinasi ketiga faktor ini memberikan solusi optimal untuk dengan nilai faktor  $\epsilon=0,4$  dan  $\beta=1$  untuk Model 1 dengan penurunan nilai TC\* hingga 0,198%. Sementara itu untuk model 2 solusi optimal diperoleh ketika faktor  $\beta=1$  dengan penurunan TC\* hingga 0,130%.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alfares, H. K., & Turnadi, R. (2016). General Model for Single-item Lot-sizing with Multiple Suppliers, Quantity Discounts, and Backordering. *Procedia CIRP*, 56, 199–202. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.10.054>
- Chiu, S. W., Lin, H. D., Wu, M. F., & Yang, J. C. (2011). Determining replenishment lot size and shipment policy for an extended EPQ model with delivery and quality assurance issues. *Scientia Iranica*, 18(6), 1537–1544. <https://doi.org/10.1016/j.scient.2011.09.008>
- Chiu, Singa Wang, Chiu, Y. S. P., & Yang, J. C. (2012). Combining an alternative multi-delivery policy into economic production lot size problem with partial rework. *Expert Systems with Applications*, 39(3), 2578–2583. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.08.112>
- Chiu, Y. S. P., Liu, S. C., Chiu, C. L., & Chang, H. H. (2011). Mathematical modeling for determining the replenishment policy for EMQ model with rework and multiple shipments. *Mathematical and Computer Modelling*, 54(9–10), 2165–2174. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2011.05.025>
- Darwish, M. A. (2008). EPQ models with varying setup cost. *International Journal of Production Economics*, 113(1), 297–306. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2007.07.010>
- Ghasemi, N., & Nadjafi, B. A. (2013). EOQ Models with Varying Holding Cost. *Journal of Industrial Mathematics*, 2013(May 2013), 1–7. <https://doi.org/10.1155/2013/743921>
- Hou, K. L. (2007). An EPQ model with setup cost and process quality as functions of capital expenditure. *Applied Mathematical Modelling*, 31(1), 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2006.03.034>
- Jaber, M. Y., Bonney, M., & Jawad, H. (2017). Comparison between economic order/manufacture quantity and just-in-time models from a thermodynamics point of view. *Computers and Industrial Engineering*, 112, 503–510. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.08.023>
- Nasution, A. R. K. (2020). *Perancangan Model Vendor Managed Inventory (VMI) Single Vendor Single Manufacturer dengan Mempertimbangkan Produk yang Terdiri dari Banyak Komponen*. Thesis Program Magister, Insitut Teknologi Bandung.
- Nobil, A. H., Niaki, S. T. A., & Nobil, E. (2017). An effective and simple algorithm to solve the discrete multi-product economic production quantity model. *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*, 51(3), 251–261.
- Nobil, A. H., Sedigh, A. H. A., & Cárdenas-barrón, L. E. (2017). A multiproduct single machine economic production quantity ( EPQ ) inventory model with discrete delivery order , joint production policy and budget constraints. *Annals of Operations Research*.

- <https://doi.org/10.1007/s10479-017-2650-9>
- Ozturk, H., & Senel, F. A. (2019). An analysis of multi-item inventory model using particle swarm optimization under discrete delivery orders and limited storage space. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, *7*(3), 124–132. <https://doi.org/10.1039/b000000x>
- Pasandideh, S. H. R., & Niaki, S. T. A. (2008). A genetic algorithm approach to optimize a multi-products EPQ model with discrete delivery orders and constrained space. *Applied Mathematics and Computation*, *195*(2), 506–514. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2007.05.007>
- Qiu, M., Fu, Z., Eglese, R., & Tang, Q. (2018). A Tabu Search algorithm for the vehicle routing problem with discrete split deliveries and pickups. *Computers and Operations Research*, *100*, 102–116. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2018.07.021>
- Ritha, W., & Martin, N. (2013). Replenishment Policy for EMQ Model with Rework, Multiple Shipments, Switching and Packaging. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, *2*(1), 1–8.
- Sarkar, B., & Sarkar, S. (2013). An improved inventory model with partial backlogging, time varying deterioration and stock-dependent demand. *Economic Modelling*, *30*(1), 924–932. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2012.09.049>
- Sarkar, M., & Sarkar, B. (2013). An economic manufacturing quantity model with probabilistic deterioration in a production system. *Economic Modelling*, *31*(1), 245–252. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2012.11.019>
- Simarmata, P. T. D. (2014). *EOQ models with varying ordering and holding costs*. Thesis Program Magister, Institut Teknologi Bandung.
- Surie, C., & Reuter, B. (2015). Supply chain Analysis. In H. Stadtler, C. Kilger, & H. Meyr (Eds.), *Supply Chain Management and Advanced Planning* (Fifth Edit, pp. 29–53). Springer.
- Taleizadeh, A. A., Kalantari, S. S., & Cárdenas-Barrón, L. E. (2016). Pricing and lot sizing for an EPQ inventory model with rework and multiple shipments. *Top*, *24*(1), 143–155. <https://doi.org/10.1007/s11750-015-0377-9>