JIME (Journal of Industrial and Manufacture Engineering), 3 (1) Mei 2019
ISSN 2549-6328 (Print) ISSN 2549-6336 (Online)

JIME (Journal of Industrial and Manufacture Engineering)

Available online http://ojs.uma.ac.id/index.php/jime *Email: jime@uma.ac.id*

Pemodelan Rantai Suplai Berbasis *Economic Production Quantity* dengan Menerapkan Kredit Perdagangan Dua Eselon

Jaka Permana
Jurusan Manajemen, Fakultas Ekonomi, Universitas Prima Indonesia Medan, Indonesia

Diterima: Mei 2019; Disetujui: Mei 2019; Dipublikasi: Mei 2019;
Corresponding author: jaka.p84@gmail.com

Abstrak

Penerapan rantai suplai dirasakan semakin penting dan sangat bermanfaat dalam era industrialisasi seperti sekarang ini. Tetapi didalam prosesnya dapat ditemui berbagai risiko yang dapat mempengaruhi alur rantai suplai sehingga tidak dapat berjalan dengan lancar, seperti gangguan atau ketidaksempurnaan pada jalur transportasi. Penelitian ini dibuat untuk menawarkan suatu model matematika untuk rantai suplai dengan gangguan tak terduga dalam bidang transportasi. *Supplier/manufacturer* akan menawarkan suatu kredit perdagangan kepada *retailer* dengan periode t_1, kemudian *retailer* menawarkan kepada pelanggannya suatu kredit dengan periode t_2, dan akhirnya *retailer* akan menerima pendapatan dari t_2 ke $T + t_2$, dimana T adalah siklus waktu pada *retailer*. Dengan situasi seperti itu, akan dibahas tiga kasus seperti $T \leq t_1 \leq T + t_2$, $T \leq T + t_1 \leq t_2$, dan $t_1 \leq t_2$. Suatu model berbasis EPQ (*Economic Production Quantity*) akan ditetapkan dan kebijakan terbaik untuk pengisian kembali stok barang *retailer* akan diperoleh melalui teori matematika. Dari hasil pengujian terhadap beberapa kasus, didapatkan solusi terbaik untuk dua prosedur yang telah ditetapkan, yaitu antara solusi *risk neutral* maupun *risk averse* berdasarkan tingkat atau jumlah item yang rusak/cacat. Jika jumlah item yang rusak $\leq$ 2 unit, maka solusi *risk neutral* jauh lebih baik daripada solusi *risk averse*, sedangkan jika jumlah item yang rusak $\geq$ 3 unit, maka solusi *risk averse* jauh lebih baik daripada solusi *risk neutral*.

Kata kunci : Rantai suplai, Kredit perdagangan dua eselon, *Economic Production Quantity*

Abstract

Implementation of the supply chain is felt more important and very useful in today's era of industrialization. But in the process of supply chain encountered various risks that may affect the flow of the supply chain so it can not run smoothly, such as interference or imperfectness in transportations. This research was made to propose a mathematical model for a supply chain under the effect of unexpected disruptions in transport. Supplier/manufacturer offers the retailer a trade credit period t_1 *, then the retailer offers the customer a credit with a period of* t_2 *and finally the retailer receives the revenue from* t_2 *ke* $T + t_2$ *, where T is the cycle time at the retailer. Under this situation, the three cases such as* $T \leq t_1 \leq T + t_2$ *,* $T \leq T + t_1 \leq t_2$*, and* $t_1 \leq t_2$ *are discussed. An EPQ (Economic Production Quantity) based model is established and retailer's optimal replenishment policy is obtained through mathematical theorems. From the results of testing on several cases, the best solution for the two procedures has been obtained, namely between risk neutral and risk averse solutions based on the level or number of items damaged/defective. If the number of items damaged is* $\leq$*2 units, then solution risk neutral is far better than the risk averse solution, whereas if the number of items is damaged* $\geq$*3 units, then the risk averse solution is far better than the risk neutral solution.*

Keywords: *Supply chain, Two-echelon trade credits, Economic Production Quantity*

How to Cite: Permana, Jaka. (2019), Pemodelan Rantai Suplai Berbasis Economic Production Quantity Dengan Menerapkan Kredit Perdagangan Dua Eselon, *JIME (Journal of Industrial and Manufacture Engineering)*, 3(1): 14 - 25

PENDAHULUAN

Supply chain (rantai suplai) adalah suatu rangkaian yang terdiri dari *supplier*, *manufacturer*, *transporter*, *warehouse*, *retailer* dan konsumen. Setiap elemen rantai suplai baik secara langsung maupun tidak langsung berkontribusi terhadap pemenuhan kebutuhan/ keperluan konsumen. Kompleksitas persoalan rantai suplai ditentukan oleh kompleksitas dari beberapa hal, diantaranya adalah jumlah *supplier*, jumlah pabrik, jumlah gudang, jumlah *retailer*, dan mekanisme yang berlaku dalam setiap elemen rantai suplai, maupun yang berlaku dalam interaksi antar elemen tersebut.

Untuk mengurangi biaya pembelian dan menarik pelanggan yang jauh lebih besar, *retailer* global berusaha untuk mencari supplier yang menawarkan harga yang lebih rendah dan terkadang supplier tersebut ditemukan berada pada jarak yang sangat jauh dari pusat distribusi dan toko-toko yang dimiliki (luar daerah atau luar negeri). Akibatnya, terdapat produk dalam jumlah besar yang dikirim oleh supplier yang berasal dari luar daerah/luar negeri sangat rentan terhadap kerusakan. Terkadang, kerusakan produk- produk tersebut terjadi karena kesalahan penanganan dalam transportasi atau dipengaruhi oleh perubahan kondisi cuaca/alam yang ekstrim, kesalahan penempatan produk, perselisihan perburuhan di pelabuhan, serangan teroris, masalah lalu lintas, dan lain sebagainya yang menyebabkan produk tidak sampai pada tujuannya atau tidak tiba tepat pada waktunya. Gangguan suplai atau logistik tersebut dapat menimbulkan dampak besar yang dapat mempengaruhi para pembuat keputusan dari rantai suplai.

Pemodelan matematika dapat membantu para pembuat keputusan untuk mengevaluasi kebijakan pemesanan optimalnya terhadap risiko dan kendala yang luar biasa kompleks yang mungkin saja terjadi.

Didalam pemodelan logistik klasik, dapat diasumsikan bahwa retailer dan pelanggan harus membayar barang yang dipesan segera setelah barang diterima. Tetapi didalam prakteknya, *supplier*/*retailer* dapat memberikan suatu kredit pembayaran dengan periode tertentu kepada *retailer*/pelanggan mereka dengan membayar secara bertahap/kredit tanpa dikenakan denda untuk merangsang permintaan pemesanan produk-produk berikutnya dan juga sebagai pelayanan/*service* yang diberikan untuk *retailer* dan pelanggannya.

Credit terms (persyaratan kredit) adalah persyaratan penjualan untuk pelanggan yang mendapatkan kredit dari perusahaan. Istilah kredit ini didalam pengelolaan keuangan dilambangkan sebagai "*net* 30". Sebagai contoh syarat kredit 2/10 *net* 30 artinya penjual akan memberikan cash discount sebesar 2% jika tagihan dibayar dalam tempo 10 hari dari awal periode kredit, atau dapat dibayar dengan nilai penuh sesuai dengan nilai yang tertera dalam invoice dalam tempo 30 hari. Adapun manfaat dari kebijakan kredit perdagangan adalah sebagai berikut:

1. Kebijakan kredit perdagangan dapat menarik pelanggan baru dengan mempertimbangkan kebijakan tersebut menjadi suatu jenis penurunan harga.
2. Kebijakan kredit perdagangan dapat menurunkan hutang penjualan, karena beberapa pelanggan khususnya pelanggan tetap akan membayar lebih tepat waktu agar mendapatkan keuntungan yang lebih dari kredit perdagangan tersebut.

Tesis ini menyelidiki model rantai suplai dimana *supplier/manufacturer* bersedia memberikan *retailer* kredit perdagangan penuh dalam jangka waktu tertentu dan *retailer* juga menawarkan kredit perdagangan yang sama ke pelanggannya. Hal ini disebut pembiayaan kredit perdagangan dua-eselon (dua-tingkat). Dalam prakteknya, pembiayaan kredit perdagangan dua eselon ini jauh lebih efektif untuk retailer dalam penerapan manajemen rantai suplai. Beberapa perusahaan besar, dapat menunda pengeluaran total biaya pembelian sampai dengan berakhirnya jangka waktu penundaan yang ditawarkan oleh *supplier/ manufacturernya*. Tetapi perusahaan tersebut hanya menawarkan sebagian penundaan pembayaran saja untuk dealernya pada periode kredit yang diizinkan.

Suatu model matematika untuk rantai suplai dikembangkan dengan kredit perdagangan dua eselon dan pertimbangan probabilistik dari gangguan pada rantai suplai tersebut. Untuk mengatasi risiko dalam hal pengiriman, retailer mengatur beberapa alternatif untuk mengolah kembali barang-barang yang rusak/cacat tersebut. Retailer menawarkan kredit perdagangan kepada pelanggan dan juga menerima kredit perda- gangan dengan jangka waktu penuh dari *supplier/manufacturer*. Untuk menghadapi risiko yang akan terjadi karena gangguan pada rantai suplai, terdapat dua situasi yang harus diketahui terlebih dahulu. Menurut prinsip manajemen risiko dalam operasi riset, dua situasi tersebut adalah *risk neutral* dan *risk averse*. Kedua situasi tersebut akan diproses untuk mendapatkan solusi yang terbaik.

TUJUAN PENELITIAN

Adapun yang menjadi tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan model matematika berbasis *Economic Production Quantity* pada rantai suplai setelah adanya gangguan pada jalur transportasi/pengiriman produk, sehingga dapat meminimumkan risiko atau kerugian yang akan muncul seperti kehilangan kepercayaan pelanggan/*lost sales* maka diterapkanlah sistem kredit perdagangan dua eselon dalam model yang dikembangkan. Dengan model tersebut akan dicari suatu solusi optimal dan untuk mengilustrasikan model yang didapat, akan diberikan suatu contoh perhitungan dengan menggunakan prinsip manajemen risiko, baik untuk situasi *risk neutral* maupun *risk averse*.

MANFAAT PENELITIAN

Penelitian ini bermanfaat untuk memperkaya literatur tentang rantai suplai dan membuat suatu model rantai suplai untuk menghadapai berbagai risiko yang mungkin terjadi setelah adanya gangguan dalam jalur transportasi/pengiriman produk, sehingga dapat ditemukan solusi optimal yang dapat diterapkan didalam kegiatan perdagangan dan industri saat ini.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini bersifat literatur dan kepustakaan. Untuk memperoleh model rantai suplai dengan adanya gangguan transportasi dan penerapan kredit perdagangan dua eselon, berikut adalah langkah-langkah yang akan dilakukan:

1. Mengumpulkan segala informasi dari berbagai referensi yang ada, seperti dari buku, artikel, paper, dan jurnal mengenai pemodelan rantai suplai dengan adanya gangguan transportasi dan penerapan kredit perdagangan dua eselon.
2. Memaparkan berbagai pengertian atau teori-teori mengenai rantai suplai yang berbasis *economic production quantity* dengan menerapkan kredit perdagangan dua eselon.
3. Memahami dan menganalisis penelitian-penelitian yang pernah dilakukan oleh peneliti lain yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan.
4. Mengembangkan model yang digunakan untuk desain rantai suplai yang berbasis *economic production quantity* dengan menerapkan kredit perdagangan dua eselon, yaitu:
   a. Menyatakan secara konseptual tentang permasalahan.

b. Menentukan faktor-faktor yang berkaitan dengan persoalan, antara lain kendala, tujuan, dan notasi dari variabel-variabel.
c. Pemodelan rantai suplai berbasis *economic production quantity* dengan menerapkan kredit perdagangan dua eselon dan mempertimbangkan prinsip manajemen risiko.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Notasi dan Asumsi

Berikut adalah notasi-notasi dan asumsi-asumsi yang dipergunakan didalam penelitian ini, yang diperkenalkan oleh Thangam (2013) :

$TC\,(T)$: Total biaya tahunan yang dikeluarkan *retailer*, yang merupakan fungsi dari T.
P : Tingkat *replenishment* (pengisian persediaan) di *retailer*, $P\ \geq \lambda$
c : Harga pembelian tiap unit
s : Harga penjualan tiap unit; $s \geq c$
A : Biaya pemesanan tiap *order*
h : Biaya pemegang persediaan tiap tahun, tidak termasuk beban bunga
I_k : Bunga yang dikenakan tiap dolar dalam persediaan setiap tahunnya
I_e : Bunga yang diperoleh tiap dolar setiap tahunnya
t_1 : Jangka waktu kredit perdagangan *retailer* yang ditawarkan oleh *supplier* dalam beberapa tahun
t_2 : Jangka waktu kredit perdagangan pelanggan yang ditawarkan oleh *retailer* dalam beberapa tahun
π : Biaya yang rusak, biaya unit tiap *item* karena ketidaksempurnaan dan gangguan dalam transportasi
x : Persentase produk-produk berkualitas yang tidak sempurna karena gangguan dalam transportasi
t_C : Waktu ketika kontingensi terjadi
λ : Tingkat permintaan tahunan di *retailer*

Adapun asumsi-asumsinya adalah sebagai berikut :

1. Model ini terbatas pada satu *supplier*, satu *retailer*, dan beberapa pelanggan.
2. Sistem persediaan berkaitan dengan hanya satu jenis produk.
3. Tidak terjadi *shortage*.
4. Tingkat permintaan (λ) dan tingkat *replenishment*/ pengisian persediaan (R) dikenal dan bernilai konstan.

5. *Lead time* bernilai nol.
6. Jangka waktu tidak terbatas.
7. *Supplier* menawarkan kredit perdagangan penuh t_1 ke *retailer*.
8. *Retailer* juga menawarkan kredit perdagangan t_2 ke pelanggannya.
9. Waktu berlalu (t_C) sampai kontingensi terjadi adalah probabilistik peubah acak kontinu. Menurut proses kematian-kelahiran di dalam teori antrian, t_C mengikuti suatu distribusi eksponensial dengan mean $1/\mu$.
10. Jika produk-produk tersebut cacat karena kontingensi dalam pengiriman, *retailer* harus mencari sumber pasokan (*supply sources*) untuk memulihkan produk-produk yang cacat tersebut. Hal ini melingkupi *defective cost* π.

Formulasi Model Matematika

Adapun tujuan dari formulasi ini adalah untuk meminimalkan total biaya tahunan yang dikeluarkan di *retailer* (Thangam, 2013) :

TC (*T*) = Biaya pemesanan tahunan + Biaya pemegang persediaan tahunan + Bunga tahunan yang terhutang - Suku bunga tiap tahun + Biaya kerusakan tahunan (1)

1. Biaya pemesanan tahunan = A/T.
2. Tidak termasuk beban bunga, biaya pemegang persediaan tahunan adalah

$$\frac{hT\left(P-\lambda\right)\left(\lambda T/P\right)}{2T}=\frac{h}{2}\left[\lambda\left(1-\frac{\lambda}{P}\right)\right]T \quad (2)$$

3. Bunga yang diperoleh oleh retailer.

Kasus 1 ($T \leq t_1 \leq T + t_2$). Dengan mempertimbangkan hal berikut :
Suku bunga tiap tahun =

$$\frac{sI_e}{T}\left[\frac{\lambda\left(t_1-t_2\right)^2}{2}\right]=\frac{sI_e\lambda}{2T}\left(t_1-t_2\right)^2 \quad (3)$$

Kasus 2 ($T \leq T + t_1 \leq t_2$). Dengan mempertimbangkan hal berikut :
Suku bunga tiap tahun =

$$\frac{sI_e}{2T}\left[\frac{\lambda T^2}{2}+\lambda T\left(t_1-t_2-T\right)\right] \quad (4)$$

Kasus 3 ($t_1 \leq t_2$). Tidak ada bunga yang diperoleh untuk *retailer* karena jangka waktu kredit *retailer* lebih awal dari jangka waktu kredit pelanggan.

4. Hutang bunga oleh retailer.

Kasus 1 ($T \leq t_1 \leq T + t_2$). Dengan mempertimbangkan hal berikut :
Hutang bunga =

$$\frac{cI_k}{T}\left[\frac{\lambda\left(T+t_2-t_1\right)^2}{2}\right] \quad (5)$$

Kasus 2 ($T \leq T + t_1 \leq t_2$). Tidak ada bunga yang harus dibayar untuk *retailer*.

Kasus 3 ($t_1 \leq t_2$). Dengan mempertimbangkan hal berikut :

Hutang bunga =

$$\frac{cI_k}{T}\left[\left(t_1-t_2\right)\lambda T+\frac{\lambda T^2}{2}\right] \qquad (6)$$

5. Biaya kerusakan tahunan akibat gangguan suplai.

Jika jumlah barang rusak di setiap siklus pengisian persediaan, seperti pada Tsao (2011), adalah

$$\gamma=\begin{cases}0 & \text{, jika } t_c \geq \dfrac{\lambda T}{P}\\ xP\left(\dfrac{\lambda T}{P}-t_c\right) & \text{, jika } t_c < \dfrac{\lambda T}{P}\end{cases} \qquad (7)$$

maka diharapkan jumlah produk cacat dalam setiap siklus adalah :

$$E[\gamma]=\int_0^\infty \gamma\mu e^{-\mu t_c\, dt_c}=Px\left[\frac{\lambda T}{P}+\frac{1}{\mu}\left(e^{-\mu(\lambda T/P)}-1\right)\right]$$

(8)

Biaya kerusakan tahunan adalah

$$\frac{\pi\lambda E[\gamma]}{P(\lambda T/P)}=\pi\lambda x\left(1+\frac{e^{-\mu(\lambda T/P)}-1}{P}\right) \qquad (9)$$

Dengan menggunakan pendekatan $e^{-x} \approx 1 - x + (x^2/2)$, biaya kerusakan tahunan dapat ditulis ulang sebagai $(\pi\lambda x\mu/2)(\lambda T/P)$ ketika μ memiliki nilai yang kecil.

Oleh karena itu, total biaya yang dikeluarkan di *retailer* $TC\,(T)$ adalah

$$TC(T)=\begin{cases}TC_1(T), \text{ jika } T \leq t_1 \leq T+t_2\\ TC_2(T), \text{ jika } T \leq T+t_1 \leq t_2\\ TC_3(T), \text{ jika } t_1 \leq t_2\end{cases} \qquad (10)$$

dimana

$$TC_1(T)=\frac{A}{2}+\frac{h}{2}\left[\lambda\left(1-\frac{\lambda}{P}\right)\right]T+\frac{cI_k\lambda}{2T}$$
$$\left[T^2+\left(t_1-t_2\right)^2+2T\left(t_1-t_2\right)\right]$$
$$-\frac{sI_e\lambda}{2T}\left[\left(t_1-t_2\right)^2\right]+\frac{\pi\lambda x\mu}{2}\left(\frac{\lambda T}{P}\right)$$

$$TC_2(T)=\frac{A}{2}+\frac{h}{2}\left[\lambda\left(1-\frac{\lambda}{P}\right)\right]T-\frac{sI_e\lambda}{2T}$$
$$\left[\lambda T^2+2\lambda T\left(t_1-t_2-T\right)\right]$$
$$+\frac{\pi\lambda x\mu}{2}\left(\frac{\lambda T}{P}\right)$$

$$TC_3(T)=\frac{A}{2}+\frac{h}{2}\left[\lambda\left(1-\frac{\lambda}{P}\right)\right]T+\frac{cI_k}{T}$$
$$\left[\lambda\left(t_1-t_2\right)T+\frac{\lambda T^2}{2}\right]$$
$$+\frac{\pi\lambda x\mu}{2}\left(\frac{\lambda T}{P}\right) \qquad (11)$$

Solusi Optimal

Terdapat dua situasi yang dipertimbangkan didalam penentuan solusi optimal, yaitu *risk neutral* dan *risk averse*. Untuk meminimumkan total biaya tahunan $TC\,(T)$, beberapa kasus berikut akan diuji:

Solusi *Risk Neutral*

Kasus 1 (ketika $T \leq t_1 \leq T + t_2$). Turunan orde pertama dan kedua dari $TC_1(T)$ adalah sebagai berikut:

$$\frac{dTC_1(T)}{dT}=\frac{-1}{2T^2}\left[2A-cI_k\lambda\left[T^2-(t_1-t_2)^2\right]+sI_e\lambda(t_1-t_2)^2\right]$$
$$+\frac{h}{2}\lambda\left(1-\frac{\lambda}{P}\right)+\frac{\pi\lambda x\mu}{2}\left(\frac{\lambda}{P}\right)$$
$$\frac{d^2TC_1(T)}{dT^2}=\frac{2A}{T^3}-(sI_e-cI_k)\lambda\frac{(t_1-t_2)^2}{T^3} \qquad (12)$$

Jika $2A - (sI_e - cI_k)\ \lambda\ (t_1 - t_2)^2 > 0$, maka $TC_1(T)$ adalah fungsi *convex* dari T. Oleh karena itu, terdapat suatu siklus waktu optimal T_1^* yang meminimumkan $TC_1(T)$. Dari $(dTC_1(T)/dT) = 0$, maka diperoleh siklus waktu pengisian persediaan yang optimal adalah

$$T_1^*=\sqrt{\frac{\left[2A-(sI_e-cI_k)\lambda(t_1-t_2)^2\right]}{\lambda\left[h\left(1-(\lambda/P)\right)+cI_k+\pi x\mu(\lambda/P)\right]}} \qquad (13)$$

Untuk memastikan kondisi bahwa $(t_1 - t_2) \geq T$, hal tersebut teramati bahwa $T^*=T_2^*$ jika dan hanya jika

$$2A\le\lambda(t_1-t_2)^2\times\left[h\left(1-\frac{\lambda}{P}\right)+sI_e+\pi x\mu\left(\frac{\lambda}{P}\right)\right]$$
(14)

Kasus 2 (ketika $T \leq T+t_1 \leq t_2$). Turunan orde pertama dan kedua dari $TC_2(T)$ adalah sebagai berikut:

$$\frac{dTC_2(T)}{dT}=\frac{-A}{T^2}+\frac{h}{2}\lambda\left(1-\frac{\lambda}{P}\right)+\frac{sI_e\lambda}{2}+\frac{\pi\lambda x\mu}{2}\left(\frac{\lambda}{P}\right),$$
$$\frac{d^2TC_2(T)}{dT^2}=\frac{2A}{T^3}>0 \qquad (15)$$

Dengan mengamati bahwa turunan kedua $TC_2(T)$ adalah fungsi *convex* dari T. Oleh karena itu, terdapat siklus waktu optimal T_2^* yang meminimumkan $TC_2(T)$. Dari $(dTC_2(T)/dT) = 0$, maka diperoleh siklus waktu pengisian persediaan yang optimal adalah

$$T_2^*=\sqrt{\frac{2A}{\lambda\left[h\left(1-(\lambda/P)\right)+sI_e+\pi x\mu(\lambda/P)\right]}} \qquad (16)$$

Untuk memastikan kondisi bahwa $(t_1 - t_2) \geq T$, hal tersebut teramati bahwa $T^*=T_2^*$ jika dan hanya jika

$$2A\le\lambda(t_1-t_2)^2\times\left[h\left(1-\frac{\lambda}{P}\right)+sI_e+\pi x\mu\left(\frac{\lambda}{P}\right)\right]$$
(17)

Kasus 3 (ketika $t_1 \leq t_2$). Turunan orde pertama dan kedua dari $TC_3(T)$ adalah sebagai berikut:

$$\frac{dTC_3(T)}{dT}=\frac{-A}{T^2}+\frac{h}{2}\lambda\left(1-\frac{\lambda}{P}\right)+\frac{cI_k\lambda}{2}+\frac{\pi\lambda x\mu}{2}\left(\frac{\lambda}{P}\right),$$
$$\frac{d^2TC_3(T)}{dT^2}=\frac{2A}{T^3}>0 \qquad (18)$$

Dengan mengamati bahwa turunan kedua $TC_3(T)$ adalah fungsi convex dari T. Oleh karena itu, terdapat siklus waktu optimal T_3^* yang meminimumkan $TC_3(T)$. Dari $(dTC_3(T)/dT) = 0$, maka diperoleh siklus waktu pengisian persediaan yang optimal adalah

$$T_3^* = \sqrt{\frac{2A}{\lambda\left[h\left(1-(\lambda/P)\right)+cI_k+\pi x\mu(\lambda/P)\right]}} \quad (19)$$

Dari pembahasan diatas, berikut ini adalah teorema yang diperoleh:

Teorema 1

1. *Ketika $t_1 \geq t_2$, yang memiliki aturan sebagai berikut:*

   (a) *Jika*

   $$2A \geq \lambda(t_1-t_2)^2[h(1-(\lambda/P))+sI_e +\pi x\mu(\lambda/P)]$$

   maka terdapat siklus waktu pengisian persediaan optimal T_1^* seperti di persamaan (13).

   (b) *Jika*

   $$2A \leq \lambda(t_1-t_2)^2[h(1-(\lambda/P))+sI_e +\pi x\mu(\lambda/P)]$$

   maka terdapat siklus waktu pengisian persediaan optimal T_2^* seperti di persamaan (16).

2. *Ketika $t_1 \geq t_2$, terdapat siklus waktu pengisian persediaan yang optimal T_3^* seperti di persamaan (19).*

Solusi *Risk Averse*

Pada bagian ini, prosedur solusi diberikan untuk menemukan kebijakan pengisian persediaan yang optimal dengan membatasi jumlah ekspektasi dari *item* atau barang yang rusak (sampai D_{max}) karena gangguan suplai dalam jalur transportasi. Sekarang, masalah optimisasinya adalah

$$TC(T)=\begin{cases} TC_1(T) & jika \quad T \leq t_1 \leq T+t_2, \\ TC_1(T) & jika \quad T \leq T+t_1 \leq t_2, \\ TC_1(T) & jika \quad t_1 \leq t_2, \end{cases} \quad (20)$$

subject to

$$E[\gamma] \leq D_{\max}$$

Kasus 1 (ketika $T \leq t_1 \leq T + t_2$). Kondisi Kuhn-Tucker digunakan untuk memecahkan kendala optimisasi seperti pada persamaan (20). Dalam kasus ini, berikut adalah kondisi Kuhn-Tucker:

$$\begin{aligned}
&\frac{dTC_1(T)}{dT} - \eta_1 \frac{d}{dT}\left[E[\gamma]-D_{\max}\right] - \\
&\eta_2 \frac{d}{dT}\left[(t_1-t_2)-T\right]=0, \\
&E[\gamma]-D_{\max} \leq 0, \\
&\left[(t_1-t_2)-T\right] \leq 0, \\
&\eta_1\left[E[\gamma]-D_{\max}\right]=0, \\
&\eta_2\left[(t_1-t_2)-T\right]=0, \\
&\eta_1 \geq 0, \eta_2 \geq 0.
\end{aligned} \quad (22)$$

Jika T_1^* adalah siklus waktu pengisian persediaan yang optimal, maka terdapat nilai η_1^* dan η_2^* seperti T_1^*, η_1^* dan η_2^* telah memenuhi kondisi sebelumnya.

Kasus 2 (ketika $T \leq T + t_1 \leq t_2$). Dalam kasus ini, berikut adalah kondisi Kuhn-Tucker:

$$\begin{aligned}
&\frac{dTC_2(T)}{dT} - \eta_1 \frac{d}{dT}\left[E[\gamma] - D_{\max}\right] - \\
&\eta_2 \frac{d}{dT}\left[(T - t_2) + t_1\right] = 0, \\
&E[\gamma] - D_{\max} \le 0, \\
&\left[(T - t_2) + t_1\right] \le 0, \\
&\eta_1\left[E[\gamma] - D_{\max}\right] = 0, \\
&\eta_2\left[(T - t_2) + t_1\right] = 0, \\
&\eta_1 \ge 0, \eta_2 \ge 0.
\end{aligned} \tag{23}$$

Jika T_2^* adalah siklus waktu pengisian persediaan yang optimal, maka terdapat nilai η_1^* dan η_2^* seperti T_2^*, η_1^* dan η_2^* telah memenuhi kondisi sebelumnya.

Kasus 3 (ketika $t_1 \le t_2$). Dalam kasus ini, berikut adalah kondisi Kuhn-Tucker:

$$\begin{aligned}
&\frac{dTC_3(T)}{dT} - \eta_1 \frac{d}{dT}\left[E[\gamma] - D_{\max}\right] - \\
&\eta_2 \frac{d}{dT}\left[t_1 - t_2\right] = 0, \\
&E[\gamma] - D_{\max} \le 0, \\
&\left[t_1 - t_2\right] \le 0, \\
&\eta_1\left[E[\gamma] - D_{\max}\right] = 0, \\
&\eta_2\left[t_1 - t_2\right] = 0, \\
&\eta_1 \ge 0, \eta_2 \ge 0.
\end{aligned} \tag{24}$$

Jika T_3^* adalah siklus waktu pengisian persediaan yang optimal, maka terdapat nilai η_1^* dan η_2^* seperti T_3^*, η_1^* dan η_2^* telah memenuhi kondisi sebelumnya.

Contoh Perhitungan Secara Manual

Dalam rangka menggambarkan model yang diperoleh, berikut adalah contoh perhitungan numeriknya.

Misalkan tingkat *replenishment* (P)=1000, tingkat permintaan tahunan (λ)=500, biaya pemesanan tiap order (A)=80, harga penjualan tiap unit (s) = 15, harga pembelian tiap unit (c) = 10, biaya produk yang rusak (π) = 6, persentase produk-produk berkualitas yang tidak sempurna (x) = 0.4, rata-rata (μ) = 0.1, biaya pemegang persediaan tiap tahun (h)=7, bunga yang dikenakan dalam persediaan setiap tahunnya (I_k) = 0.1, bunga yang diperoleh setiap tahunnya (I_e)=0.2, jangka waktu kredit perdagangan retailer yang ditawarkan oleh *supplier/manufacturer* (t_1) = 0.1, dan jangka waktu kredit perdagangan pelanggan yang ditawarkan oleh *retailer* (t_2) = 0.06. Untuk solusi *risk neutral*, dengan menerapkan Teorema (1), maka berlaku bagian (1)(b) dari teorema tersebut yang menyebutkan bahwa siklus waktu pengisian persediaan yang optimal terdapat pada T_2^* seperti pada persamaan (16). Dengan menerapkan nilai diatas ke dalam persamaan dibawah:

$$T_2^* = \sqrt{\frac{2A}{\lambda\left[h\left(1-(\lambda/P)\right) + sI_e + \pi x\mu(\lambda/P)\right]}}$$

maka didapatkan T_2^* = 0.1109, dan juga dapat diperoleh persamaan $TC_2\left(T_2^*\right)$

dibawah dari persamaan (11) sebelumnya:

$$TC_2\left(T_2^*\right)=\frac{A}{2}+\frac{h}{2}\left[\lambda\left(1-\frac{\lambda}{P}\right)\right]T-\frac{sI_e\lambda}{2T}$$
$$\left[\lambda T^2+2\lambda T\left(t_1-t_2-T\right)\right]$$
$$+\frac{\pi\lambda x\mu}{2}\left(\frac{\lambda T}{P}\right)$$

maka didapatkan $TC_2\left(T_2^*\right)$ =112.65. Sedangkan jumlah ekspektasi dari item atau barang yang rusak ($E[\gamma]$) = 2.91.

Untuk solusi *risk averse*, jumlah ekspektasi dari item atau barang yang rusak dibatasi pada D_{max} = 1. Dengan menggunakan prosedur solusi dari *risk averse* sebelumnya, maka didapat hasil T_2^* = 0.2, dan $TC_2\left(T_2^*\right)$ = 287. Total biaya pada solusi *risk averse* lebih besar daripada solusi *risk neutral*. Hal tersebut dikarenakan *retailer* akan meningkatkan biaya untuk mengurangi kerusakan produk yang pasti akan berada dalam batas diatas D_{max}. Jika jumlah kerusakan item D_{max} = 2, maka total biaya dari solusi *risk averse* adalah 296.2. Jika jumlah kerusakan item = 3, maka total biaya dari kasus solusi *risk averse* adalah 58.98. Ini berarti bahwa ketika jumlah produk yang rusak lebih besar dari 3 unit, solusi *risk averse* akan memberikan total biaya lebih rendah daripada *risk neutral*. Sebaliknya, ketika jumlah item yang rusak kurang dari atau sama dengan 2 unit, solusi *risk neutral* lebih baik daripada solusi *risk averse*. Dalam kasus ini λ = 1000, bahwa 100 unit (1/10 dari jumlah permintaan) adalah rusak, total biaya pada solusi *risk neutral* adalah 98.83, sedangkan solusi *risk averse* adalah 26.41, ini artinya bahwa solusi *risk averse* dapat menghemat 98.83−26.41 = 62.42 dolar. Oleh karena itu, dengan menggunakan metode ini sangat berguna untuk kasus dengan kemungkinan kejadian probabilitas yang rendah dan tingkat konsekuensi yang tinggi.

SIMPULAN

Untuk meminimumkan risiko atau kerugian yang akan muncul seperti kehilangan kepercayaan pelanggan/*lost sales* pada rantai suplai setelah adanya gangguan pada jalur transportasi/pengiriman produk maka dikembangkan suatu model matematika berbasis *economic production quantity* yang menerapkan sistem kredit perdagangan dua eselon. Didalam penentuan solusi optimal dan untuk mengilustrasikan model yang telah dikembangkan, maka diberikan suatu contoh perhitungan dengan menggunakan prinsip manajemen risiko, yaitu situasi *risk neutral* dan *risk averse*. Dari contoh kasus yang telah diuji melalui perhitungan secara manual, maka didapatkan hasil yang terbaik dari dua prosedur solusi tersebut, yaitu antara solusi *risk neutral* maupun *risk averse* berdasarkan tingkat atau jumlah item yang rusak/cacat. Jika jumlah item yang rusak kurang dari atau sama dengan dua unit, maka solusi *risk neutral* jauh lebih baik daripada solusi *risk averse*, sedangkan jika jumlah item yang rusak lebih besar dari atau sama dengan tiga unit, maka solusi *risk averse* jauh lebih baik daripada solusi *risk neutral*.

Untuk penelitian berikutnya, diharapkan agar model yang ada dapat lebih dikembangkan lagi dengan mempertimbangkan jenis barang yang mudah rusak atau termasuk ke dalam produk musiman yang tentunya memiliki kompleksitas masalah yang berbeda, sehingga dapat memperkaya literatur dan kajian tentang rantai suplai dengan penerapan kredit perdagangan dua eselon.

DAFTAR PUSTAKA

Chopra, S. dan Meindl, P. (2007). Supply Chain Management : Strategy, Planning, and Operation. NJ, USA: Prentice Hall.

Christopher, M. (2011). Logistics and Supply Chain Management. 4th ed. London: Prentice Hall.

Gitman, L. J. (2009). Principles of Managerial Finance. London: Addison-Wesley, The Prentice Hall.

Huang, Y. F. (2003). Optimal retailers ordering policies in the EOQ model under trade credit financing. Journal of the Operational Research Society 54:1011-1015.

Huang, Y. F., Hsu, K. H., Tu, Y. C., dan Huang, H. F. (2010). An EOQ Model under Retailer Partial Trade Credit in Two-echelon Supply Chain. Journal of Information and Optimization Sciences 31:913-925.

Karush, W. (1939). Minima of Functions of Several Variables with Inequalities as Side Conditions. Master Thesis, Department of Mathematics, University of Chicago.

Kuhn, H. W. dan Tucker, A. W. (1951). Proceedings of 2nd Berkeley Symposium. Berkeley: University of California Press.

Li, L. (2007). Supply Chain Management – Concepts, Techniques and Practices: Enhancing Value Through Collaboration. World Scientific Publishing : 5.

Thangam, A. (2013). Mathematical Modeling of a Supply Chain with Imperfect Transport and Two-Echelon Trade Credits. ISRN Operations Research 2013:1-7.

Tsao, Y. C. (2011). Replenishment Policies Considering Trade Credit and Logistics Risk. Scientia Iranica 18:753-758.