

JISTech

(Journal of Islamic Science and Technology)



Diterbitkan Oleh :
Fakultas Sains Dan Teknologi
UIN Sumatera Utara Medan

PEMODELAN PERENCANAAN TERINTEGRASI UNTUK RANTAI SUPLAI DAN STOK PENGAMAN MULTI ESELON

**Irwitadia Hasibuan¹, Opim Salim Sitompul²,
Maya Silvi Lidya³**

^{1,2,3} Universitas Sumatera Utara, Medan, Indonesia

E-mail: irwitadiahasibuanmedan@gmail.com

Abstrak: Dunia bisnis memiliki persaingan kuat dari tahun ke tahun. Hal ini dikarenakan berbagai perubahan dan ketidakpastian meliputi persaingan tersebut. Sebagian besar perubahan-perubahan atau ketidakpastian dalam dunia bisnis dikarenakan kenaikan daya tawar konsumen dalam praktik bisnis. Konsumen memiliki kekuasaan yang tinggi dalam menentukan permintaannya yang harus dipenuhi oleh pelaku bisnis. Perubahan-perubahan atau ketidakpastian menjadi salah satu faktor utama yang tidak dapat diantisipasi ketika dunia bisnis memiliki persaingan yang semakin kuat dan penuh ketidakpastian. Ketidakpastian ini mengharuskan pelaku bisnis untuk merancang sebuah perencanaan yang tepat agar dapat meminimalkan biaya atau ongkos, terutama ongkos persediaan dengan permintaan konsumen tetap dipenuhi. Dalam perancangan tersebut, pelaku bisnis harus mampu mengoptimisasi rantai suplai. Dalam sistem industri, optimisasi rantai suplai dan responnya sangat dipengaruhi oleh stok pengaman. Stok pengaman dan jumlahnya merupakan masalah penting dalam rantai suplai yang harus diintegrasikan dengan optimalisasi rantai suplai untuk mengelola ketidakpastian permintaan dan untuk mempertahankan tingkat pelayanan pelanggan. Penelitian ini merancang model perencanaan terintegrasi dari rantai suplai dan stok pengaman multi eselon dalam menentukan lokasi dan jumlah stok pengaman di sebuah rantai suplai dengan konfigurasi umum dengan mempertimbangkan ketidakpastian dari permintaan konsumen atau yang berasal dari waktu produksi.

Kata Kunci: perencanaan rantai suplai, optimisasi stok pengaman multi eselon

Abstract: *Business environment has strong competition from year to year. This is because various changes and uncertainties fill the competition. Most of the changes or uncertainties in the business world are caused by the increasing of consumer bargaining power in business practices. Consumers have high power in determining their requests that must be fulfilled by business people. Changes or uncertainties are most of the main factors that cannot be anticipated when the business world has strong and uncertain competition. These uncertainties require business people to design an appropriate plan in order to minimize costs, especially inventory costs with consumer demand are still fulfilled. In that design*

plan, business people must be able to optimize the supply chain. In industrial systems, supply chain optimization and its response are strongly influenced by inventories. Inventories and its numbers are important issues in the supply chain that must be integrated with the optimization of the supply chain to manage demand uncertainty and to maintain customer service levels. This study designs an integrated planning model for supply chain and multi-echelon inventory in determining the location and the numbers of inventory in a supply chain with a general configuration with considering the uncertainty of consumer demand or all things coming from production time.

Keywords: *Supply Chain Planning, Multi Eselon Inventory Optimization*

Pendahuluan

Dunia bisnis memiliki persaingan kuat dari tahun ke tahun. Hal ini dikarenakan berbagai perubahan dan ketidakpastian meliputi persaingan tersebut. Sebagian besar perubahan-perubahan atau ketidakpastian dalam dunia bisnis dikarenakan kenaikan daya tawar konsumen dalam praktik bisnis. Konsumen memiliki kekuasaan yang tinggi dalam menentukan permintaannya yang harus dipenuhi oleh pelaku bisnis.

Perubahan-perubahan atau ketidakpastian menjadi salah satu faktor utama yang tidak dapat diantisipasi ketika dunia bisnis memiliki persaingan yang semakin kuat dan penuh ketidakpastian. Salah satu contoh ketidakpastian yang berasal dari konsumen adalah kedudukan konsumen semakin tinggi dan kuat dikarenakan semakin meningkatnya produk atau jasa yang sama ditawarkan oleh berbagai perusahaan. Ketidakpastian ini mengharuskan pelaku bisnis untuk merancang sebuah perencanaan yang tepat agar dapat meminimalkan biaya atau ongkos, terutama ongkos persediaan dengan permintaan konsumen tetap dipenuhi.

Graves and Willems (2000) dan Lesnaia *et al.* (2004) menunjukkan bahwa penentuan lokasi stok pengaman dan penentuan jumlahnya sangat penting dalam sebuah perencanaan. Perencanaan penetapan lokasi dan jumlah stok pengaman bisa disebut sebagai masalah penempatan stok pengaman (Amirjabbari and Bhuiyan, 2014). Graves and Willems (2000) dan Lesnaia *et al.* (2004) mengembangkan sebuah model optimasi non linear untuk memecahkan masalah penempatan stok pengaman pada

sebuah rantai suplai dengan konfigurasi umum dan dengan waktu produksi yang tetap. Model yang dikembangkan berupaya untuk menetapkan lokasi dan jumlah stok pengaman dengan mempertimbangkan jumlah permintaan konsumen yang tidak tetap atau berubah-ubah (*stochastic demand*). Kemudian model tersebut dikembangkan oleh Sitompul *et al.* (2008) dimana waktu produksi pada sebuah rantai suplai ditetapkan. Sitompul dan Suryadi (2011), serta Sitompul dan Hariandja (2011), mengembangkan model sebelumnya dengan mempertimbangkan waktu pengiriman yang tidak tetap atau berubah-ubah (*stochastic lead time*) karena adanya ketidakpastiaan pada waktu produksi seperti mesin produksi rusak dan pekerja yang tidak masuk kerja yang mengakibatkan waktu pengiriman tidak dapat ditetapkan atau dipastikan.

Rantai suplai adalah suatu aktivitas yang dimulai dari pengumpulan barang mentah yang akan diubah menjadi suatu produk yang memiliki nilai (*value*) sampai pada penyaluran produk tersebut ke pelanggan akhir (Crawford, 2008). Rantai suplai terdiri dari rincian seperti pekerja, mesin, inventaris, rute, lokasi, dan kapasitas. Rincian tersebut berbeda sesuai dengan tujuan dari model rantai suplai (Alfaify, 2014). Menurut Manzini and Bindi (2009), ada tiga tingkatan berbeda yang mewakili rantai suplai, yaitu tingkat strategis, tingkat taktis, dan tingkat operasional. Tingkat strategis membahas perencanaan dan pengaturan lamanya waktu dari rantai suplai. Desain rantai suplai, pemilihan pemasok, serta lokasi-lokasi industri dan pusat distribusi adalah contoh dari beberapa masalah yang harus ditangani pada tingkat strategis. Tingkat taktis membahas spesifikasi sumber daya industri, kebijakan dan kuantitas produksi, ukuran lot, dan jumlah stok. Pada tingkat operasional, topik yang diuraikan adalah tentang penjadwalan, pemilihan bagian dan alat, pemuatan mesin, pengorganisasian tempat kerja, dan proses pengurutan rute distribusi produk.

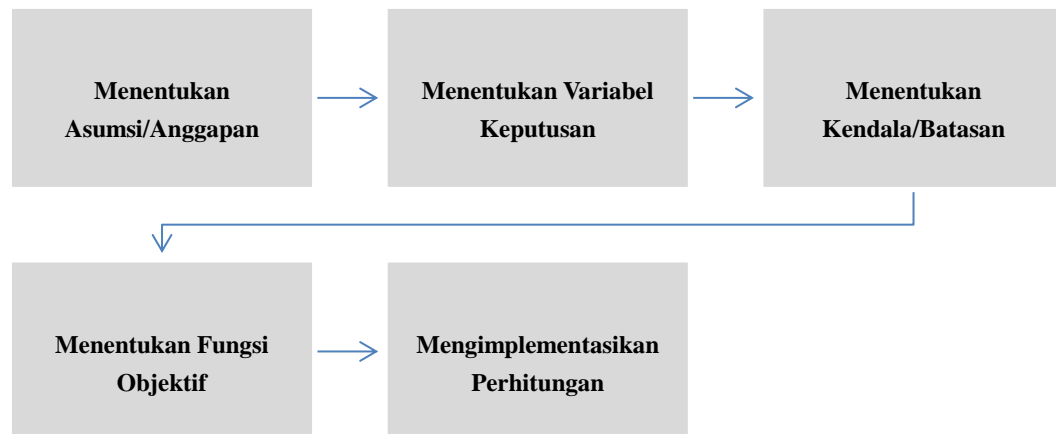
Dari beberapa tujuan perencanaan rantai suplai, tujuan yang paling utama adalah meminimalkan biaya pengiriman dan waktu pengiriman yang dapat mempengaruhi kepuasan pelanggan dan membantu perusahaan

menjadi kompetitif. Perencanaan rantai suplai adalah kunci utama di pasar global (Alfaify, 2014). Oleh karena itu, banyak penelitian telah dilakukan di bidang ini menggunakan alat optimasi. Banyak penelitian membahas semua tingkat perencanaan rantai suplai tetapi penelitian tersebut sering terpisah dari perencanaan tingkat lain dan sangat sedikit penelitian yang dilakukan dalam membahas integrasi masalah perencanaan rantai suplai dan stok pengaman.

Dalam sistem industri, optimisasi rantai suplai dan responnya sangat dipengaruhi oleh stok pengaman. Stok pengaman dan jumlahnya merupakan masalah penting dalam rantai suplai yang harus diintegrasikan dengan optimalisasi rantai suplai untuk mengelola ketidakpastian permintaan dan untuk mempertahankan tingkat pelayanan pelanggan (Alfaify, 2014). Penelitian ini merancang model perencanaan terintegrasi untuk rantai suplai dan stok pengaman multi eselon dalam menentukan lokasi dan jumlah stok pengaman di sebuah rantai suplai dengan konfigurasi umum dengan mempertimbangkan ketidakpastian dari permintaan konsumen dan ketidakpastian yang berasal dari waktu produksi (biaya pengiriman dan waktu pengiriman).

Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian dalam menyelesaikan masalah yang dilakukan dalam penelitian ini terdiri dari lima tahap. Tahapan-tahapan tersebut, yaitu menentukan asumsi/anggapan, menentukan variabel keputusan, menentukan kendala/batasan, menentukan fungsi objektif, dan mengimplementasikan perhitungan. Tahapan- tahapan yang telah disebutkan di atas dapat dilihat seperti pada gambar 1



Gambar 1 Tahapan Metodologi Penelitian

Menentukan Asumsi/Anggapan

Untuk membangun suatu model dari permasalahan dibutuhkan beberapa asumsi. Asumsi yang berlaku dalam permasalahan ini berkaitan dengan hal distribusi beberapa produk P dari pemasok S ke lokasi industri I, kemudian distribusi produk P dari lokasi industri I ke pusat distribusi D. Asumsi yang diidentifikasi merupakan pra kondisi yang telah dilakukan sebelum melakukan perhitungan. Adapun asumsi yang dapat menyederhanakan masalah dalam penelitian ini adalah:

- a) Para pemasok bersesuaian dengan permintaan deterministik di lokasi industri I.
- b) Armada dari kendaraan-kendaraan adalah homogen yakni mempunyai kapasitas yang sama.
- c) Situasi *out of stock* tidak pernah terjadi
- d) Rute hanya dipandang dari lokasi industri ke pusat distribusi.
- e) Biaya penyimpanan stok pada lokasi industri adalah sama untuk semua kandidat lokasi industri.
- f) Tingkat stok pemasok dibatasi oleh kendala, yaitu kapasitas fisik dari pemasok.

Menentukan Variabel Keputusan

Variabel keputusan yang berlaku secara matematis dalam penelitian ini adalah variabel biner yang mewakili diproduksi atau tidaknya jenis produk p di lokasi industri i pada periode waktu w . Seluruh jenis variabel keputusan akan diidentifikasi dalam bentuk integer.

Masalah integer 0-1 berkaitan pada situasi di mana variabel keputusannya adalah ya atau tidak. Penelitian ini mencari keputusan optimal diproduksi atau tidaknya jenis produk p di lokasi industri i pada periode waktu w . Sehingga variabel keputusan dalam formulasi integer linear programming ini yaitu X_{piw}

$$X_{piw} = \begin{cases} 1, & \text{jika jenis produk } p \text{ diproduksi di lokasi industri } i \text{ pada} \\ & \text{periode waktu } w \\ 0, & \text{lainnya} \end{cases}$$

Menentukan Kendala/Batasan

Kendala/batasan masalah dalam permasalahan ini berkaitan dengan pengiriman produk. Dalam memenuhi permintaan produk di setiap pusat distribusi, seharusnya tidak melanggar batasan-batasan atau kendala-kendala. Adapun kendala-kendala/batasan-batasan dalam permasalahan ini adalah:

1. Kapasitas Produksi
2. Keseimbangan Material
3. Batas Persediaan
4. Optimisasi Stok Pengaman
5. Ketersediaan Waktu
6. Kapasitas Penyimpanan
7. Kendala Lain: Pengubahan Komponen Menjadi Produk

Menentukan Fungsi Objektif

Tahapan ini adalah tahapan menentukan fungsi objektif dalam bentuk matematis dengan menggabungkan semua kendala/batasan yang ada. Fungsi objektif yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah

meminimalkan biaya pengiriman dan waktu pengiriman (*lead time*) jenis produk p dari lokasi industri i ke pusat distribusi d .

Mengimplementasikan Penghitungan

Tahapan terakhir adalah mengimplementasikan perhitungan setelah semua tahap dan komponen sebelumnya telah ditentukan dan dimodelkan dengan matematis dengan menggunakan *Integer Linear Programming* (ILP). Pengimplementasian ini menghasilkan model perencanaan terintegrasi untuk rantai suplai dan stok pengaman multi eselon.

Hasil dan Pembahasan

a. Kapasitas Produksi

Jika jenis produk p direncanakan untuk diproduksi di lokasi industri i , maka $X_{pi} = 1$, jika tidak $X_{pi} = 0$. Jumlah produksi dalam periode ini $T3_{piw}$ seharusnya tidak melebihi kapasitas produksi $G2_{pi}$ dan tidak kurang dari $G1_{pi}$, yaitu

$$G1_{pi}X_{piw} \leq T3_{piw} \leq G2_{pi}X_{piw} , \quad \forall p \in P_i, i, w \quad (2.1)$$

Jumlah komponen yang disediakan oleh pemasok tidak dibatasi sehingga lokasi industri dapat memiliki jumlah komponen yang dibutuhkan tanpa batasan.

b. Keseimbangan Material

Kendala keseimbangan material menghubungkan tingkat rantai suplai yang berbeda. Kendala ini juga adalah hubungan antara periode waktu. Misalnya, kendala (2.2) menyatakan bahwa persediaan produk jenis p pada akhir periode taktis w di pusat distribusi d sama dengan jumlah persediaan dari periode waktu sebelumnya, ditambah jumlah semua jenis produk p yang dikirimkan dari lokasi industri i dalam periode waktu saat ini dan permintaan yang tidak terpenuhi dalam periode w saat ini, dikurangi permintaan yang dipenuhi dalam periode w dan permintaan yang tidak terpenuhi dari periode waktu $w - 1$ sebelumnya. Karena penumpukan permintaan (*backlogging*) diperbolehkan, istilah permintaan yang tidak

terpenuhi ditambahkan ke persamaan keseimbangan material di pusat distribusi. Oleh karena itu, persamaan yang memenuhi adalah persamaan (4.13) berikut:

$$AB2_{pdw} - X_{pdw} = AB2_{pdw-1} + \sum_{i \in I_d} T4_{pidw} - E_{pdw} \quad \forall p \in P_i, i, d \in d_i, w \quad (2.2)$$

Berikut ini, kendala (2.3) dan (2.4) mewakili keseimbangan material di masing-masing lokasi industri dan pemasok. Kendala (2.3) menunjukkan bahwa jumlah persediaan pada akhir periode waktu sama dengan jumlah persediaan dari periode waktu sebelumnya ditambah jumlah jenis produk p yang diproduksi pada waktu w di lokasi industri i dikurangi jumlah produk yang dikirim ke semua pusat distribusi d 's. Demikian pula, kendala (2.4) menunjukkan bahwa jumlah persediaan komponen jenis k pada pemasok s pada waktu w sama dengan kuantitas komponen dari waktu $w - 1$ sebelumnya ditambah jumlah komponen yang diproduksi dalam waktu w dikurangi jumlah total komponen yang dikirim ke semua lokasi industri i 's.

$$AB3_{piw} = AB3_{pi(w-1)} + T3_{piw} - \sum_{d \in d_i} T4_{pidw} \quad \forall p \in P_i, i, d \in d_i, w \quad (2.3)$$

$$AB1_{ksw} = AB1_{ks(w-1)} + T1_{ksw} - \sum_{i \in I_s} T2_{ksiw} \quad \forall k \in K_s, s, i \in I_s, w \quad (2.4)$$

c. Batas Persediaan

Jumlah persediaan komponen k pada pemasok s dan produk p di lokasi industri i atau pusat distribusi d pada selang waktu tertentu dibatasi. Batas bawah sama dengan jumlah stok pengaman yang harus dimiliki pada selang waktu tertentu sementara batas atas sama dengan permintaan rata-rata dikalikan dengan total waktu pengiriman ditambah persediaan pengaman. Kendala (2.5) dan (2.6), kendala (2.7) dan (2.8), dan kendala (2.9) dan (2.10) menetapkan batas bawah dan batas atas dari jumlah persediaan di masing-masing pusat distribusi, lokasi industri, dan pemasok.

$$AB2_{pdw} \geq R2_{pd} \quad \forall p \in P_d, d, w \quad (2.5)$$

$$AB2_{pdw} \leq \mu D_{pd} V2_{pd} + R2_{pd} \quad \forall p \in P_d, d, w \quad (2.6)$$

$$AB3_{piw} \geq R1_{pi} \quad \forall p \in P_i, i, w \quad (2.7)$$

$$AB3_{piw} \leq \mu I_{pi} V1_{pi} + R1_{pi} \quad \forall p \in P_i, i, w \quad (2.8)$$

$$AB1_{ksw} \geq R3_{ks} \quad \forall k \in K_s, s, w \quad (2.9)$$

$$AB1_{ksw} \leq \mu S_{ks} V3_{ks} + R3_{ks} \quad \forall k \in K_s, s, w \quad (2.10)$$

d. Optimasi Stok Pengaman

Stok pengaman dihitung sesuai dengan kumpulan faktor pengaman yang ditetapkan oleh manajemen, standar deviasi dari permintaan di suatu lokasi, dan waktu pengiriman. Faktor ini semua dioptimalkan menggunakan pendekatan guaranteed-service. Kendala (2.11) - (2.21) digunakan untuk mengoptimalkan stok pengaman di semua anggota rantai suplai secara bersamaan. Di sini, waktu jaminan pelayanan produk atau komponen untuk berada di pusat distribusi atau lokasi industri, $Q2_{pd}$ dan $Q1_{pi}$, sama dengan waktu maksimum yang diperlukan anggota bagian hulu (*upstream*) ditambah waktu transportasi. Sebagai contoh, jika produk p memerlukan tiga komponen k_1 , k_2 , dan k_3 , maka lokasi industri i tidak dapat mulai menghasilkan produk p sampai komponen terakhir tiba. Kendala-kendala ini ditulis sebagai

$$R2_{pd} = \lambda D_{pd} \sigma D_{pd} \sqrt{V2_{pd}} \quad (2.11)$$

$$V2_{pd} = Q2_{pd} + M_{pd} - J2_{pd} \quad (2.12)$$

$$0 \leq J2_{pd} \leq Q2_{pd} + M_{pd} \quad (2.13)$$

$$Q2_{pd} = \max\{Q3_{pi} + N1_{id}\} \quad (2.14)$$

$$R1_{pi} = \lambda I_{pi} \sigma I_{pi} \sqrt{V1_{pi}} \quad (2.15)$$

$$V1_{pi} = Q1_{pi} + L2_{pi} - Q3_{pi} \quad (2.16)$$

$$0 \leq Q3_{pid} \leq Q1_{pi} + L2_{pi} \quad (2.17)$$

$$Q1_{pi} = \max\{Q4_{kspi} + N2_{si}\} \quad (2.18)$$

$$R3_{ks} = \lambda S_{ks} \sigma S_{ks} \sqrt{V3_{ks}} \quad (2.19)$$

$$V3_{ks} = J1_{ks} + L1_{ks} - Q4_{kspi} \quad (2.20)$$

$$0 \leq Q4_{kspi} \leq J1_{ks} + L1_{ks} \quad (2.21)$$

Namun, permintaan internal rata-rata antara pusat distribusi dan lokasi industri, dan lokasi industri dan pemasok, dihitung sesuai dengan permintaan eksternal yang ditempatkan pelanggan di pusat distribusi. Jika permintaan untuk produk p di pusat distribusi d memiliki rata-rata sama

dengan μD_{pd} dan varians dari σD_{pd}^2 , maka rata-rata dan standar deviasi di lokasi industri dan pemasok bisa dihitung sebagai berikut:

$$\mu I_{pi} = \sum_d \mu D_{pd} \tag{2.22}$$

$$\sigma I_{pi} = \sqrt{\sum_d (\sigma D_{pd})^2} \tag{2.23}$$

$$\mu S_{ks} = \sum_p \sum_i \mu I_{pi} \rho_{kp} \tag{2.24}$$

$$\sigma S_{ks} = \sqrt{\sum_p \sum_i \sum_i (\sigma I_{pi} \rho_{kp})^2} \tag{2.25}$$

dimana ρ_{kp} adalah jumlah komponen k yang diperlukan untuk produk p .

Model menjadi lebih kompleks dan duplikasi bisa terjadi karena, jika diperlukan, lebih dari satu pemasok dapat menyediakan bahan ke lokasi industri yang sama atau berbeda secara bersamaan, dan beberapa lokasi industri dapat melayani beberapa pusat distribusi pada saat yang sama. Untuk menghindari duplikasi dalam perhitungan batas persediaan dan stok pengaman di pemasok, lokasi industri, dan pusat distribusi, fraksi-fraksi terkait diperkenalkan untuk mengoptimalkan jumlah bahan yang harus dimiliki setiap mitra rantai suplai. Fraksi-fraksi ini dapat digunakan sebagai parameter ketika mereka dikenal untuk mengevaluasi perencanaan rantai suplai, atau mereka dapat digunakan sebagai variabel untuk pengoptimalan. Menurut nilai-nilai fraksi ini (yaitu $Y1_{pi}$ dan $Y2_{ks}$), nilai rata-rata dan nilai standar deviasi pada setiap tingkat rantai suplai harus dihitung kembali. Berikut ini, persamaan (2.26) dan (2.27) digunakan untuk menghitung rata-rata dan standar deviasi dari permintaan di masing-masing pusat distribusi, persamaan (2.28) sampai (2.31) disediakan untuk menghitung nilai rata-rata dan nilai standar deviasi di lokasi industri dan pemasok sesuai dengan nilai rata-rata dan standar deviasi di pusat distribusi.

$$\mu D_{pd} = \frac{\sum_w E_{pdw}}{W} \text{ ,dimana } W \text{ adalah jumlah periode waktu} \tag{2.26}$$

$$\sigma D_{pd} = \sqrt{\frac{\sum_w (E_{pdw} - \mu D_{pd})^2}{W}} \tag{2.27}$$

$$\mu I_{pi} = \sum_d \mu D_{pd} Y1_{pi} \tag{2.28}$$

$$\sigma I_{pi} = \sqrt{\sum_d (\sigma D_{pd} Y1_{pi})^2} \quad (2.29)$$

$$\mu S_{ks} = \sum_p \sum_i \mu I_{pi} Y2_{ks} \rho_{kp} \quad (2.30)$$

$$\sigma S_{ks} = \sqrt{\sum_p \sum_i (\sigma I_{pi} Y2_{ks} \rho_{kp})^2} \quad (2.31)$$

Kendala (2.32) dan (2.33), memastikan bahwa nilai-nilai fraksi dari pemasok dan lokasi industri potensial sama dengan 1, yang berarti jumlah relatif dari komponen atau produk pada pemasok atau lokasi industri adalah sama dengan jumlah yang dibutuhkan oleh pusat distribusi.

$$\sum Y1_{pi} = 1 \quad (2.32)$$

$$\sum Y2_{ks} = 1 \quad (2.33)$$

e. Ketersediaan Waktu (Kapasitas Produksi)

Kapasitas produksi dan ketersediaan di lokasi industri dan pemasok dikendalikan oleh kendala (2.34) - (2.37), yang menyatakan bahwa jumlah produksi pada setiap periode waktu tidak boleh melebihi waktu yang tersedia pada periode waktu tersebut. Jumlah satuan waktu yang tersedia pada setiap periode taktis diwakili oleh parameter B_w . B_w bisa sama atau berbeda dari satu periode taktis ke yang lain dan dapat dianggap sebagai panjang periode waktu taktis w . Selain itu, lembur adalah kapasitas lain untuk produksi pada periode waktu w , yang dapat digunakan bila diperlukan, tetapi tidak boleh melebihi jumlah waktu tertentu, seperti yang ditentukan oleh kendala (2.36) sampai (2.37)

$$\sum_{p \in P_i} L2_{pi} T3_{pi} \leq C1_i B_w + U1_{iw} \quad \forall p \in P_i, i, w \quad (2.34)$$

$$\sum_{k \in K_s} L1_{ks} T1_{ksw} \leq C2_s B_w + U2_{sw} \quad \forall k \in K_s, S, w \quad (2.35)$$

$$U1_{iw} \leq H1_i B_w \quad \forall i, w \quad (2.36)$$

$$U2_{sw} \leq H2_s B_w \quad \forall S, w \quad (2.37)$$

f. Kapasitas Penyimpanan

Setiap anggota rantai suplai memiliki ruang penyimpanan yang terbatas. Kendala (2.38) hingga (2.40) mewakili batas maksimum fasilitas

penyimpanan di masing-masing pusat distribusi, lokasi industri, dan pemasok.

$$\sum_{p \in P_d} \infty_p AB2_{pdw} \leq F2_d \quad \forall d, w \quad (2.38)$$

$$\sum_{p \in P_i} \infty_p AB3_{piw} \leq F1_i \quad \forall p \in P_i, i, w \quad (2.39)$$

$$\sum_{k \in K_s} \beta_k AB1_{ksw} \leq F3_s \quad \forall s, w \quad (2.40)$$

g. Kendala Lain

Pengubahan komponen menjadi produk dinyatakan menjadi oleh

$$\sum_{j \in J_s} XSS_{csjt} = \sum_{i \in I_j} \rho_{ci} XP_{ijt} \quad \forall c \in C, s, j \in J_s, t \quad (2.41)$$

Menurut hubungan antara produk dan komponen ini, perencana harus menginformasikan pemasok tentang jumlah komponen yang diperlukan pada setiap periode waktu.

Akhirnya, semua kendala tidak negatif, yaitu,

$$\text{semua variabel tidak negatif} \quad (2.42)$$

h. Fungsi Objektif

Model ini memiliki dua fungsi objektif: minimalisasi total biaya (2.43) dan minimalisasi waktu pengiriman (2.50). Total biaya termasuk biaya produksi pada pemasok dan lokasi industri (BP), biaya persediaan di semua tingkatan (BS), biaya backlog (B), biaya transportasi antar tingkat (BT), dan biaya lembur (BL). Biaya-biaya ini disajikan oleh masing-masing persamaan (2.44) ke (2.48).

$$\begin{aligned} \min Z_1 = & \sum_w \sum_i \sum_{p \in P_i} A4_{pi} T3_{piw} + \sum_w \sum_s \sum_{k \in K_s} A3_{ks} T1_{ksw} + \\ & \sum_w \sum_i \sum_{p \in P_i} A6_{pi} B_w AB3_{piw} + \sum_w \sum_d \sum_{p \in P_d} A5_{pd} B_w AB2_{pdw} + \\ & \sum_w \sum_s \sum_{k \in K_s} A7_{ks} B_w AB1_{ksw} + \sum_w \sum_d \sum_{p \in P_d} A10_{pd} X_{pdw} + \\ & \sum_w \sum_s \sum_{i \in I_s} \sum_{k \in K_s} A9_{ksi} T2_{ksiw} + \sum_w \sum_i \sum_{d \in D_i} \sum_{p \in P_i} A8_{pid} T4_{pidw} + \\ & \sum_w \sum_s A2_s U2_{sw} + \sum_w \sum_i A1_i U1_{iw} \end{aligned} \quad (2.43)$$

dimana

$$BP = \sum_w \sum_i \sum_{p \in P_i} A4_{pi} T3_{piw} + \sum_w \sum_s \sum_{k \in K_s} A3_{ks} T1_{ksw} \quad (2.44)$$

$$BS = \sum_w \sum_i \sum_{p \in P_i} A6_{pi} B_w AB3_{piw} + \sum_w \sum_d \sum_{p \in P_d} A5_{pd} B_w AB2_{pdw} + \sum_w \sum_s \sum_{k \in K_s} A7_{ks} B_w AB1_{ksw} \quad (2.45)$$

$$BB = \sum_w \sum_d \sum_{p \in P_d} A10_{pd} X_{pdw} \quad (2.46)$$

$$BT = \sum_w \sum_s \sum_{i \in I_s} \sum_{k \in K_s} A9_{ksi} T2_{ksiw} + \sum_w \sum_i \sum_{d \in D_i} \sum_{p \in P_i} A8_{pid} T4_{pidw} \quad (2.47)$$

$$BL = \sum_w \sum_s A2_s U2_{sw} + \sum_w \sum_i A1_i U1_{iw} \quad (2.48)$$

Fungsi tujuan kedua, (2.49), membahas tentang waktu yang dibutuhkan pada setiap tingkat sampai produk tersedia di pusat distribusi. Empat variabel dalam fungsi objektif waktu: TKS, yang merupakan total waktu yang dibutuhkan untuk semua komponen di semua pemasok sampai komponen tersebut dikirim ke lokasi industri; TPI, total waktu yang diperlukan untuk semua jenis produk di semua lokasi industri sampai produk tersebut dikirim ke pusat distribusi; TPD, total waktu yang diperlukan untuk semua produk di semua pusat distribusi sampai semua produk tersebut sampai ke pelanggan; dan UD, total waktu yang diperlukan untuk permintaan yang tidak terpenuhi. Keempat biaya ini komponen dinyatakan dengan masing-masing persamaan (2.50) hingga (2.53).

$$Z_2 = \sum_w \sum_s \sum_{k \in K_s} (V3_{ks} + L1_{ks} (T1_{ksw} - 1)) + \sum_w \sum_i \sum_{p \in P_i} (V1_{pi} + L2_{pi} (T3_{piw} - 1)) + \sum_w \sum_d \sum_{p \in P_d} (V2_{pd} + L2_{pi} (E_{pdw} - X_{pdw})) + \sum_w \sum_d \sum_{p \in P_d} O_{pd} X_{pdw} \quad (2.49)$$

dimana:

$$TKS = \sum_w \sum_s \sum_{k \in K_s} (V3_{ks} + L1_{ks} (T1_{ksw} - 1)) \quad (2.50)$$

$$TPI = \sum_w \sum_i \sum_{p \in P_i} (V1_{pi} + L2_{pi} (T3_{piw} - 1)) \quad (2.51)$$

$$TPD = \sum_w \sum_d \sum_{p \in P_d} (V2_{pd} + L2_{pi} (E_{pdw} - X_{pdw})) \quad (2.52)$$

$$UD = \sum_w \sum_d \sum_{p \in P_d} O_{pd} X_{pdw} \quad (2.53)$$

Kesimpulan

- a. Model stok pengaman telah diformulasikan untuk struktur jaringan rantai suplai multi eselon dengan konfigurasi umum.
- b. Model integrasi untuk perencanaan rantai suplai dan optimasi stok pengaman dalam sistem industri multi eselon telah dimodelkan. Dua tujuan yang dipertimbangkan, yaitu, biaya pengiriman dan waktu pengiriman.

Daftar Pustaka

- A. Y. M. Alfaify, "Integrated Modelling for Supply Chain Planning and Multi-Echelon Safety Stock Optimization in Manufacturing Systems", Master Thesis, University of Ottawa, 2014.
- B. Amirjabbari and N. Bhuiyan, "Determining Supply Chain Safety Stock Level and Location", *Journal of Industrial Engineering and Management*, 2014, Volume 1, 42-71.
- C. Sitompul dan D Suryadi, "Perencanaan Rantai Pasok Di Level Strategis", *Laporan Penelitian LPPM Universitas Katolik Parahyangan*, Bandung, Indonesia, 2011.
- C. Sitompul dan J. Hariandja, "Evaluasi Metode Optimasi Tangguh untuk Perencanaan Rantai Pasok", *Laporan Penelitian LPPM Universitas Katolik Parahyangan, Bandung, Indonesia*, 2011.
- C. Sitompul et al, "Safety Stock Placement Problems In Capacitated Supply Chains", *International Journal Of Production Research*, 2008, Volume 46, 4709-4727.
- J. Crawford, "Lessons Learned Delivering Optimized Supply-Chain Planning to the Bussiness World". *Article of AI Magazine*, 2008, Volume 29 No 2.
- S. C. Graves and , S. P. Willems, "Optimizing Strategic Safety Stock Placement In Supply Chains", *Manufacturing and Service Operations Management*, 2000, Volume 2, Issue 1, 68-83.
- R. Manzini and F. Bindi, "Strategic Design And Operational Management Optimization Of A Multi Stage Physical Distribution System", *Transportation Research*, 2009, Part E 45, 915-936.