

Model Sistem Pengendalian Persediaan Multi Eselon dengan Mempertimbangkan Interaksi Diantara Fasilitas Pelayanan

FIFI HERNI MUSTOFA

Staf Pengajar Jurusan Teknik Industri, Institut Teknologi Nasional (Itenas), Bandung

Email: fifi@itenas.ac.id

ABSTRAK

Sistem persediaan muncul karena terjadi ketidakseimbangan antara permintaan dan persediaan. Pemenuhan permintaan memerlukan suatu proses distribusi yang dapat dibagi dalam beberapa fasilitas atau tahap yang sering disebut multi eselon. Dalam distribusi multi eselon akan terjadi persediaan di dalam setiap fasilitasnya untuk mengantisipasi permintaan konsumen karena pengiriman produk dari eselon yang satu ke eselon yang lainnya memerlukan lead time. Jika suatu fasilitas tidak mempunyai persediaan yang cukup untuk memenuhi permintaan, maka fasilitas tersebut harus memesan kepada fasilitas dalam eselon yang sama dan menunggu hingga permintaan dipenuhi. Fasilitas di eselon atasnya atau dalam mendistribusikan produknya. Masing-masing fasilitas dapat disuplai oleh sebuah fasilitas yang lain atau oleh beberapa fasilitas yang lainnya dalam eselon yang sama. Penelitian ini bertujuan mengembangkan suatu model penentuan jumlah persediaan di fasilitas dalam setiap eselon dengan memperhatikan interaksi diantara fasilitas tersebut dengan tujuan minimisasi ongkos total.

Kata kunci: *Sistem persediaan, multi eselon, fasilitas, minimisasi ongkos total*

ABSTRACT

Inventory system being a problem when inbalancing happening between demand and supply. The demand be filled in a distribution process that consist of several facilities or stages are often referred to as multi-echelon. Multi-echelon distribution will have inventory in each facilities because that demand will be placed by the facility with lead time. If the facility does not have adequate inventory to fill the demand, then the facility must place an order with the another facility and wait for that order to be filled. Each facility supplies a single facility and each facility is may supplied several facilities in the same echelon. The aim of the research is to develop an optimization model for determining the optimal inventory policy at the each facilities in the each echelon. An optimization model is used as a solution method with criteria minimization of total cost.

Keywords: *Inventory system, multi-echelon, facility, minimization of total cost*

1. PENDAHULUAN

Dalam industri manufaktur, sistem persediaan merupakan masalah yang penting karena terkait dalam dua aspek, yaitu (i) aspek tingkat pelayanan, dan (ii) aspek ekonomi. Tingkat pelayanan sistem persediaan menunjukkan proporsi atau prosentase jumlah permintaan yang dapat dipenuhi terhadap total permintaan dalam satu periode waktu tertentu. Semakin besar jumlah persediaan akan memberikan tingkat pelayanan yang semakin tinggi. Namun bila dilihat dari aspek ekonomi, jumlah persediaan yang besar akan memberikan konsekuensi ongkos yang besar juga. Untuk itu sistem persediaan harus dijaga agar jumlah persediaan berada pada batas-batas yang ditentukan.

Pada dasarnya masalah sistem persediaan timbul karena pihak supplier tidak dapat menyediakan barang pada tempat dan waktu yang diharapkan oleh konsumen. Hal tersebut disebabkan oleh adanya waktu pengadaan (*lead time*) yang tidak tetap dan juga jumlah permintaan (*demand*) yang bersifat tidak pasti.

Pemenuhan permintaan agar dapat sampai ke tangan konsumen memerlukan suatu proses distribusi yang cukup panjang. Proses pengalokasian baik untuk bahan baku maupun produk jadi dengan melalui proses yang panjang tersebut dapat dibagi dalam beberapa tahap distribusi yang dikenal dengan distribusi *multi eselon* [Clark & Scarf, 1960]. Permasalahan distribusi multi eselon berhubungan dengan sejumlah fasilitas yang mengalokasikan produk dari fasilitas *single server* menjadi beberapa fasilitas di eselon *warehouse* atau *supplier* hingga ke fasilitas *single end*. Sejumlah fasilitas pengalokasian tersebut dapat dibagi dalam dua eselon atau lebih.

Konsep sistem pengendalian persediaan pada multi eselon diperkenalkan dalam penelitian Clark dan Scarf, 1960 yang pada prinsipnya menyatakan bahwa persediaan pada suatu eselon adalah semua persediaan yang ada pada unit fasilitas yang bersangkutan dan semua persediaan yang ada pada semua fasilitas yang mengikutinya (pada eselon berikutnya). Kyung S. Park dan Dae H. Kim [Park & Kim, 1967 dalam Dharmayantie, 1998] mengembangkan model persediaan kongruensial untuk sistem distribusi dua jenjang dan memberikan hasil yang lebih baik daripada kebijakan lainnya, seperti kebijakan sistem *m-siklus tunggal*, *distributor yang terpisah* atau *siklus tunggal*. Kebijakan pemesanan kongruensial adalah suatu kebijakan dimana pemesanan yang dilakukan fasilitas pendahulunya dan yang mengikutinya dilakukan pada setiap interval waktu yang tetap dan frekuensi pemesanan yang dilakukannya tidak harus sama. Tujuan yang ingin dicapai dalam model ini adalah menentukan ukuran persediaan optimal pada gudang sentral dan masing-masing distributor yang memberikan rata-rata variabel ongkos tahunan sistem persediaan total minimum.

Hoadley dan Heyman [1986] memperkenalkan penelitian yang lebih kompleks lagi yaitu dengan melihat jenis permintaan pada fasilitas dalam setiap eselon dengan kategori permintaan dipercepat dan permintaan reguler. Dawn Barnes S. dan Yehuda Bassok [1997] menentukan jumlah minimal pengiriman dengan pendekatan minimasi biaya rata-rata setiap periode. Sistem yang digunakan adalah sistem multi eselon dengan *single-depot / multi retailer*, permintaan *independent*, stokastik stasioner, ongkos simpan linier dan tidak ada persediaan dengan jumlah tetap di depot. Sedangkan Amit Eynan [1999] menentukan tingkat persediaan awal yang akan memaksimalkan ekspektasi keuntungan dengan disiplin pemenuhan permintaan *First Come First Served (FCFS)*.

Model Sistem Pengendalian Persediaan Multi Eselon dengan Mempertimbangkan Interaksi Diantara Fasilitas Pelayanan

Penelitian Senator Nur Bahagia [1999] mengintegrasikan sub sistem produksi dan sub sistem distribusi dengan pendekatan sistem perencanaan terkoordinasi, penggunaan konsep persediaan pada eselon dan kebijakan waktu siklus tunggal.

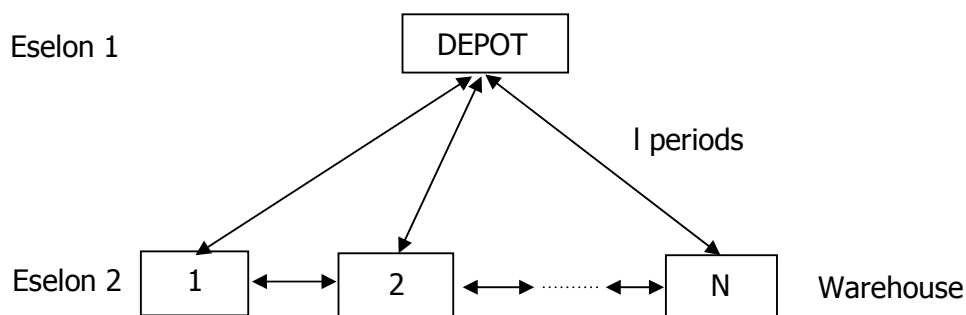
Hasil yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah model sistem persediaan yang dapat memberikan *out put* berupa:

1. Menentukan jumlah optimal persediaan di masing-masing fasilitas dalam setiap eselon.
2. Menentukan jumlah pengalokasian dari eselon 1 ke eselon 2
3. Menentukan jumlah pengalokasian dari eselon 2 ke eselon 1

2. METODOLOGI PENELITIAN

Setiap fasilitas di masing-masing eselon mempunyai karakteristik yang dapat sama atau berbeda dipengaruhi oleh tipe permintaan yang terjadi di fasilitas tersebut. Dapat terjadi di eselon yang sama, suatu fasilitas terjadi kekurangan persediaan sedangkan di fasilitas yang lainnya terjadi kelebihan persediaan. Interaksi di antara fasilitas yang kekurangan dan kelebihan persediaan tersebut dapat terjadi dengan mengadakan pengiriman persediaan dari yang berlebih kepada fasilitas yang kekurangan, tanpa meminta pengiriman dari fasilitas di eselon di atasnya.

Permasalahan persediaan multi eselon seperti itu digambarkan sebagai berikut:



Gambar 1. Aliran Produk Pada Sistem Persediaan Multi-Eselon

Pada Gambar 1, lokasi pada eselon 1 disebut dengan depot dan lokasi pada eselon 2 disebut dengan fasilitas 1,2, ..., n. Pengiriman dari *supplier* luar diterima hanya pada depot dan permintaan eksternal serta pengembalian terjadi hanya pada fasilitas di eselon 2. Diasumsikan bahwa permintaan bersih (permintaan total dikurangi pengembalian) adalah *independent* dari lokasi ke lokasi dan dari perioda waktu yang satu ke perioda waktu yang lain.

Setiap fasilitas di eselon 2 mempunyai karakteristik yang dapat sama atau berbeda dipengaruhi oleh tipe permintaan yang terjadi di fasilitas tersebut. Pada suatu fasilitas yang terjadi kekurangan persediaan dan di fasilitas yang lainnya terjadi kelebihan persediaan dapat terjadi interaksi. Interaksi dapat terjadi dengan mengadakan pengiriman persediaan dari yang berlebih kepada fasilitas yang kekurangan, tanpa meminta pengiriman dari eselon di atasnya.

Setiap fasilitas dapat berinteraksi dengan fasilitas di eselon atasnya atau dalam eselon yang sama dalam mendistribusikan produknya. Interaksi tersebut dapat berupa permintaan pada fasilitas yang lain bila di fasilitas yang bersangkutan terjadi kekurangan atau sebaliknya dapat mengirimkan produk ke fasilitas yang kekurangan persediaan. Masing-masing fasilitas sendiri mempunyai permintaan yang dapat sama atau bervariasi dalam setiap periode waktunya. Fasilitas dengan eselon yang di bawah akan meminta distribusi produk pada fasilitas di eselon atasnya.

Dengan mengamati kemungkinan yang dapat terjadi tersebut, maka penelitian ini bermaksud untuk melihat interaksi di antara fasilitas-fasilitas tersebut dengan menggunakan pendekatan meminimasi ongkos-ongkos persediaan yang terlibat. Penelitian yang akan dilakukan dibatasi pada:

1. Sistem persediaan adalah persediaan produk jadi.
2. Sistem persediaan hanya terdiri dari 2 eselon dengan ketentuan:
 - Pada eselon 1 terdapat satu depot, fungsi depot adalah memasok produk untuk eselon 2.
 - Pada eselon 2 terdapat n buah *warehouse*, *warehouse* merupakan unit fasilitas pada sub sistem distribusi yang berfungsi melayani konsumen dan mengelola pasokan produk yang berasal dari depot.
3. Bila pada fasilitas pada eselon 2 membutuhkan produk pada fasilitas yang lain, maka tidak diperlukan aliran fasilitas–depot–fasilitas tetapi langsung diantara fasilitas.
4. Total permintaan masing-masing fasilitas pada setiap periode adalah independent dan bersifat random.
5. Lead time pengiriman dari depot ke cabang diketahui dan tetap.
6. Jarak antar fasilitas tidak mempengaruhi ongkos pengiriman produk.

Proses pengembangan ini pada dasarnya dibagi 4 bagian, yaitu: (1) pembentukan model konseptual, (2) indentifikasi variabel dan parameter, (3) formulasi model, (4) verifikasi dan validasi model.

Tahap pertama adalah pembentukan model konseptual, yaitu proses melakukan elaborasi permasalahan untuk mendapatkan gambaran aspek struktural dan aspek fungsional. Aspek struktural akan membantu penentuan komponen yang mempengaruhi perilaku sistem persediaan. Sedangkan dari aspek fungsional dapat ditelusuri mekanisme interaksi dan pengaruh masing-masing elemen sistem terhadap performansi sistem persediaan.

Pada tahap kedua, berdasarkan gambaran aspek struktural dan aspek fungsional dilakukan identifikasi variabel dan parameter. Perubahan perilaku elemen sistem persediaan akan menyebabkan terjadinya perubahan pada performansi sistem. Faktor-faktor yang dapat berubah dalam elemen sistem perlu diwujudkan dalam variabel-variabel yang operasional. Sedangkan karakteristik elemen sistem yang mempengaruhi perilaku perubahan ini diwujudkan dalam nilai parameter. Identifikasi variabel dan parameter ini harus mampu memberikan gambaran perilaku sistem persediaan sesuai dengan tujuan pengukuran performansi sistem yang diinginkan.

Berdasarkan hasil identifikasi variabel dan parameter, dikombinasikan dengan elaborasi aspek fungsional dan struktural dibuat formulasi model. Formulasi model dimaksudkan untuk mengubah model konseptual menjadi model matematis yang lebih sederhana, dan mampu menggambarkan perilaku sistem persediaan yang ingin diketahui. Model matematis yang dihasilkan selanjutnya perlu dilakukan verifikasi dan validasi untuk meyakinkan kebenaran

Model Sistem Pengendalian Persediaan Multi Eselon dengan Mempertimbangkan Interaksi Diantara Fasilitas Pelayanan

output model. Bila ditemukan kekurangan dalam model matematis ini dapat dilakukan perbaikan terhadap tahap pengembangan model sebelumnya.

3. FORMULASI MODEL

Pada awal perioda, persediaan pada setiap fasilitas ditinjau. Penyesuaian tingkat persediaan dapat dilakukan dengan (i) pembelian item pada eselon 1, (ii) penjualan kembali item ke eselon 1, (iii) pengembalian item dari eselon 2 ke eselon 1, (iv) pengiriman item dari eselon 1 ke eselon 2, (v) pemindahan antara fasilitas dalam eselon 2. Masing-masing aktivitas mempunyai besaran biaya tertentu yang dikeluarkan.

Setelah tingkat persediaan yang baru ditetapkan, permintaan-permintaan pada setiap fasilitas eselon 2 tercapai. Permintaan ini dapat negatif, artinya menunjukkan bahwa jumlah permintaan item lebih kecil dibandingkan dengan jumlah item yang dikembalikan.

x_i adalah tingkat persediaan pada fasilitas ke- i pada awal perioda sedangkan $y_i \geq 0$ adalah tingkat persediaan pada fasilitas ke- i setelah penyesuaian awal, dan D_i adalah permintaan random pada fasilitas ke- i dan besarnya tidak boleh nol. Dari sini diperoleh:

$$IN_i = (y_i - x_i)^+ \quad (1)$$

$$OUT_i = (x_i - y_i)^+ \quad (2)$$

$$V_i = (D_i - y_i)^+ \quad (3)$$

untuk $i = 1, 2, \dots, n$ dimana $(a)^+ = \max(a ; 0)$.

Uraian biaya yang ditetapkan dalam model ini:

➤ Biaya Perpindahan Reguler (*BPR*)

$$BPR = C_p.P + C_j.J + C_s.S + C_T.T + C_R.R \quad (4)$$

➤ Biaya Penyimpanan (*BP*)

$$BP = h_0.E(I_0) + h.E(I) \quad (5)$$

➤ Biaya Kekurangan Persediaan pada sistem (*BKP*)

$$BKP = s.E(V_0) \quad (6)$$

Biaya Total adalah jumlah dari ketiga biaya tersebut diatas.

Untuk menyederhanakan rumus:

➤ Total persediaan awal pada sistem

$$X = x_0 + \sum_{i=1}^n x_i \quad (7)$$

➤ Total tingkat persediaan setelah penyesuaian awal pada sistem

$$Y = y_0 + \sum_{i=1}^n y_i \quad (8)$$

Dengan teori kekekalan materi diperoleh:

$$I_0 + I = \left[Y - \sum_{i=1}^n D_i \right]^+ \quad (9)$$

$$V_0 = \left[\sum_{i=1}^n D_i - Y \right]^+ \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^n IN_i = S + T \tag{11}$$

$$\sum_{i=1}^n OUT_i = R + T \tag{12}$$

$$\sum_{i=1}^n y_i = \sum_{i=1}^n x_i + S - R \tag{13}$$

Dengan menggunakan persamaan (7) sampai dengan (13) dapat diperoleh nilai variabel dan parameter yang dibutuhkan. Dengan demikian, Biaya Total (BT) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} BT = & -h \cdot E \left[\sum_{i=1}^n D_i \right] + C_R \cdot \sum_{i=1}^n x_i + C_J \cdot X + (h-h_0-C_R) \cdot \sum_{i=1}^n y_i \\ & + (h_0-C_J) \cdot Y + C_T \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^+ + (C_P+C_J) \cdot (Y-X)^+ \\ & + (C_S+C_R-C_T) \cdot S \end{aligned} \tag{14}$$

4. PENGUJIAN MODEL

Data hipotesis bersumber dari data tugas akhir [Dharmayantie,1998]. Data kebutuhan total item (untuk seluruh fasilitas) per perioda adalah:

Tabel 1. Data Kebutuhan Item

Perioda	Jumlah item (unit)
1	260
2	253
3	248
4	246
5	244
6	243
7	243
8	242
9	242
10	242
11	242
12	242

Data biaya-biaya pengalokasian adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Biaya-biaya Pengalokasian Item

Aktivitas	Biaya (rupiah)
-----------	----------------

Model Sistem Pengendalian Persediaan Multi Eselon dengan Mempertimbangkan Interaksi Diantara Fasilitas Pelayanan

Pemesanan item	1.063.250,00/pesan
Pembelian item	398,08/unit
Pengiriman dari eselon 1 ke eselon 2	280,00/unit
Pengiriman antar fasilitas dalam eselon 2	750,00/unit

Tabel 2. Biaya-biaya Pengalokasian Item (lanjutan)

Aktivitas	Biaya (rupiah)
Penyimpanan di eselon 1	46,87/unit/hari
Penyimpanan di eselon 2	46,87/unit/hari
Kekurangan persediaan	3.207,00/unit/hari

Dengan bantuan program software Turbo Pascal, diperoleh hasil:

Tabel 3. Jumlah Persediaan Awal Setiap Fasilitas

Fasilitas	Jumlah persediaan awal (y_i) (unit)
1	320
2	53
3	19
4	59
5	14
6	23
7	19
8	18
9	57

Perincian biaya pengalokasian item adalah sebagai berikut:

Tabel 4. Hasil Biaya Pengalokasian Item

Aktivitas	Biaya (rupiah)
Pemesanan item	4.253.000
Pembelian item	1.173.142
Pengiriman dari eselon 1 ke eselon 2	651.840
Pengiriman antar fasilitas dalam eselon 2	20.250
Penyimpanan di eselon 1	5.566.937
Penyimpanan di eselon 2	2.709.180
Kekurangan persediaan	0
Biaya total	<i>Rp 14.374.349</i>

Dengan mengkonversikan kembali nilai rupiah ke satuan item maka dapat diperoleh jumlah yang dialokasikan ke setiap fasilitas dari depot.

Model yang dikembangkan dapat digunakan juga untuk persoalan yang lebih sederhana, misalnya tanpa adanya interaksi antar fasilitas dengan meniadakan biaya pengiriman antar fasilitas. Dengan demikian model akan kembali menjadi model analitik untuk pengendalian persediaan yang mengoptimalkan jumlah persediaan.

Jumlah permintaan dapat merupakan data yang diketahui pasti atau merupakan data probabilistik. Jika data permintaan merupakan data probabilistik, maka dibutuhkan uji distribusi statistik dan data permintaan merupakan ekspektasi permintaan. Dalam penerapan model tidak ada ketentuan pasti data permintaan harus probabilistik dan untuk mengantisipasinya digunakan nilai ekspektasi total permintaan. Model dapat digunakan untuk fasilitas yang berinteraksi hanya di eselon paling bawah (atau yang berinteraksi langsung dengan permintaan konsumen), sedangkan untuk fasilitas di tengah atau paling atas (lebih dari 2 eselon) harus dilakukan penyesuaian lagi dalam hal penentuan jumlah permintaannya.

5. KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan model sistem pengendalian persediaan multi eselon dengan mempertimbangkan interaksi diantara fasilitas pelayanan. Dalam proses pengembangan model persediaan untuk menentukan jumlah persediaan yang optimal pada persoalan multi eselon sangat tergantung pada jumlah eselon dan jumlah fasilitas yang bersangkutan. Model yang dihasilkan baru merupakan model awal, belum mengkhususkan kepada jenis item yang terlibat (kadaluarsa, struktur produk, kerusakan item), distribusi pola permintaan dan perlakuan item dalam fasilitas. Untuk kemajuan penelitian selanjutnya dapat dikembangkan model dengan mempertimbangkan faktor-faktor tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bahagia, Senator Nur (1999) Model Optimasi Integral Sistem Rantai Nilai 3 Eselon, *Proceedings Seminar Sistem Produksi IV*, Bandung.
- [2] Clark, A., Scarf, H (1960) Optimal Policies for a Multi-Echelon Inventory Problem, *Management Science*, Vol. 6, p. 457-490.
- [3] Dharmayantie, Irma (1998) *Usulan Pengalokasian Suku Cadang Pada Bagian Pemeliharaan dengan Pendekatan Model Pengendalian Persediaan Dua Level Gudang*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik dan Manajemen Industri, Institut Teknologi Nasional, Bandung
- [4] Eynan, Amit (1999) The Multi-location Inventory Centralization Problem With Firstcome, First-served Allocation, *European Journal of Operational Research*, Vol. 101, p. 38 – 49.
- [5] Hadley, G., dan T.M. Whitin (1963) *Analysis of Inventory Systems*, Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, New York.
- [6] Hoadley, Bruce dan Daniel P. Heyman (1986) A Two Echelon Inventory Model With Purchases, Disposition, Shipments, Returns and Transhipments, *Naval Research Logistics Quarterly*, Vol. 33, 17-38.

Model Sistem Pengendalian Persediaan Multi Eselon dengan Mempertimbangkan Interaksi Diantara Fasilitas Pelayanan

- [7] Schuster, Dawn Barnes dan Yehuda Bassok (1997) Direct Shipping and The Dynamic Single-depot / Multi-retailer Inventory System, *European Journal of Operational Research*, Vol. 101, p. 509 - 518.