

LAPORAN PENELITIAN

Perencanaan Rantai Pasok di Level Strategis Studi Kasus: PT. X di Bandung

oleh

Carles Sitompul

Dedy Suryadi

Jurusan Teknik Industri

Jl. Ciumbuleuit 94, Bandung 40141 Indonesia



Fakultas Teknologi Industri
Universitas Katolik Parahyangan
Februari 2011

Rangkuman

Perencanaan strategis mencakup tujuan jangka panjang dan seringkali melibatkan investasi yang sangat besar. Oleh karena itu, suatu perencanaan yang baik diperlukan agar tujuan rantai pasok tercapai untuk memenuhi kebutuhan pelanggan dan juga untuk meraih keuntungan bagi seluruh rantai pasok. Secara alami, ketidakpastian adalah hal yang tidak dapat dihindarkan terutama sekarang ini ketika lingkungan bisnis semakin kompetitif dan penuh perubahan. Untuk menghadapi ketidakpastian ini, pelaku bisnis dan perencana rantai pasok harus memiliki suatu alat atau strategi agar rencana strategis perusahaan menjadi handal. Satu rencana disebut tangguh (*robust*) apabila mampu menghadapi ketidakpastian, yaitu tetap berperformansi stabil meskipun beberapa parameter perencanaan berubah-ubah.

Penelitian ini membahas integrasi transportasi dan produksi dalam rantai pasok di level strategis sehingga rencana yang dihasilkan menjadi tangguh menghadapi beberapa perubahan pada parameter perencanaan. Suatu formulasi dan model optimasi diusulkan untuk menangani permasalahan yang timbul akibat ketidakpastian permintaan dan ketidakpastian jalur transportasi.

Daftar Isi

1	Pendahuluan	1
1.1	Latar belakang	1
1.2	Tujuan khusus	1
1.3	Keutamaan penelitian	2
1.4	Sistematika penulisan	2
2	Studi Pustaka	3
2.1	Definisi rantai pasok	3
2.2	Permasalahan strategis	4
2.3	Ketidakpastian	4
2.4	Performansi rencana	4
2.5	Optimasi handal	4
3	Metode Penelitian	7
3.1	Langkah-langkah penelitian	7
3.2	Deskripsi masalah	8
3.3	Model matematis	9
3.3.1	Model matematis: masalah lead time deterministik	10
3.3.2	Model matematis: masalah lead time stokastik	11
4	Metode Penyelesaian dan Analisis Perhitungan	13
4.1	Kasus sederhana di Jawa Barat	14
4.2	Data hipotesis dan perhitungan	15
5	Kesimpulan dan Saran	17
5.1	Kesimpulan	17
5.2	Saran	18

Bab 1

Pendahuluan

Bagian ini memuat latar belakang penelitian, tujuan khusus penelitian serta keutamaan penelitian.

1.1 Latar belakang

Ketika lingkungan bisnis semakin kompetitif dan penuh perubahan, ketidakpastian menjadi satu hal yang tidak dapat dihindarkan. Ketidakpastian yang berasal dari permintaan konsumen, misalnya, berasal dari semakin kuatnya posisi konsumen karena banyaknya pilihan perusahaan yang menawarkan produk atau jasa yang sama. Pelaku bisnis dan manajer produksi harus menghadapi ketidakpastian ini dengan baik sehingga ongkos (terutama ongkos persediaan) menjadi minimal dengan tetap memenuhi permintaan konsumen tersebut.

Secara alami, keputusan-keputusan strategis sangat mempengaruhi performansi satu perusahaan. Keputusan-keputusan ini seringkali melibatkan jumlah investasi dan sumber daya yang sangat besar. Permasalahan-permasalahan yang biasanya diselesaikan di level strategis ini adalah sebagai berikut: pemilihan supplier (Vidal dan Goetschalckx, 2000; Wang et al., 2005; Wu dan Olson, 2008), perancangan jaringan rantai pasok (Chen, et al., 2007; You dan Grossmann, 2008), perencanaan kapasitas (Laguna, 1998; Aghezzaf, 2005; Li, et al., 2008), dan penempatan persediaan pengaman (Graves dan Willems, 2000; Lesnaia et al., 2004, Sitompul, et al., 2008).

Seperti disebutkan sebelumnya, permasalahan-permasalahan di level strategis memiliki jenis masalah yang berbeda dan perlu penanganan yang berbeda pula. Sayangnya permasalahan-permasalahan tersebut ditangani secara independen sehingga hasil optimal di satu masalah belum tentu memberikan hasil optimal di masalah yang lain.

1.2 Tujuan khusus

Secara khusus, penelitian ini diarahkan pada pengembangan formulasi atau model matematis yang menangani masalah transportasi dan produksi dalam rantai pasok

secara bersamaan dan terintegrasi. Di berbagai pustaka, penempatan persediaan pengaman dalam rantai pasok belum memperhatikan kendala lead time produksi. Jika pada satu perusahaan (*arc*) di rantai pasok tidak dapat berfungsi (misal karena ada bencana alam, kecelakaan dan sebagainya) maka rencana yang sebelumnya dibuat tetap dapat memenuhi kebutuhan konsumen. Dengan demikian, rencana yang melibatkan lead time produksi stokastik dalam rantai pasok disebut sebagai rencana yang handal. Perlu diingatkan juga bahwa permintaan konsumen berubah-ubah, sehingga rencana yang dibuat harus mampu menangani ketidakpastian yang berasal dari konsumen dan yang berasal dari jaringan rantai pasok, selain karena waktu produksinya yang tidak pasti.

1.3 Keutamaan penelitian

Urgensi dan keutamaan penelitian ini terletak pada dua aspek yang akan dibahas, yaitu: aspek integrasi dan aspek kehandalan rencana. Aspek integrasi membahas penyatuan permasalahan-permasalahan penting dalam rantai pasok meliputi perencanaan produksi dan persediaan di level strategis. Aspek kehandalan membahas perencanaan yang menangani masalah yang ditimbulkan akibat ketidakpastian permintaan dan ketidakpastian pada waktu produksi di rantai pasok.

1.4 Sistematika penulisan

Bab 1 membahas latar belakang, tujuan dan keutamaan penelitian. Bab 2 memuat studi pustaka, termasuk didalamnya: definisi rantai pasok, permasalahan strategis pada rantai pasok, ketidakpastian dan optimasi handal. Bab 3 membahas metode penelitian, khususnya yang berkaitan dengan penelitian operasional, deskripsi masalah, serta formulasi model matematis deterministik dan stokastik. Bab 4 memuat analisis data hipotetikal untuk satu jaringan rantai pasok. Bab 5 berisi kesimpulan serta saran untuk penelitian lebih lanjut.

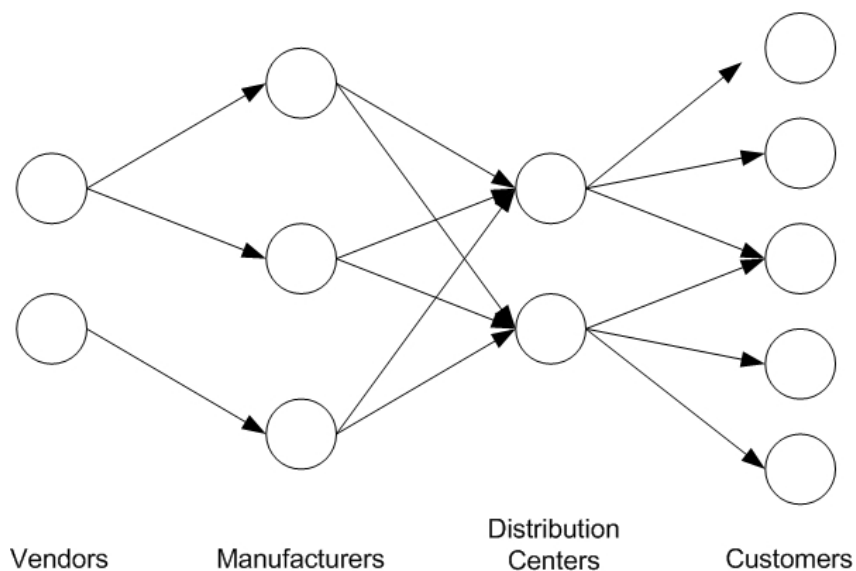
Bab 2

Studi Pustaka

Bagian ini membahas studi pustaka meliputi definisi rantai pasok, permasalahan strategis, ketidakpastian dan performansi rencana.

2.1 Definisi rantai pasok

Ada banyak sekali buku yang membahas topik tentang rantai pasok. Oleh karena itu, pembaca dirujuk kepada buku yang dikarang oleh Shapiro (2001) yang membahas secara luas topik pemodelan dalam rantai pasok. Sebuah rantai pasok terdiri atas berbagi fasilitas dimana bahan mentah, bahan setengah jadi dan produk akhir diambil, diubah, disimpan dan dijual serta jalur transportasi yang menghubungkan fasilitas-fasilitas tersebut. Satu rantai pasok seringkali digambarkan sebagai jaringan yang berisikan titik-titik (*nodes*) yang menunjuk pada fasilitas dan jalur-jalur (*arcs*) yang menghubungkan fasilitas-fasilitas tersebut. Satu jaringan rantai pasok dapat digambarkan seperti pada Gambar 1.



Gambar 2.1: Jaringan Rantai Pasok (sumber: Sitompul, 2010)

2.2 Permasalahan strategis

Permasalahan strategis tentang perancangan jaringan rantai pasok telah dibahas oleh Chen, et al., 2007 dan You dan Grossmann, 2008. Istilah perancangan jaringan rantai pasok sering juga disebut sebagai perencanaan strategis rantai pasok (Melo, et al., 2009).

2.3 Ketidakpastian

Menurut Geary, et al. (2002), ketidakpastian dalam rantai pasok bersumber pada empat hal, yaitu: permintaan, pemasok, proses dan kontrol. Ketidakpastian permintaan adalah perbedaan informasi antara permintaan yang diantisipasi dan yang benar-benar diminta oleh pelanggan (permintaan aktual). Ketidakpastian pemasok berasal dari ketidakmampuan pemasok memenuhi spesifikasi permintaan baik dari sisi waktu maupun kualitas. Ketidakpastian proses bersumber dari sumber daya internal yang meliputi fasilitas atau mesin. Kerusakan mesin adalah salah satu contoh yang menyebabkan ketidakpastian proses ini. Ketidakpastian kontrol terjadi karena adanya aliran informasi serta transformasi informasi permintaan konsumen menjadi target produksi.

2.4 Performansi rencana

Secara garis besar, performansi suatu organisasi dapat dikategorikan menjadi dua bagian, yaitu: performansi finansial (keuntungan atau ongkos) dan performansi non finansial, seperti tingkat kepuasan, garansi waktu pemuasan, tingkat keterlambatan, dan sebagainya.

Dalam penelitian ini, jenis performansi yang dibahas adalah performansi finansial yaitu ongkos utamanya ongkos transportasi dan persediaan serta tingkat kepuasan konsumen. Tingkat kepuasan konsumen diukur dengan persentase terjadinya 'stok habis', yaitu kejadian dimana rantai pasok tidak dapat memenuhi permintaan pelanggan karena tidak adanya persediaan.

Ongkos persediaan yang tinggi dapat muncul karena sikap reaktif pengambil keputusan dalam menghadapi ketidakpastiaan. Jika pengambil keputusan ini selalu memenuhi keputusan konsumen maka persediaan yang disimpan sangat tinggi yang berakibat tingginya ongkos persediaan. Sebaliknya, jika persediaan tidak cukup maka tingkat kepuasan konsumen menjadi rendah karena sering terjadinya 'stok habis'. Penelitian ini berusaha untuk mencari satu rencana yang optimal yang memperhatikan kedua jenis performansi ini.

2.5 Optimasi handal

Istilah optimasi handal pertama kali digunakan oleh Mulvey, et al. (1995) untuk merujuk suatu metode optimasi pada permasalahan yang diwarnai ketidakpas-

tian. Optimasi handal berusaha untuk mencapai tujuan yang optimal serta solusi atau rencana yang handal. Suatu rencana disebut handal apabila rencana tersebut mampu mengantisipasi perubahan-perubahan pada parameter permasalahan.

Menurut Mulvey, et al. (1995), suatu solusi pada model optimasi disebut ‘solusi handal’ apabila solusi tersebut tetap ‘dekat’ dengan optimal untuk semua skenario. Suatu model disebut ‘model handal’ apabila model tersebut tetap ‘layak’ untuk semua skenario. Misalkan $x \in R$ menunjuk pada vektor variabel keputusan (variabel desain) yang tidak tergantung pada perubahan parameter dan $y \in R$ menunjuk pada variabel kontrol yang tergantung pada perubahan parameter. Nilai optimal variabel kontrol ini tergantung pada parameter yang berubah dan pada nilai optimal dari variabel desain. Permasalahan linear dapat diformulasikan sebagai berikut:

Minimasi

$$c^T x + d^T y,$$

dibatasi oleh

$$Ax = b,$$

$$Bx + Cy = e,$$

$$x, y \geq 0.$$

Misalkan $\Omega = 1, 2, \dots, S$ adalah himpunan skenario dan untuk setiap skenario $s \in \Omega$ ada realisasi koefisien pada pembatas kontrol, yaitu: d_s, B_s, C_s, e_s dengan probabilitas munculnya skenario s adalah p^s . Jika himpunan y_1, y_2, \dots, y_s untuk variabel kontrol untuk skenario s dimunculkan maka diperlukan juga himpunan z_1, z_2, \dots, z_s untuk variabel ‘error’. Variabel ini digunakan untuk mengukur ketidaklayakan di pembatas kontrol menurut skenario s . Dengan demikian, model optimasi handal menurut Mulvey, et al. (1995) dapat diformulasikan sebagai berikut:

Minimasi

$$\sigma(x, y_1, \dots, y_s) + \omega \rho(z_1, z_2, \dots, z_s),$$

dibatasi oleh

$$Ax = b,$$

$$B_s x + C_s y_s + z_s = e_s, \forall s \in \Omega,$$

$$x \geq 0, y_s \geq 0, \forall s \in \Omega.$$

Dengan adanya banyak scenario, fungsi tujuan $\xi = c^T x + d^T y$ berubah menjadi variabel acak dengan nilai $\xi_s = c^T x + d_s^T y_s$ dengan probabilitas sebesar p^s . Menurut program linear stokastik, fungsi tujuan yang dipakai adalah nilai rata-rata $\sigma(\cdot) = \sum_{s \in \Omega} p^s \xi_s$. Menurut analisis kejadian terburuk, suatu model harus meminimasi nilai maximum yang didefinisikan sebagai berikut: $\sigma(\cdot) = \max_{s \in \Omega} p^s \xi_s$. Perencanaan yang handal harus juga mengendalikan resiko yang diukur oleh variansi dari fungsi tujuan. Dengan deminkian, fungsi tujuannya berubah menjadi

$\sigma(\cdot) = \sum_{s \in \Omega} p^s \xi_s + \lambda \sum_{s \in \Omega} p^s \left(\xi_s - \sum_{s' \in \Omega} p^{s'} \xi_{s'} \right)^2$, yang berarti nilai rata-rata ditambah sebuah konstanta dikalikan dengan variansi. Bagian kedua pada fungsi tujuan diatas adalah fungsi penalti untuk kelayakan yang digunakan pada beberapa kendala kontrol yang dilanggar pada beberapa skenario. Ada dua alternatif yang digunakan untuk fungsi penalti, yaitu: (1) $\rho(z_1, z_2, \dots, z_s) = \sum_{s \in \Omega} p^s z_s^T z_s$ yang mengukur baik nilai positif atau nilai negatif dari pelanggaran kendala kontrol dan (2) $\rho(z_1, z_2, \dots, z_s) = \sum_{s \in \Omega} \max \{0, z_s\}$ yang hanya mengukur nilai positif dari pelanggaran kendala kontrol. Dapat disimpulkan bahwa kerangka Mulvey menggunakan fungsi tujuan banyak, yaitu: (1) nilai rata-rata, (2) variasi dari fungsi tujuan dan (3) penalti karena pelanggaran kendala kontrol.

Bab 3

Metode Penelitian

Bab 3 akan membahas metode penelitian yang meliputi langkah-langkah penelitian dan model-model matematis yang dihasilkan. Langkah-langkah penelitian meliputi identifikasi masalah dan tujuan serta penentuan variabel-variabel keputusan. Setelah pendeskripsian permasalahan, formulasi matematis dibuat untuk kemudian diselesaikan secara analitik.

3.1 Langkah-langkah penelitian

Metode penelitian yang diajukan untuk menangani permasalahan perencanaan rantai pasok ini adalah metode penelitian operasional. Metode penelitian operasional adalah satu metode yang menggunakan metode-metode analitik (biasanya ilmu matematika) untuk membantu proses pengambilan keputusan agar keputusan-keputusan yang diambil menjadi lebih baik dan optimal. Metode penelitian operasional ini dilakukan dalam berbagai tahap, yaitu:

1. Identifikasi masalah dan penentuan tujuan. Masalah diidentifikasi dan didefinisikan dengan jelas pada tahap awal metode penelitian ini. Seperti disebutkan sebelumnya, masalah yang timbul akibat ketidakpastian permintaan dan ketidakpastian pada jalur transportasi adalah terganggunya rantai pasok dalam memenuhi kebutuhan konsumen. Selain itu, masalah juga dapat timbul yang berhubungan dengan ongkos karena sikap yang reaktif menghadapi ketidakpastian, misalnya dengan menyimpan persediaan dengan jumlah yang sangat besar.

Tujuan yang diharapkan dari penelitian ini adalah terbangunnya satu formulasi matematis yang sehingga permasalahan yang sudah diidentifikasi dapat diselesaikan secara analitik. Formulasi analitik memberikan satu hasil yang optimal dan memiliki sifat objektifitas yang tinggi.

2. Penentuan variabel keputusan. Tahap berikutnya dalam proses pengambilan keputusan secara analitik adalah penentuan variabel keputusan yang

berpengaruh secara eksplisit dan langsung terhadap performansi rantai pasok. Dalam perencanaan strategis rantai pasok, keputusan yang perlu diambil adalah sebagai berikut:

- Fasilitas mana saja yang perlu dibuka, seperti: pabrik, gudang, dan pusat distribusi.
- Jaringan mana saja yang perlu dibangun, yaitu jalur dari pabrik ke gudang, gudang ke pusat distribusi atau dari pabrik ke pusat distribusi.
- Berapa besar persediaan yang disimpan untuk menghadapi ketidakpastian permintaan

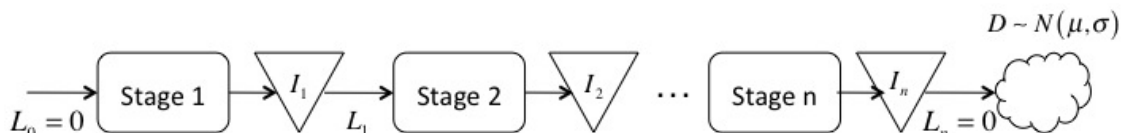
Pada penelitian ini, keputusan yang harus diambil berkaitan dengan jumlah stok pengaman atau persediaan yang perlu disimpan untuk mengatasi ketidakpastian yang bersumber bukan hanya dari permintaan tetapi juga dari lead time yang dipengaruhi oleh waktu produksi yang tidak tetap. Fasilitas serta jaringan yang akan diteliti telah ada, yaitu berbentuk distribusi yang kemudian dimodifikasi menjadi bentuk rantai pasok linear.

3. Formulasi masalah. Tahapan ini adalah bagian utama dalam metode penelitian. Hal-hal berikut yang dilakukan di tahap formulasi adalah mencari hubungan antar variabel, bagaimana hubungan ini membangun satu fungsi tujuan sehingga bisa dioptimalkan, bagaimana hubungan ini membangun satu kendala sehingga kendala sumber daya tetap dipenuhi, dan seterusnya. Formulasi masalah dapat berbentuk linear atau non linear.
4. Metode penyelesaian analitik. Untuk setiap bentuk formulasi terdapat satu metode yang cocok. Formulasi linear dapat diselesaikan dengan metode simpleks. Sementara itu, metode gradien dipakai untuk menyelesaikan formulasi non linear. Formulasi linear banyak digunakan sejak munculnya karya-karya George B. Dantzig (1914 - 2005).
5. Tahap implementasi dan timbal-balik. Dalam tahap implementasi, solusi dari metode analitik digunakan untuk membantu pengambil keputusan dalam memutuskan suatu permasalahan. Hasil implementasi dapat digunakan untuk informasi timbal balik untuk kemudian digunakan kembali sebagai input pada siklus pengambilan keputusan berikutnya.

3.2 Deskripsi masalah

Deskripsi masalah rantai pasok dimulai pada permasalahan yang sederhana, yaitu rantai pasok yang berupa jaringan linear atau serial. Misalkan Stage 1 (tahap proses paling awal) memasok material pada Stage 2 dan Stage 2 memasok material/barang setengah jadi pada Stage 3 dan seterusnya hingga Stage n yang memasok produk pada konsumen atau pelanggan. Stage j menyimpan produk/hasil prosesnya di inventory atau stok I_j . Permintaan pelanggan bersifat stokastik dan

berbentuk distribusi normal dengan rata-rata μ dan deviasi standar σ . Jika lead time dari Stage j ke Stage $j + 1$ ditulis dengan L_j , maka lead time dari Stage 1 ke Stage 2 adalah L_1 dan lead time dari Stage 2 ke Stage 3 adalah L_2 dan seterusnya. Asumsikan juga Stage 1 memiliki pasokan material yang tidak terbatas dari Stage 0, dengan demikian lead time dari Stage 0, $L_0=0$. Jika rantai pasok ingin memasok kebutuhan konsumen secepat mungkin maka lead time dari Stage n , $L_n=0$. Secara grafis, deskripsi masalah ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1: Deskripsi masalah rantai pasok linear

Untuk dapat memenuhi kebutuhan konsumen, maka perlu diketahui berapa besar stok pengaman di setiap tahap, yaitu SS_j yang berpengaruh pada ongkos inventori secara keseluruhan.

3.3 Model matematis

Menurut Graves dan Willems (2000), jaminan waktu pelayanan (*guaranteed service time*) oleh Stage j (ditulis S_j) didefinisikan sebagai waktu pelayanan yang dijamin 100% oleh Stage j kepada Stage sesudahnya, yaitu $j + 1$. Salah satu asumsi yang penting menurut Graves dan Willems (2000) adalah adanya maksimum permintaan yang dapat dipeuhi. Jika permintaan suatu produk bersifat independen dan berdistribusi normal untuk setiap periode dengan rata-rata μ dan deviasi standar σ maka manajer harus memenuhi batas maksimum permintaan sebesar:

$$D(\tau) = \tau\mu + z_\alpha\sigma\sqrt{\tau}, \quad (3.1)$$

dimana τ adalah waktu penggantian stok (*net replenishment time*) dan z_α ditentukan sehingga stok pengaman mampu menutupi variasi permintaan berdasarkan ukuran yang telah ditentukan.

Pada setiap stage j diasosiasikan hal-hal berikut, yaitu LI_j yaitu lead time yang diperlukan untuk mendapatkan material dari pemasok langsungnya (*inbound lead time*). Pada periode t , stage j mendapatkan permintaan $d_j(t)$ dan menempatkan order pada stage sebelumnya. Lead time stage j , yaitu L_j adalah lead time untuk memenuhi permintaan demand stage sesudahnya. Dengan demikian permintaan pada periode t akan dipenuhi pada period $t + L_j$. Jika $I_j(t)$ adalah stok pada stage j di akhir periode t , maka menurut kebijakan stok dasar (*base stock*), level stok dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$I_j(t) = B_j - d_j(t - LI_j - T_j, t - L_j), \quad (3.2)$$

dimana B_j adalah stok dasar, $d_j(t - LI_j - T_j, t - L_j)$ adalah permintaan sepanjang periode $(t - LI_j - T_j, t - L_j]$ yang merupakan waktu penggantian stok dan T_j adalah lead time produksi stage j .

Oleh karena $I_j \geq 0$ diharuskan setiap waktu untuk mendapatkan 100% jaminan pelayanan, maka stok dasar harus lebih besar dari permintaan sepanjang periode $(t - LI_j - T_j, t - L_j]$. Dengan demikian, stok dasar dapat ditetapkan sebagai berikut:

$$B_j = D_j(\tau), \quad (3.3)$$

dimana $\tau = \max[0, LI_j + T_j - L_j]$. Ini berarti stok dasar ditentukan sebagai maksimum permintaan sepanjang waktu penggantian stok. Jika $LI_j + T_j - L_j < 0$ maka stok dasar sebesar nol dan tetap memenuhi permintaan.

Model stok pengaman dapat ditentukan dengan mencari rata-rata stok, $E[I_j]$, yaitu:

$$E[I_j] = B_j - E[d_j(t - LI_j - T_j, t - L_j)],$$

atau

$$E[I_j] = D_j(LI_j + T_j - L_j) - (LI_j + T_j - L_j)\mu, \quad (3.4)$$

untuk $LI_j + T_j - L_j \geq 0$. Dengan demikian, stok pengaman di stage j tergantung pada waktu penggantian stok dan dibatasi oleh permintaan. Misalkan, jika permintaan dibatasi seperti pada Rumus 3.1 maka stok pengaman dirumuskan sebagai berikut:

$$E[I_j] = z_\alpha \sigma \sqrt{LI_j + T_j - L_j}. \quad (3.5)$$

3.3.1 Model matematis: masalah lead time deterministik

Perumusan untuk satu stage diatas tentunya dapat digeneralisasi untuk banyak stage. Perlu diketahui, pada tahapan ini, lead time produksi T_j masih bersifat deterministik. Misalkan ongkos menyimpan di stage j sebesar h_j per periode per unit, maka permasalahan stok pengaman untuk rantai pasok bersifat linear dapat ditulis sebagai berikut:

Minimasi

$$\sum_{j=1}^n (h_j S S_j), \quad (3.6)$$

dibatasi oleh

$$S S_j = \begin{cases} z_\alpha \sigma \sqrt{LI_j + T_j - L_j} & \text{jika } LI_j + T_j - L_j > 0, \forall j = 1, 2, \dots, n, \\ 0 & \text{jika } LI_j + T_j - L_j \leq 0, \forall j = 1, 2, \dots, n, \end{cases} \quad (3.7)$$

$$L_n = 0, \quad (3.8)$$

$$LI_1 = 0, \quad (3.9)$$

$$L_j \leq M, \forall j = 1, 2, \dots, n - 1, \quad (3.10)$$

dimana

h_j adalah ongkos simpan per unit stok di stage j ,

SS_j adalah jumlah stok pengaman di stage j ,
 z_α adalah ukuran standar untuk distribusi normal (misalkan, $z_\alpha = 2,33$ untuk 99% tingkat pelayanan)
 σ adalah deviasi standar permintaan
 L_j adalah lead time yang dijamin oleh stage j
 LI_j adalah lead time untuk mendapat material bagi stage j
 M adalah maksimum lead time yang diperbolehkan.

Untuk permasalahan rantai pasok linear, diketahui bahwa $LI_j = L_{j-1}$, yaitu lead time untuk mendapatkan material oleh stage j dijamin oleh lead time dari stage sebelumnya $j - 1$ (dipakai untuk Rumus 3.7). Rumus 3.6 menunjukkan fungsi tujuan yaitu meminimasi ongkos simpan stok pengaman. Rumus 3.7 adalah rumus yang mencari besaran stok pengaman yang tergantung pada lead time. Pada Rumus 3.8, lead time stage terakhir adalah nol yang berarti stok harus mampu memenuhi kebutuhan konsumen akhir seketika. Di Rumus 3.9, stage pertama mendapat bahan mentah secara langsung karena asumsi adanya pasokan yang tidak terbatas. Rumus 3.10 mengharuskan lead time suatu stage tidak lebih dari satu tetapan tertentu.

Meskipun permasalahan di atas bersifat non linear, bentuknya yang khusus memungkinkan penggunaan algoritma jalur terpendek (lihat Graves dan Willems (2000) serta Sitompul (2010)).

3.3.2 Model matematis: masalah lead time stokastik

Pada penelitian ini, model di atas akan dikembangkan dengan memasukkan faktor lead time yang stokastik. Seperti telah disebutkan sebelumnya, lead time pengiriman material atau produk setengah jadi bersifat deterministik karena dijamin oleh setiap stage. Dengan demikian, stok pengaman yang diperlukan untuk menjamin lead time tersebut hanya ditentukan oleh variasi yang diakibatkan oleh permintaan.

Pada kenyataannya, waktu produksi T_j bisa bersifat stokastik juga yang berimplikasi langsung pada tingkat pemenuhan permintaan. Jika waktu produksi T_j memanjang maka ada dua konsekuensi yang bisa terjadi. Pertama, lead time yang dijamin masih bisa dipenuhi tetapi besaran permintaan tidak dipenuhi. Kedua, besaran permintaan dipenuhi tetapi lead time tidak bisa dijamin.

Misalkan, T_j berdistribusi normal dengan rata-rata μ_j^T dan standar deviasi σ_j^T maka rata-rata waktu penggantian stok menjadi:

$$\mu_j^\tau = LI_j + \mu_j^T - L_j, \quad (3.11)$$

dan standar deviasi waktu penggantian stok adalah:

$$\sigma_j^\tau = \sqrt{0 + \sigma_j^{T^2} + 0} = \sigma_j^T. \quad (3.12)$$

Menurut Silver dan Peterson (1985), permintaan waktu penggantian stok didefinisikan sebagai berikut:

$$\mu_j^{D\tau} = \mu_j^\tau, \quad (3.13)$$

dengan standar deviasi permintaan selama waktu penggantian stok sebesar:

$$\sigma_j^{D\tau} = \sqrt{\mu_j^\tau \sigma^2 + \mu^2 \sigma_j^{\tau^2}}. \quad (3.14)$$

Dengan demikian, stok pengaman yang diperlukan selama waktu penggantian stok dapat ditulis sebagai berikut:

$$SS_j = \begin{cases} z_\alpha \sqrt{\mu_j^\tau \sigma^2 + \mu^2 \sigma_j^{\tau^2}} & \text{jika } \sqrt{\mu_j^\tau \sigma^2 + \mu^2 \sigma_j^{\tau^2}} > 0, \\ 0 & \text{jika } \sqrt{\mu_j^\tau \sigma^2 + \mu^2 \sigma_j^{\tau^2}} \leq 0. \end{cases} \quad (3.15)$$

Perhatikan Rumus 3.15, stok pengaman masih dibutuhkan meskipun waktu penggantian stok-nya nol atau negatif terutama jika standar deviasi permintaan selama waktu penggantian stok besar.

Selengkapnya model matematis untuk masalah lead time stokastik dapat dijabarkan sebagai berikut:

Minimasi

$$\sum_{j=1}^n (h_j SS_j), \quad (3.16)$$

dibatasi oleh

$$SS_j = \begin{cases} z_\alpha \sqrt{\mu_j^\tau \sigma^2 + \mu^2 \sigma_j^{\tau^2}} & \text{jika } \sqrt{\mu_j^\tau \sigma^2 + \mu^2 \sigma_j^{\tau^2}} > 0, \\ 0 & \text{jika } \sqrt{\mu_j^\tau \sigma^2 + \mu^2 \sigma_j^{\tau^2}} \leq 0. \end{cases} \quad (3.17)$$

$$\mu_j^\tau = LI_j + \mu_j^T - L_j, \forall j = 1, 2, \dots, n, \quad (3.18)$$

$$\sigma_j^\tau = \sigma_j^T, \forall j = 1, 2, \dots, n, \quad (3.19)$$

$$L_n = 0, \quad (3.20)$$

$$LI_1 = 0, \quad (3.21)$$

$$L_j \leq M, \forall j = 1, 2, \dots, n-1, \quad (3.22)$$

dimana

h_j adalah ongkos simpan per unit stok di stage j ,

SS_j adalah jumlah stok pengaman di stage j ,

z_α adalah ukuran standar untuk distribusi normal (misalkan, $z_\alpha = 2,33$ untuk 99% tingkat pelayanan)

μ adalah rata-rata permintaan

σ adalah deviasi standar permintaan

μ_j^T adalah rata-rata waktu produksi stage j

σ_j^T adalah deviasi standar waktu produksi stage j

L_j adalah lead time yang dijamin oleh stage j

LI_j adalah lead time untuk mendapat material bagi stage j

M adalah maksimum lead time yang diperbolehkan.

Rumus 3.16 menunjukkan fungsi tujuan yang meminimasi ongkos simpan stok pengaman. Rumus 3.17 adalah rumus untuk mencari besaran stok pengaman.

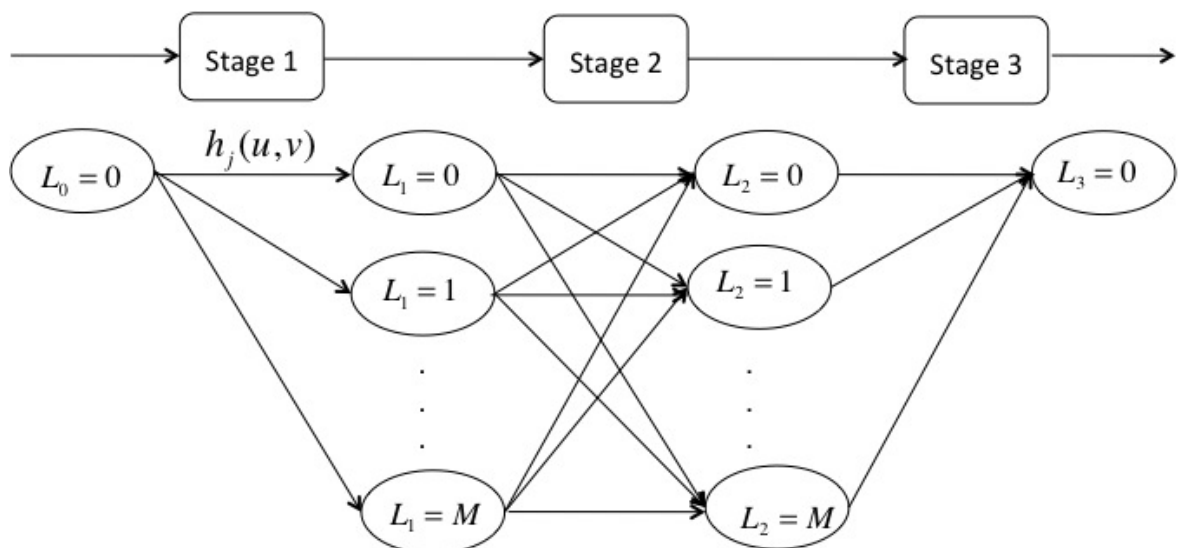
Rumus 3.18 mendefinisikan rata-rata waktu penggantian stok. Pada Rumus 3.19 ditunjukkan bahwa deviasi standar waktu penggantian stok sama dengan deviasi standar waktu produksi suatu stage. Secara berturut-turut, Rumus 3.20 dan Rumus 3.21 menunjukkan besaran lead time yang dijamin oleh stage terakhir serta lead time untuk mendapatkan material oleh stage pertama. Rumus 3.22 menetapkan batas maksimum lead time yang dijamin oleh semua stage.

Bab 4

Metode Penyelesaian dan Analisis Perhitungan

Pada bab ini akan dibahas metode penyelesaian dan analisis perhitungan untuk masalah yang melibatkan waktu produksi yang stokastik. Model analitis yang sudah dikembangkan pada bagian sebelumnya merupakan model non linear. Saat ini sudah banyak dikembangkan perangkat lunak yang dapat menyelesaikan masalah non linear dengan berbagai metode seperti program kuadrat, metode gradien, serta relaksasi lagrangian.

Pada penelitian ini akan dieksploitasi bentuk khusus yang muncul pada rantai pasok yang berbentuk linear. Eksploitasi ini memungkinkan penggunaan algoritma jalur terpendek yang jauh lebih efisien secara waktu komputasi dibandingkan program non linear lainnya (lihat juga Sitompul, 2010 serta Graves & Willems, 2000). Perhatikan Gambar 4.1 berikut.



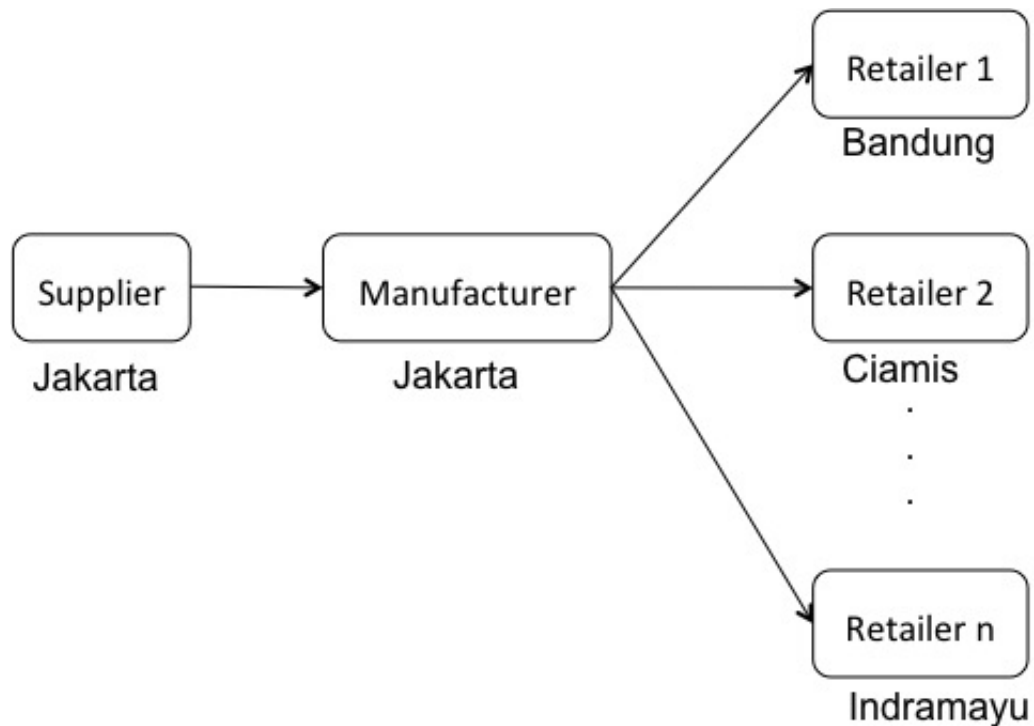
Gambar 4.1: Jalur terpendek

Oleh karena pembatas pada Rumus 3.22, lead time yang diperbolehkan pada setiap stage dibatasi oleh M yang berarti nilai L_j berkisar antara 0 sampai den-

gan M . Simbol L_j ini menjadi titik (*node*) dalam perumusan jaringan ini. Jalur (*arc*) menggambarkan ongkos simpan yang terjadi pada stage j , $h_j(u, v)$ jika diketahui lead time untuk mendapat material sebesar u serta lead time yang dijamin stage j sebesar v . Untuk setiap pasangan (u, v) dapat dihitung ongkos simpannya, yang digambarkan dengan *arc* tersebut. Dengan demikian permasalahan ini dapat dirumuskan menjadi pencarian jalur terpendek dari $L_0 = 0$ sampai dengan $L_3 = 0$.

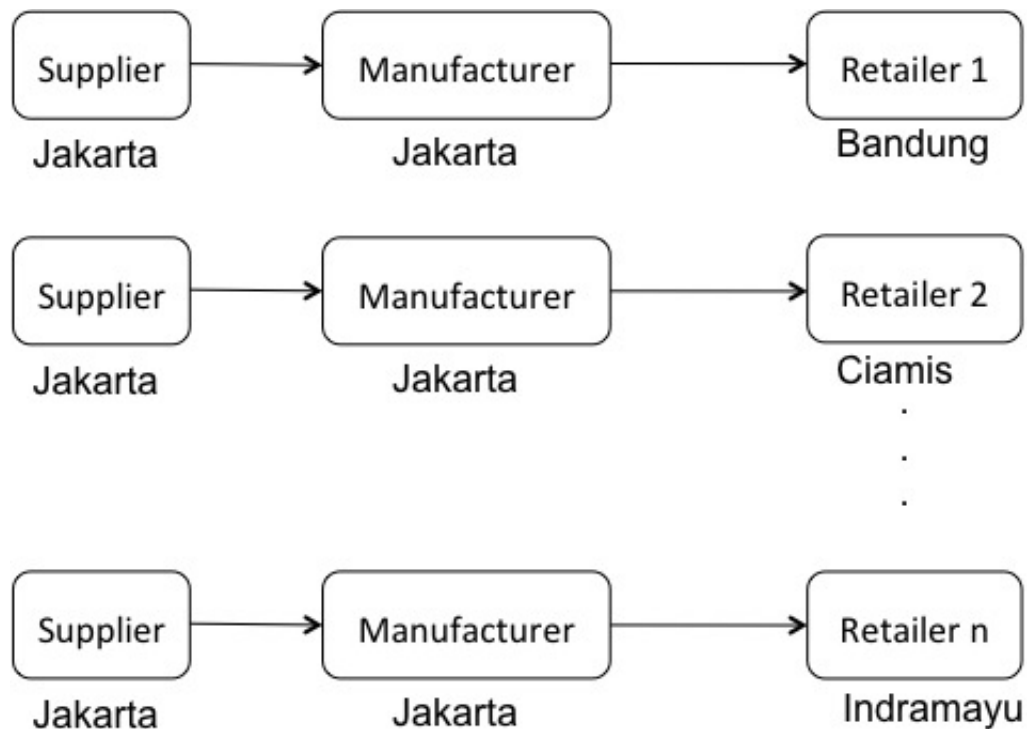
4.1 Kasus sederhana di Jawa Barat

PT.X yang bergerak di bidang usaha perakitan kendaraan bermotor jenis niaga berlokasi di Jakarta. Pemasok material untuk PT. X berasal dari daerah Jakarta dan sekitarnya. Pada penelitian ini diasumsikan bahwa pasokan material untuk PT. X berasal dari satu pemasok (*singlesupplier*). Di wilayah Jawa Barat, PT. X memasok kebutuhan konsumen lewat retailer (dealer) yang tersebar di 37 daerah, yang meliputi: Bandung, Cimahi, Cirebon hingga Sukabumi. Permasalahan rantai pasok PT. X dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2: Distribusi rantai pasok PT. X

Berdasarkan gambar tersebut dapat dilihat bahwa PT.X memiliki permasalahan yang sifatnya distribusi produk ke retailer yang terdapat di berbagai daerah di Jawa Barat. Dengan melakukan modifikasi pada Gambar 4.2, distribusi rantai pasok PT. X dapat diubah menjadi n buah distribusi rantai yang sifatnya linear (lihat Gambar 4.3).



Gambar 4.3: Distribusi rantai pasok PT. X bentuk n buah serial

Berdasarkan Gambar 4.3 maka dapat digunakan metode jalur terpendek untuk menyelesaikan masalah PT. X untuk setiap distribusi yang berbentuk linear.

4.2 Data hipotesis dan perhitungan

Untuk menunjukkan proses perhitungan dan penggunaan metode jalur terpendek untuk masalah distribusi berbentuk linear ini maka digunakan data hipotesis. Pada contoh ini akan diberikan data untuk kasus PT. X dengan Retailer 1. Misalkan permintaan yang diterima oleh Retailer 1 di Bandung mengikuti distribusi Normal dengan rata-rata 40 unit per hari dan standar deviasi 10 unit/hari. Untuk tingkat pelayanan 99% digunakan parameter z_α sebesar 2.33.

Ongkos simpan di Retailer di Bandung, Manufacturer di Jakarta serta Supplier di Jakarta berturut-turut adalah sebesar Rp. 2,2 per unit, Rp. 2 per unit dan Rp. 1 per unit. Waktu produksi di Retailer adalah 1 hari dengan standar deviasi sebesar 0 hari (deterministik). Waktu produksi di Manufacturer adalah 2 hari dengan standar deviasi 1.5 hari. Waktu produksi di Supplier sebesar 1 hari dengan standar deviasi 1 hari. Retailer di Bandung menjanjikan pada konsumen bahwa lead time pemesanan adalah sebesar 0 hari, artinya konsumen selalu mendapatkan produk dari Supplier. Supplier di Jakarta mendapatkan materialnya dari lead time sama dengan nol ($LI_1 = 0$). Berdasarkan kebijakan perusahaan, lead time yang dijanjikan antara Supplier dan Manufacturer serta Manufacturer dan Supplier tidak melebihi 3 hari.

Dengan menggunakan Rumus 3.17 dan 3.18 dapat dihitung ongkos simpan stok pengaman. Berikut adalah contoh perhitungan ongkos simpan stok pengaman untuk setiap jalur di permasalahan jaringan jalur terpendek: Untuk jalur yang menghubungkan titik $L_0 = LI_1 = 0$ dan titik $L_1 = 0$ didapat:

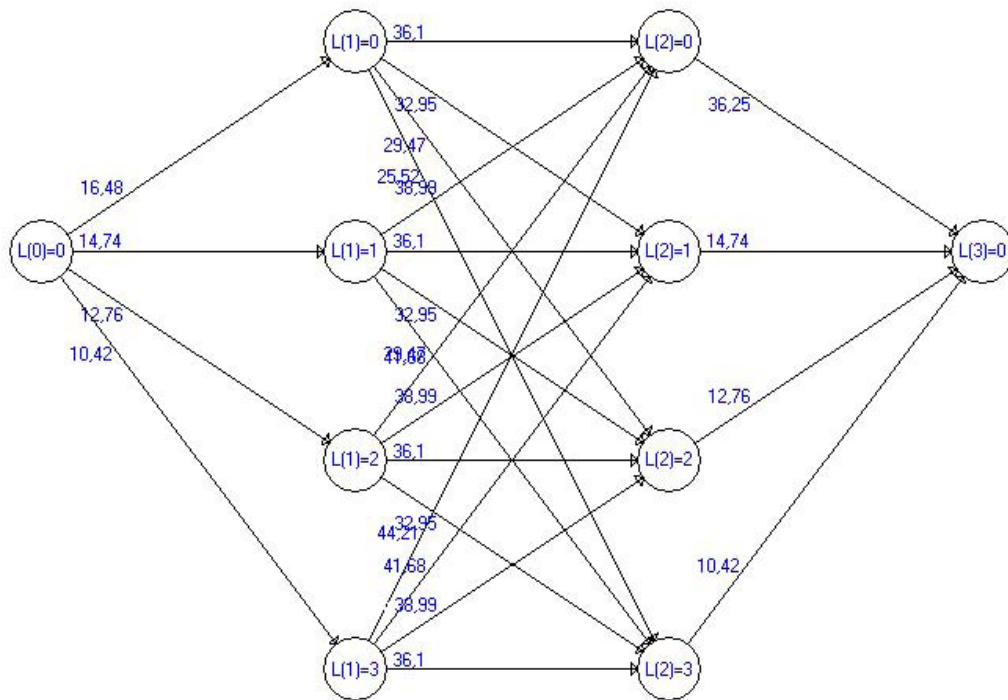
$$\mu_1^T = LI_1 + \mu_1^T - L_1 = 0 + 1 - 0 = 1,$$

$$SS_1 = z_\alpha \sqrt{\mu_1^T \sigma^2 + \mu^2 \sigma_1^2} = 2,33 \sqrt{(1)(10) + 40(1)} = 16,48,$$

$$h_1(LI_1 = 0, L_1 = 0) = h_1 SS_1 = (1)(16,48) = 16,48.$$

Perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 4.4. Dengan menggunakan metode jalur terpendek yang terdapat pada perangkat lunak WinQSB, didapat jalur terpendek diperoleh dengan menghubungkan titik-titik berikut, yaitu: $L_0 = 0, L_1 = 0, L_2 = 3$ dan $L_3 = 0$.

Total ongkos simpan stok pengaman yang diperlukan PT. X untuk mendapatkan tingkat pelayanan 99% adalah $16,48 + 25,52 + 10,42 = \text{Rp. } 52,42$ per hari.



Gambar 4.4: Metode jalur terpendek PT. X

Bab 5

Kesimpulan dan Saran

Pada bagian ini, kesimpulan hasil penelitian diberikan beserta dengan saran-saran untuk penelitian lebih lanjut.

5.1 Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perencanaan strategis rantai pasok yang berkaitan dengan stok pengaman dapat diselesaikan secara analitis.

Permasalahan rantai pasok yang dibahas meliputi permasalahan yang diakibatkan oleh parameter stokastik permintaan serta waktu produksi. Permasalahan ini adalah generalisasi dari permasalahan sebelumnya yang dibahas oleh Graves & Willems (2000) yang hanya membahas permintaan stokastik dengan asumsi waktu produksi konstan.

Hasil penelitian ini dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Permasalahan rantai pasok PT. X di Jawa Barat berkaitan dengan perencanaan strategis stok pengaman.
2. Perencanaan stok pengaman berkaitan dengan total waktu penggantian stok yang dipengaruhi oleh waktu produksi serta waktu pengadaan material dari pemasoknya.
3. Waktu produksi yang tidak tetap atau bervariasi perlu dipertimbangkan dalam menyimpan stok pengaman
4. Formulasi masalah menunjukkan bahwa stok pengaman bertambah besar dengan masuknya parameter waktu produksi yang stokastik
5. Oleh karena bentuknya yang khusus, rantai pasok yang berbentuk linear dapat diselesaikan dengan menggunakan metode jalur terpendek, salah satu metode optimasi yang efisien
6. Permasalahan PT. X yang berbentuk distribusi ke retailer-retailer dapat dimodifikasi menjadi n buah masalah yang linear.

5.2 Saran

Penelitian ini memiliki keterbatasan yang perlu diselesaikan pada penelitian mendatang, yaitu:

1. Masalah-masalah strategis di rantai pasok, selain stok pengaman perlu diselesaikan juga. Perencanaan kapasitas adalah salah satu keputusan penting yang sifatnya strategis karena punya implikasi jangka panjang serta efek finansial yang besar. Penyelesaian simultan perencanaan stok pengaman serta perencanaan kapasitas dapat memenuhi kebutuhan PT. X untuk menyelesaikan masalah-masalah strategisnya.
2. Perlu juga diselesaikan permasalahan-permasalahan rantai pasok yang sifatnya tidak distribusi atau linear, misalnya Manufacturer membutuhkan beberapa Supplier untuk merakit produknya.
3. Eksperimen serta pengujian metode jalur terpendek dapat dilaksanakan untuk melihat parameter-parameter yang berpengaruh paling besar terhadap efisiensi ongkos.

Dengan menyelesaikan permasalahan tersebut diatas, diharapkan formulasi matematis serta metode analitis dapat membantu PT. X atau perusahaan sejenis lainnya dalam membuat rencana strategis yang lebih dekat dengan realitas masalahnya.

Daftar Pustaka

- [1] Aghezzaf, E. H., 2005. Capacity planning and warehouse location in supply chains with uncertain demands. *Journal of the Operational Research Society* 56 (4), 453–462.
- [2] Chen, C. L., Yuan, T. W., Lee, W. C., 2007. Multi-criteria fuzzy optimization for locating warehouses and distribution centers in a supply chain network. *Journal of the Chinese Institute of Chemical Engineers* 38, 292–407.
- [3] Geary, S., Childerhouse, P., Towill, D., 2002. Uncertainty and the seamless supply chain. *Supply Chain Management Review* 6 (4), 52-60.
- [4] Graves, S. C., Willems, S. P., 2000. Optimizing strategic safety stock placement in supply chains. *Manufacturing and Service Operations Management* 2 (1), 68–83.
- [5] Laguna, M., 1998. Applying robust optimization to capacity expansion for one location in telecommunications with demand uncertainty. *Management Science* 44 (11), 101–110.
- [6] Lesnaia, E., Vasilescu, I., Graves, S. C., 2004. The complexity of safety stock placement problem in general-network supply chains. Technical report, Innovation in Manufacturing Systems and Technology (IMST), Massachusetts Institute of Technology.
- [7] Li, Y., Huang, G., Nie, X., Nie, S., 2008. A two-stage fuzzy robust integer programming approach for capacity planning of environmental management systems. *European Journal of Operational Research* 189, 399–420.
- [8] Melo, M.T., Nickel, S., Saldanha-da Gama, F., 2009. Facility location and supply chain management - a review. *European Journal of Operational Research* 196, 401–412.
- [9] Mulvey, J. M., Vanderbei, R. J., Zenios, S. A., 1995. Robust optimization of large scale systems. *Operations Research* 43 (2), 264-281.
- [10] Shapiro, J. F., 2001. Modeling the supply chain. Duxbury, Pacific Grove, CA.
- [11] Silver, E.A., Peterson, R., (1985). Decision systems for inventory management and production planning. New York: Wiley.

- [12] Sitompul, C., Aghezzaf, E. H., Van Landeghem, H., Dullaert, W., 2008. Safety stock placement problems in capacitated supply chains. *International Journal of Production Research* 46, 4709–4727.
- [13] Sitompul, C., 2010. Design of robust supply chains: an integrated hierarchical approach. PhD dissertation, Ghent University, Belgium.
- [14] Vidal, C.J., Goetschalckx, M., 2000. Modeling the effect of uncertainties on global logistic systems. *Journal of Business Logistics* 21 (1), 95–120.
- [15] Wang, G., Huang, S., Dismukes, J., 2005. Manufacturing supply chain design and evaluation. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 25, 93–100.
- [16] Wu, D., Olson, D., 2008. Supply chain risk, simulation, and vendor selection. *International Journal of Production Economics* 114, 646–655.
- [17] You, F., Grossmann, I. E., 2008. Mixed-integer nonlinear programming models and algorithms for large-scale supply chain design with stochastic inventory management. *Industrial and Engineering Chemistry Research* 47, 7802–7817.