

# LAPORAN PENELITIAN

## Evaluasi Metode Optimasi Tangguh untuk Perencanaan Rantai Pasok

oleh

Dr. Carles Sitompul, ST.,MT.,MIM.  
Johanna Hariandja, ST., MSc., PDEng.

Jurusan Teknik Industri  
Jl. Ciumbuleuit 94, Bandung 40141 Indonesia



Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Katolik Parahyangan  
Juni 2011

## Rangkuman

Perencanaan rantai pasok di level strategis berkaitan terutama dengan keputusan-keputusan jangka panjang dengan implikasi yang besar dari sisi keuangan dan keberlangsungan hidup perusahaan. Selain implikasi yang besar dari perencanaan strategis, permasalahan yang dialami perusahaan semakin kompleks karena adanya faktor ketidakpastian yang mempengaruhi pengambilan keputusan. Oleh karena itu, seorang manajer rantai pasok harus mampu membangun satu metode yang tangguh (*robust*) dalam mengambil keputusan-keputusan. Metode yang tangguh akan memberikan rencana yang juga tangguh, yaitu tetap stabil meskipun beberapa parameter perencanaan berubah-ubah.

Salah satu keputusan strategis perencanaan rantai pasok adalah penentuan lokasi dan jumlah persediaan pengaman di seluruh rantai pasok. Penentuan lokasi dan jumlah persediaan pengaman yang efektif akan mampu menjawab permintaan konsumen yang berubah-ubah. Pada penelitian ini, masalah ketidakpastian juga meliputi lead time yang disebabkan oleh berubah-ubahnya waktu produksi setiap elemen dalam suatu rantai pasok. Penelitian ini akan membahas evaluasi suatu metode yang disebut dengan metode optimasi tangguh yang bertujuan untuk membuat sebuah rencana yang tangguh pula. Metode optimasi tangguh ini digunakan untuk perencanaan rantai pasok di level strategis dalam rangka menentukan lokasi dan jumlah persediaan pengaman.

# Daftar Isi

<b>1</b>	<b>Pendahuluan</b>	<b>1</b>
1.1	Latar belakang . . . . .	1
1.2	Tujuan khusus . . . . .	2
1.3	Keutamaan penelitian . . . . .	2
1.4	Sistematika penulisan . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Studi Pustaka</b>	<b>3</b>
2.1	Definisi rantai pasok . . . . .	3
2.2	Ketidakpastian . . . . .	3
2.3	Optimasi tangguh . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Metode Penelitian</b>	<b>6</b>
3.1	Langkah-langkah penelitian . . . . .	6
3.2	Deskripsi masalah . . . . .	7
3.3	Model matematis . . . . .	8
3.3.1	Model matematis: masalah lead time deterministik . . . . .	9
3.3.2	Model optimasi tangguh: masalah lead time stokastik . . . . .	10
<b>4</b>	<b>Pengembangan Perangkat Lunak dan Evaluasi Metode</b>	<b>13</b>
4.1	Pengembangan AMPL . . . . .	13
4.2	Kasus sederhana di Jawa Barat . . . . .	15
4.3	Evaluasi Metode Optimasi Tangguh . . . . .	16
<b>5</b>	<b>Kesimpulan dan Saran</b>	<b>21</b>
5.1	Kesimpulan . . . . .	21
5.2	Saran . . . . .	22

# Bab 1

## Pendahuluan

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

### 1.1 Latar belakang

Ketidakpastian adalah satu fenomena alami yang dihadapi berbagai perusahaan terutama dalam konteks lingkungan bisnis yang kompetitif dan penuh perubahan. Para manajer yang sedang membuat rencana atau mengambil keputusan harus mempertimbangkan faktor ketidakpastian ini agar rencananya tetap stabil meskipun lingkungan atau parameter perencanaannya berubah-ubah. Rencana yang stabil bukan hanya efektif tetapi juga efisien karena tidak perlu direvisi setiap kali ada perubahan. Ada kalanya revisi terhadap suatu rencana yang sudah dibuat menjadi tidak layak atau sangat mahal untuk dilaksanakan.

Perubahan-perubahan yang berasal dari permintaan konsumen, seperti jumlah, jenis dan waktu, perlu dicermati oleh manajer persediaan agar tingkat pelayanan perusahaan kepada konsumennya tetap stabil. Sebuah rantai pasok tentu memiliki kebijakan tersendiri tentang tingkat pelayanan yang diberikannya. Selain ongkos, seringkali tingkat pelayanan ini menjadi ukuran performansi sebuah perusahaan atau sebuah rantai pasok. Metode yang tangguh, selain memberikan kestabilan terhadap perubahan, haruslah juga menyediakan rencana yang efisien, yaitu ongkos yang minimal.

Permasalahan-permasalahan berikut adalah permasalahan yang melibatkan investasi yang besar dengan implikasi jangka panjang pada perusahaan, yaitu: 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 atau persediaan pengaman (Graves dan Willems, 2000; Lesnaia et al., 2004, Sitompul, et al., 2008, Sitompul dan Suryadi, 2011).

Pada penelitian ini, evaluasi metode optimasi tangguh akan dilakukan pada permasalahan rantai pasok di level strategis, khususnya penempatan persediaan pengaman. Performansi metode optimasi tangguh yang diusulkan oleh Mulvey, et

al. (1995) akan dievaluasi dalam hal penggunaannya untuk menentukan jumlah dan lokasi persediaan pengaman.

## **1.2 Tujuan khusus**

Secara khusus, penelitian ini diarahkan pada evaluasi penggunaan metode optimasi tangguh pada permasalahan rantai pasok di level strategis, yaitu masalah penentuan jumlah dan lokasi persediaan pengaman. Penentuan persediaan pengaman di rantai pasok dipenuhi oleh dua faktor ketidakpastian, yaitu ketidakpastian permintaan serta ketidakpastian waktu produksi yang berakibat pada ketidakpastian lead time secara keseluruhan. Formulasi atau model matematis haruslah terlebih dahulu dikembangkan agar performansi metode optimasi tangguh dapat dievaluasi. Sebagai dasar, penelitian yang dilakukan oleh Graves dan Willems (2000), Sitompul (2010), serta Sitompul dan Suryadi (2011) akan digunakan untuk pengembangan model lebih lanjut terutama dalam rangka evaluasi metode optimasi tangguh.

## **1.3 Keutamaan penelitian**

Urgensi dan keutamaan penelitian ini terletak pada evaluasi metode optimasi tangguh itu sendiri. Metode optimasi tangguh yang diajukan oleh Mulvey, et al. (1995) adalah metode yang paling sering digunakan untuk menangani masalah-masalah yang berkaitan dengan ketidakpastian. Metode ini banyak digunakan untuk masalah-masalah lain, seperti perencanaan kapasitas (Laguna, 1998) serta perencanaan logistik (Yu dan Li, 2000).

Dalam mengembangkan metode tangguh yang lain, para peneliti biasanya merujuk metode optimasi tangguh ini dalam mengevaluasi performansi metode yang dikembangkan. Oleh karena itu, sebagai tahap awal pengembangan metode baru, perlu dilakukan suatu evaluasi metode optimasi tangguh terhadap perencanaan rantai pasok di level strategis. Dengan demikian, performansi metode baru yang dikembangkan dapat dibandingkan dengan performansi metode optimasi tangguh yang diusulkan oleh Mulvey, et al. (1995).

## **1.4 Sistematika penulisan**

Bab 1 membahas latar belakang, tujuan dan keutamaan penelitian. Bab 2 memuat studi pustaka, termasuk didalamnya: definisi rantai pasok, ketidakpastian dan optimasi tangguh. Bab 3 membahas metode penelitian, khususnya yang berkaitan dengan penelitian operasional, deskripsi masalah, serta formulasi model matematis dengan lead time deterministik dan model matematis dengan lead time stokastik. Bab 4 memuat pengembangan perangkat lunak dengan basis AMPL dan evaluasi metode optimasi tangguh dari Mulvey, et al. (1995) berdasarkan data hipotetik sebuah rantai pasok di Jawa Barat. Bab 5 berisi kesimpulan serta saran untuk penelitian lebih lanjut.

# Bab 2

## Studi Pustaka

Bagian ini membahas studi pustaka meliputi definisi rantai pasok, ketidakpastian dan metode optimasi tangguh.

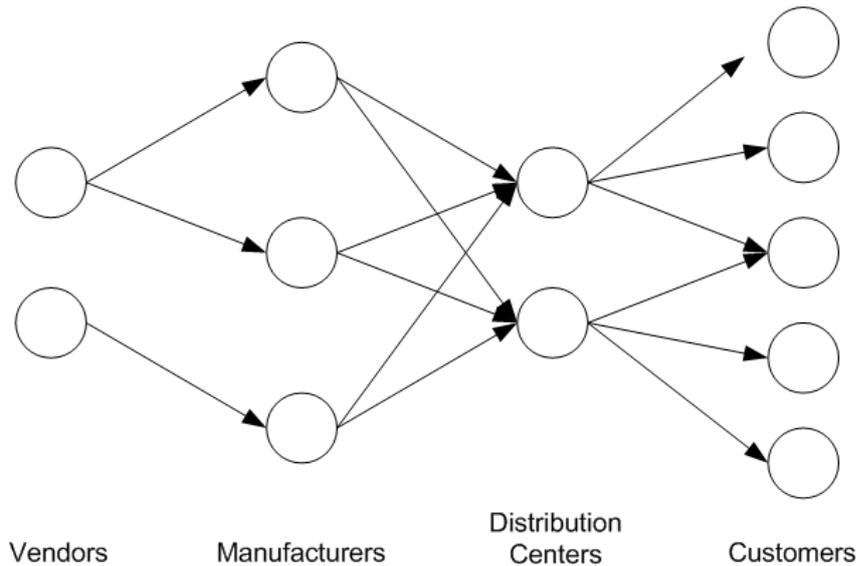
### 2.1 Definisi rantai pasok

Secara umum, sebuah rantai pasok terdiri dari berbagai fasilitas dimana bahan mentah diambil dan diubah menjadi bahan setengah jadi, atau bahan setengah jadi diambil dan diubah menjadi produk akhir. Proses transformasi ini juga seringkali disertai dengan proses penyimpanan dalam bentuk persediaan serta proses transportasi dari satu fasilitas ke fasilitas yang lain.

Sebuah rantai pasok dapat digambarkan dalam bentuk jaringan yang terdiri dari titik-titik atau (*nodes*) yang dihubungkan dengan jalur-jalur transportasi (*arcs*). Gambar 1 menunjukkan satu rantai pasok yang terdiri dari pemasok (*vendors*), pabrik (*manufacturers*), pusat distribusi (*distribution centers*) serta pelanggan (*customers*).

### 2.2 Ketidakpastian

Ketidakpastian pada sebuah rantai pasok dapat bersumber dari permintaan konsumen, pemasok, proses dan kontrol (Geary, et al., 2002). 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. Berdasarkan studi pustaka, ketidakpastian yang bersumber pada permintaan konsumen dan yang berkaitan dengan lead time, baik lead time dari pemasok maupun lead time ke pelanggan adalah sumber-sumber ketidakpuasan hubungan antar elemen dalam rantai pasok. Oleh karena itu, dua



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

sumber ketidakpastian tersebut perlu dikelola dengan baik agar hubungan elemen dalam rantai pasok tetap stabil dalam rangka menaikkan atau mempertahankan tingkat pelayanan kepada konsumen.

## 2.3 Optimasi tangguh

Istilah optimasi tangguh pertama kali digunakan oleh Mulvey, et al. (1995) untuk merujuk suatu metode optimasi pada permasalahan-permasalahan yang diliputi ketidakpastian. Optimasi tangguh berusaha untuk mencapai tujuan yang optimal serta solusi atau rencana yang tangguh. Suatu rencana disebut tangguh apabila rencana tersebut mampu mengantisipasi perubahan-perubahan pada parameter permasalahan.

Menurut Mulvey, et al. (1995), suatu solusi pada model optimasi disebut ‘solusi tangguh’ apabila solusi tersebut tetap ‘dekat’ dengan optimal untuk semua skenario yang mungkin terjadi. Suatu model disebut ‘model tangguh’ apabila model tersebut tetap ‘layak’ untuk semua skenario yang mungkin terjadi. 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-ubah serta tergantung 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 semua skenario yang mungkin terjadi dan untuk setiap skenario  $s \in \Omega$  ada realisasi koefisien pada pembatas kontrol, yaitu:  $d_s, B_s, C_s$ , dan  $e_s$  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 variabel  $z_1, z_2, \dots, z_s$  sebagai variabel ‘error’. Variabel ini digunakan untuk mengukur ketidaklayakan di pembatas kontrol menurut skenario  $s$ . Dengan demikian, model optimasi tangguh 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 banyaknya skenario, 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 tangguh harus juga mengendalikan resiko yang diukur oleh variansi dari fungsi tujuan. Dengan demikian, fungsi tujuannya berubah menjadi  $\sigma(\cdot) = \sum_{s \in \Omega} p_s \xi_s + \lambda \sum_{s \in \Omega} p_s (\xi_s - \sum_{s' \in \Omega} p_{s'} \xi_{s'})^2$ , yang berarti nilai rata-rata ditambah sebuah konstanta dikalikan dengan variansi. Bagian kedua pada fungsi tujuan diatas adalah fungsi penalti untuk pelanggaran beberapa kendala kontrol karena munculnya skenario  $s$ . 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 membahas metode penelitian yang meliputi langkah-langkah penelitian serta pengembangan model-model. Langkah-langkah penelitian meliputi identifikasi masalah dan tujuan serta penentuan variabel-variabel keputusan yang menjadi tujuan pemecahan masalah. Setelah pendeskripsian permasalahan, formulasi masalah secara matematis dilakukan agar dapat 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 sebuah metode penelitian yang menggunakan alat bantu 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:

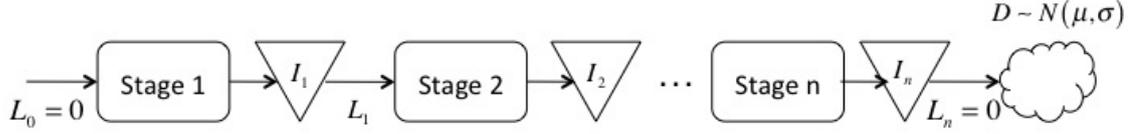
1. **Identifikasi masalah.** Masalah diidentifikasi dan didefinisikan dengan jelas pada tahap awal metode penelitian ini. Ketidakpastian yang bersumber dari permintaan dan dari lead time yang dipengaruhi waktu produksi dapat mengganggu pelayanan pada konsumen. Manajer dihadapkan pada pilihan antara persediaan yang tinggi yang berakibat pada tingginya ongkos dan persediaan yang rendah dengan tingkat pelayanan yang rendah pula. Sikap reaktif yang menaikkan jumlah persediaan memiliki efek yang sangat besar dan sifatnya cenderung permanen artinya mengurangi biaya persediaan menjadi lebih sulit. Oleh karena itu, perlu adanya satu formulasi matematis yang memiliki tingkat objektifitas yang tinggi untuk membantu manajer menentukan jumlah persediaan pengaman yang efektif dan efisien.
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, khususnya yang berkaitan

dengan penentuan persediaan pengaman, dua keputusan penting yang perlu diambil adalah sebagai berikut:

- Dimana persediaan pengaman perlu disimpan?
  - Berapa jumlah persediaan pengaman yang efektif dan efisien?
3. **Formulasi masalah.** Tahapan ini adalah bagian utama dalam metode penelitian yang diusulkan. 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. Pada tahapan ini, formulasi masalah juga akan mengikuti kaidah formulasi yang mengikutsertakan parameter-parameter stokastik seperti yang diutarakan oleh Mulvey, et al. (1995).
  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). Performansi metode optimasi tangguh yang diusulkan oleh Mulvey, et al. (1995) akan dievaluasi pada tahap ini.
  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

Penyelesaian masalah rantai pasok dilakukan pada sebuah rantai pasok yang memiliki bentuk yang sederhana, yaitu berupa jaringan linear atau serial. stage 1 yang merupakan tahapan proses yang paling awal memasok material kepada stage 2, kemudian stage 2 memasok material/ barang setengah jadi kepada stage 3, dan seterusnya hingga stage  $n$  memasok produk pada konsumen atau pelanggan. stage  $j$  menyimpan produk/hasil prosesnya ke dalam bentuk persediaan,  $I_j$ . Permintaan pelanggan bersifat stokastik yang mengikuti bentuk distribusi normal dengan rata-rata  $\mu$  dan deviasi standar  $\sigma$ . 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. Diasumsikan juga bahwa 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 secara seketika atau 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 permintaan konsumen yang berubah-ubah maka perlu diketahui berapa besar persediaan pengaman di setiap tahap, yaitu  $SS_j$  yang berpengaruh pada ongkos persediaan 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 permintaaan sebuah produk bersifat independen dan berdistribusi normal untuk setiap periode dengan rata-rata  $\mu$  dan deviasi standar  $\sigma$  maka manajer harus memenuhi batas maksimum permintaan sebesar:

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

dimana  $\tau$  adalah waktu penggantian persediaan (*net replenishment time*) dan  $z_\alpha$  ditentukan agar persediaan pengaman mampu menutupi variasi permintaan berdasarkan ukuran tingkat pelayanan yang telah ditentukan.

Pada setiap stage  $j$  diasosiasikan pula 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 persediaan pada stage  $j$  di akhir periode  $t$ , maka menurut kebijakan persediaan dasar (*base stock*), tingkat persediaan 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 persediaan 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 persediaan dan  $T_j$  adalah lead time produksi stage  $j$ .

Oleh karena  $I_j \geq 0$  diharuskan setiap waktu untuk mendapatkan 100% jaminan pelayanan, maka persediaan dasar harus lebih besar dari permintaan sepanjang periode  $(t - LI_j - T_j, t - L_j]$ . Dengan demikian, persediaan 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 persediaan dasar ditentukan sebagai maksimum permintaan sepanjang waktu penggantian persediaan. Jika  $LI_j + T_j - L_j < 0$  maka persediaan dasar ditetapkan sebesar nol namun tetap dapat memenuhi permintaan.

Model persediaan pengaman dapat ditentukan dengan mencari rata-rata persediaan,  $E[I_j]$ , 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  $LI_j + T_j - S_j \geq 0$ . Dengan demikian, persediaan pengaman di stage  $j$  tergantung pada waktu penggantian persediaan dan dibatasi oleh permintaan. Misalkan, jika permintaan dibatasi seperti pada Rumus 3.1 maka persediaan 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 persediaan pengaman untuk rantai pasok bersifat linear dapat ditulis sebagai berikut:

Minimasi

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

dibatasi oleh

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

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

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

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

dimana

$h_j$  adalah ongkos simpan per unit persediaan di stage  $j$ ,

$SS_j$  adalah jumlah persediaan pengaman di stage  $j$ ,

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

$\sigma$  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 persediaan pengaman. Rumus 3.7 adalah rumus yang mencari besaran persediaan pengaman yang tergantung pada lead time. Pada Rumus 3.8, lead time stage terakhir adalah nol yang berarti persediaan 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 sebuah 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 optimasi tangguh: masalah lead time stokastik

Seperti telah disebutkan sebelumnya, lead time pengiriman material atau produk setengah jadi bersifat deterministik karena dijamin oleh setiap stage. Dengan demikian, persediaan pengaman yang diperlukan untuk menjamin lead time tersebut hanya ditentukan oleh variasi yang diakibatkan oleh ketidakpastian 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. Jika  $T_j$  berdistribusi normal dengan rata-rata  $\mu_j^T$  dan standar deviasi  $\sigma_j^T$  maka skenario kemunculan lead time berkisar antara nilai  $-\infty$  hingga  $\infty$ . Namun diketahui bahwa sebesar 99,73% dari kemunculan lead time akan berada di kisaran  $\mu_j^T - 3\sigma_j^T$  dan  $\mu_j^T + 3\sigma_j^T$ .

Misalkan  $\Omega = 1, 2, \dots, S$  adalah himpunan semua skenario yang mungkin muncul dan untuk setiap skenario  $s \in \Omega$  muncul realisasi lead time dengan notasi  $T_{js}$  dan probabilitas kemunculan sebesar  $p_s$ . Persediaan pengaman adalah variabel keputusan yang ditentukan di awal pada formulasi masalah yang tidak terpengaruh oleh kemunculan skenario lead time  $T_{js}$ . Jika penyelesaian masalah ini menggunakan nilai rata-rata lead time ( $\mu_j^T$ ) sebagai parameter maka permasalahan muncul jika skenario lead time berbeda dengan nilai rata-ratanya. Jika  $T_{js} > \mu_j^T$  maka masalah yang timbul adalah rendahnya persediaan pengaman yang tersedia untuk melayani variasi permintaan selama waktu penggantian persediaan atau biasa disebut dengan *under stock*. Jika  $T_{js} < \mu_j^T$  maka masalah yang timbul adalah berlebihnya persediaan pengaman yang tersedia untuk melayani variasi permintaan selama waktu penggantian persediaan yang biasa disebut dengan *over stock*. Dua fenomena tersebut tentunya tidak diinginkan akan tetapi selalu muncul dalam per-

masalah dengan lead time yang stokastik. Oleh karena itu perlu diberlakukan sebuah sistem penalti pada kemunculan masalah berlebihnya atau kurangnya persediaan pengaman.

Besarnya deviasi persediaan pengaman dari yang dibutuhkan dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$e_{js} = z_\alpha \sigma \sqrt{LI_j + T_{js} - L_j} - z_\alpha \sigma \sqrt{LI_j + \mu_j^T - L_j},$$

dimana  $e_{js}$  adalah *over stock* jika bertanda positif dan *under stock* jika bertanda negatif pada stage  $j$  dengan munculnya skenario  $s$ .

Dengan demikian, model optimasi tangguh penentuan persediaan pengaman pada jaringan yang linear dapat diformulasikan sebagai berikut:

Minimasi

$$\bar{\xi} + \lambda \sum_{s \in \Omega} p_s (\xi_s - \bar{\xi})^2 \quad (3.11)$$

dibatasi oleh

$$SS_j = \begin{cases} z_\alpha \sigma \sqrt{LI_j + \mu_j^T - L_j} & \text{jika } LI_j + \mu_j^T - L_j > 0, \forall j = 1, 2, \dots, n, \\ 0 & \text{jika } LI_j + \mu_j^T - L_j \leq 0, \forall j = 1, 2, \dots, n, \end{cases} \quad (3.12)$$

$$e_{js} = z_\alpha \sigma \sqrt{LI_j + T_{js} - L_j} - SS_j, \forall j = 1, 2, \dots, n, s \in \Omega, \quad (3.13)$$

$$\xi_s = \sum_{j=1}^n (h_j SS_j) + \omega \sum_{j=1}^n |e_{js}|, \forall s \in \Omega, \quad (3.14)$$

$$\bar{\xi} = \sum_{s \in \Omega} p_s \xi_s \quad (3.15)$$

$$L_n = 0, \quad (3.16)$$

$$LI_1 = 0, \quad (3.17)$$

$$L_j \leq M, \forall j = 1, 2, \dots, n-1, \quad (3.18)$$

dimana

$\lambda$  adalah bobot untuk variabilitas ongkos total,

$\omega$  adalah bobot penalti untuk *over/under stock*,

$h_j$  adalah ongkos simpan per unit persediaan di stage  $j$ ,

$SS_j$  adalah jumlah persediaan pengaman di stage  $j$ ,

$e_j^s$  adalah *over/under stock* di stage  $j$ , jika skenario lead time  $T_j^s$  yang muncul,

$p_s$  adalah probabilitas kemunculan skenario  $s$ ,

$\bar{\xi}$  adalah rata-rata ongkos simpan dan penalti *over/under stock*,

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

$\sigma$  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.

Rumus 3.11 menunjukkan fungsi tujuan yang meminimasi rata-rata ongkos total serta variabilitas ongkos total yang diberi bobot  $\lambda$ . Rumus 3.12 merupakan rumus pencarian besaran persediaan pengaman yang tergantung dari skenario yang muncul. Rumus 3.13 mencari nilai *over/under stock* di stage  $j$  jika skenario  $s$  yang muncul. Rumus 3.14 adalah rumus perhitungan ongkos total jika skenario  $s$  yang muncul yaitu penjumlahan ongkos simpan serta ongkos *over/under stock*. Rumus 3.15 menunjukkan rata-rata ongkos simpan dan penalti untuk *over/under stock*. Rumus 3.16 dan 3.17 berturut-turut menunjukkan besaran lead time yang dijamin oleh stage terakhir serta lead time untuk mendapatkan material oleh stage pertama. Penetapan batas maksimum lead time yang dijamin setiap stage ditulis dalam Rumus 3.18.

## Bab 4

# Pengembangan Perangkat Lunak dan Evaluasi Metode

Pada bab ini dibahas pengembangan perangkat lunak, analisis perhitungan dan evaluasi metode untuk menyelesaikan masalah yang melibatkan waktu produksi yang stokastik. Model analitik yang sudah dikembangkan pada bagian sebelumnya menunjukkan model yang 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 sebelumnya (Sitompul dan Suryadi, 2011) telah dikembangkan sebuah pencarian solusi yang memanfaatkan algoritma jalur terpendek dengan mengeksploitasi bentuk rantai pasok yang linear. Sayangnya, formulasi masalah dengan menggunakan metode optimasi tangguh masih bersifat non linear sehingga perlu dicari metode penyelesaian yang sesuai.

Formulasi optimasi tangguh pada bab sebelumnya masuk ke kategori permasalahan yang biasa disebut dengan *Mixed Integer Nonlinearly Constrained Problem* (MINLP). Perangkat lunak yang tersedia di pasaran untuk permasalahan tersebut diantaranya adalah sebagai berikut: MINLP, FilMINT dan Bonmin. Perangkat lunak tersebut membutuhkan input yang berasal dari AMPL (A Mathematical Programming Language) yang dikembangkan oleh Robert Fourer dan David M. Gay.

### 4.1 Pengembangan AMPL

Pengembangan perangkat lunak dengan basis AMPL meliputi tiga file yang dibutuhkan, yaitu file untuk model (\*.mod), file untuk menyimpan data (\*.dat) serta file untuk menjalankannya (\*.run). File untuk model memuat deklarasi parameter masalah, variabel keputusan, fungsi tujuan serta kendala-kendala seperti yang telah dijabarkan pada bab sebelumnya. File untuk menyimpan data berisi data-data atau parameter-parameter masalah. Gambar 4.1 menggambarkan teks yang terdapat pada file untuk model. Bagian pertama dari Gambar 4.1 memuat data-data parameter, seperti jumlah stage,  $z_\alpha$ , variabilitas permintaan, jumlah skenario dan

sebagainya. Bagian berikutnya berisi variabel-variabel keputusan yang meliputi besaran persediaan pengaman, lead time yang dijamin oleh setiap stage, ongkos total berdasar skenario  $s$  serta deviasi persediaan yang timbul akibat munculnya skenario lead time  $T_{js}$ . Bagian terakhir memuat fungsi tujuan serta fungsi-fungsi kendala yang telah dikembangkan sebelumnya.

```

robust.mod
param n;
param lambda;
param zalpha;
param sigma;
param h{1..n};
param S;
param p{1..S};
param T{1..n, 1..S};
param muT{1..n};

var SS{j in 1..n}>=0, := j/10000;
var xi{1..S}>=0;
var xibar>=0;
var L{1..n} >=0, integer;
var es{1..n,1..S};

minimize z:
    xibar + lambda*(sum{s in 1..S}p[s]*(xi[s]-xibar)^2) ;
subject to const1{s in 1..S}:
    xi[s] = sum{j in 1..n}(h[j]*SS[j] + abs(es[j,s]));
subject to const2:
    xibar = sum{s in 1..S}(p[s]*xi[s]);
subject to const3{j in 2..n}:
    SS[j] = if (L[j-1]+muT[j]-L[j]) > 0 then
        zalpha*sigma*sqrt(L[j-1]+muT[j]-L[j]) else 0;
subject to const3b:
    SS[1] = if (muT[1]-L[1]) > 0 then zalpha*sigma*sqrt(muT[1]-L[1]) else 0;
subject to const4{j in 2..n, s in 1..S}:
    es[j,s] +SS[j] = if (L[j-1]+T[j,s]-L[j]) > 0 then
        zalpha*sigma*sqrt(L[j-1]+T[j,s]-L[j]) else 0;
subject to const4b{s in 1..S}:
    es[1,s] + SS[1]= if (T[1,s]-L[1]) > 0 then
        zalpha*sigma*sqrt(T[1,s]-L[1]) else 0;
subject to const5: L[n]=0;
subject to const6{j in 1..n-1}:
    L[j] <= 3;

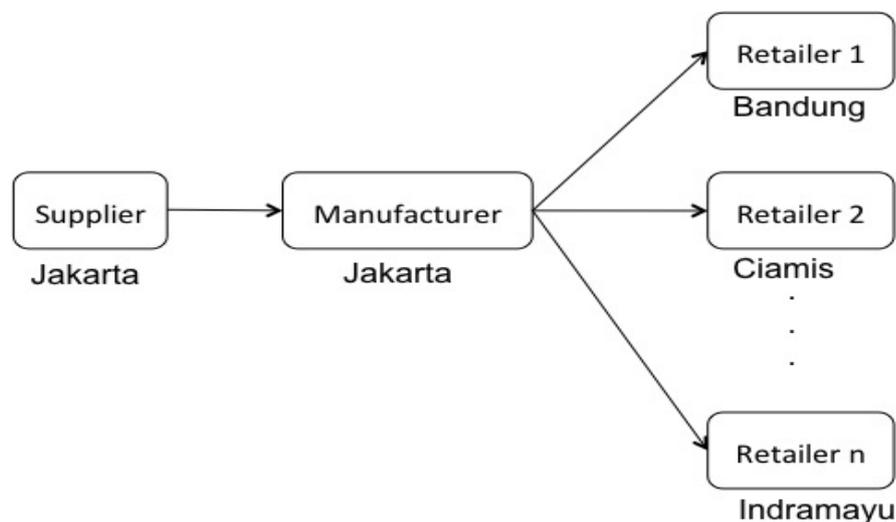
```

Gambar 4.1: Model file

## 4.2 Kasus sederhana di Jawa Barat

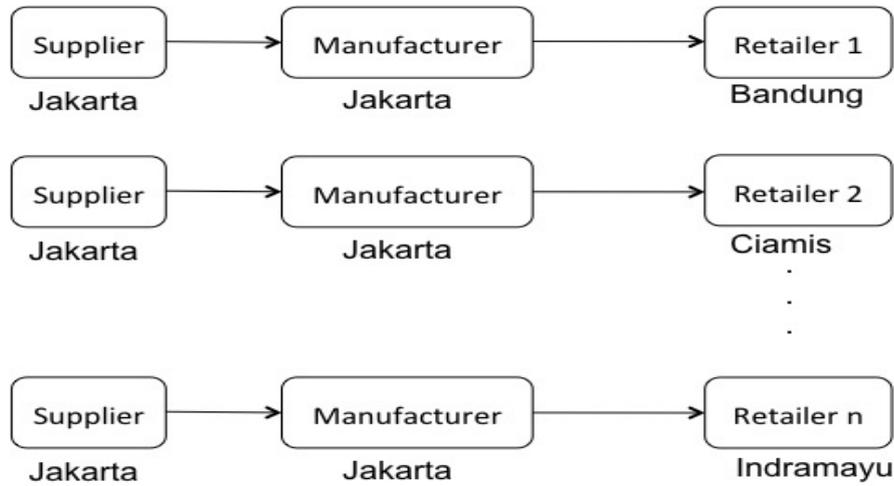
PT.X yang bergerak di bidang usaha perakitan kendaraan bermotor jenis niaga berlokasi di Jakarta. Pemasok material untuk PT. X berasal dari daerah Jakarta dan sekitarnya. Pada penelitian ini diasumsikan bahwa pasokan material untuk PT. X berasal dari satu pemasok (*single supplier*). Di wilayah Jawa 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. 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 pasok yang sifatnya linear (lihat Gambar 4.3).

Pada contoh perhitungan 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  $z_\alpha$  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 per hari, Rp. 2 per unit per hari dan Rp. 1 per unit per hari. Waktu produksi di Retailer 1 adalah 1 hari dengan standar deviasi sebesar 0 hari atau bersifat deterministik. Waktu produksi di Manufacturer adalah 2 hari dengan standar deviasi 1 hari, sedangkan waktu produksi di Supplier sebesar 1 hari dengan standar deviasi 1 hari.



Gambar 4.2: Distribusi rantai pasok PT. X

Retailer di Bandung menjanjikan pada konsumen bahwa lead time pemesanan adalah sebesar 0 hari, artinya konsumen selalu mendapatkan produk dari retailer tersebut saat itu juga. 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 antara Manufacturer dan Supplier



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

tidak melebihi 3 hari. Data-data parameter tersebut kemudian diformulasikan ke dalam file data (\*.dat) seperti pada Gambar 4.4.

### 4.3 Evaluasi Metode Optimasi Tangguh

Perhitungan untuk memecahkan masalah dengan model optimasi tangguh dilakukan dengan perangkat lunak FilmINT yang tersedia dalam server NEOS yang dimiliki oleh Morgridge Institute for Research (<http://www.neos-server.org/>). FilmINT didasarkan pada algoritma LP/NLP (Program Linear/Non linear) yang menggabungkan dua algoritma, yaitu: algoritma *branch and cut* MINTO untuk permasalahan *Mixed Integer Linear Programming* (MILP) dan algoritma filterSQP untuk memecahkan sub masalah yang bersifat non linear. Waktu total perhitungan adalah 1.08 detik dengan ongkos total sebesar Rp. 253 per hari. Gambar 4.5 menunjukkan output dari perhitungan dengan menggunakan FilmINT. Solusi optimal diperoleh dengan menggunakan persediaan pengaman sebesar 24 unit di stage 1, 32 unit di stage 2 dan 24 unit di stage 3 dengan waktu yang dijanjikan oleh stage 1, 2 dan 3 masing-masing sebesar 0 hari. Ini berarti semua stage menjanjikan bahwa permintaan segera dipenuhi saat itu juga. Ongkos simpan untuk solusi ini diperoleh sebesar Rp. 141 per hari. Pada masalah ini diasumsikan bahwa deviasi persediaan pengaman dari yang seharusnya diberi bobot penalti ( $\omega$ ) sebesar 1.

Pada masalah yang lain (lihat Gambar 4.6), deviasi persediaan pengaman diberi bobot penalti ( $\omega$ ) sebesar 5 artinya tingkat kepentingan ongkos deviasi *over/under stock* lebih besar dibandingkan masalah sebelumnya. Waktu yang dijanjikan oleh stage 1 adalah sebesar 2 hari, sedangkan yang dijanjikan oleh stage 2 adalah 3 hari. Tidak ada persediaan pengaman di stage 1, sedangkan di stage 2 sebesar 24 unit dan 47 unit di stage 3. Solusi masalah ini menunjukkan ongkos simpan yang lebih besar, yaitu sebesar Rp. 150 per hari. Namun nilai deviasi seperti yang ditunjukkan dengan variabel  $e_{js}$ -nya lebih kecil dibandingkan dengan solusi pada

masalah sebelumnya (Bandingkan Gambar 4.5 dan Gambar 4.6). Pada masalah yang pertama nilai  $e_{js}$  lebih besar dibandingkan dengan solusi dari masalah yang kedua.

Dengan demikian dapat dievaluasi bahwa metode optimasi tangguh ini sangat tergantung dari bagaimana pengambil keputusan menentukan bobot penalti ( $\omega$ ) dan bobot variabilitas ongkos ( $\lambda$ ) dalam penentuan fungsi tujuan. Pada optimasi tangguh biasanya nilai variabilitas dari fungsi tujuan diharapkan seminimum mungkin. Ini berarti bahwa skenario apapun yang terjadi, performansi rantai pasok tetap dapat dipertahankan (lebih stabil). Keuntungan metode optimasi tangguh ini adalah memberikan kepastian yang lebih tinggi bahwa rencana rantai pasok akan lebih tangguh terhadap terjadinya gangguan-gangguan.

```
robust.dat
param n:=3;
param lambda:=1;
param zalpha:=2.33;
param sigma:= 10;
param h:=
    1      1
    2      2
    3      2.2    ;
param S:=9;
param p:=
    1      0.04
    2      0.12
    3      0.04
    4      0.12
    5      0.36
    6      0.12
    7      0.04
    8      0.12
    9      0.04    ;

param T(tr):
    1      2      3      :=
1      0      1      1
2      0      2      1
3      0      3      1
4      1      1      1
5      1      2      1
6      1      3      1
7      2      1      1
8      2      2      1
9      2      3      1    ;

param muT:=
    1      1
    2      2
    3      1    ;
```

Gambar 4.4: Data file

```

Cyberoam NEOS Job #2370484
FILMINT (AMPL) v0.0000000001: Optimal solution found
z = 252.2

L [*] :=
1 0
2 0
3 0
;

SS [*] :=
1 23.3
2 32.9512
3 23.3
;

es [*,*] (tr)
:      1      2      3      :=
1  -23.3    -9.65118  0
2  -23.3      0      0
3  -23.3     7.40561  0
4   0      -9.65118  0
5   0         0      0
6   0     7.40561  0
7   9.65118  -9.65118  0
8   9.65118   0      0
9   9.65118   7.40561  0
;

xi [*] :=
1 173.414
2 163.762
3 171.168
4 150.114
5 140.462
6 147.868
7 159.765
8 150.114
9 157.519
;

xibar = 150.464

sum{j in 1 .. n} h[j]*SS[j] = 140.462

z - xibar = 101.736

```

Gambar 4.5: Output file 1

Cyberoam	NEOS Job #2370481
----------	-------------------

```

FilMINT (AMPL) v0.0000000001: Optimal solution found
z = 2276.47

L [*] :=
1 2
2 3
3 0
;

SS [*] :=
1 0
2 23.3
3 46.6
;

es [*,*] (tr)
: 1 2 3 :=
1 0 -23.3 0
2 0 0 0
3 0 9.65118 0
4 0 -23.3 0
5 0 0 0
6 0 9.65118 0
7 0 -23.3 0
8 0 0 0
9 0 9.65118 0
;

xi [*] :=
1 265.62
2 149.12
3 197.376
4 265.62
5 149.12
6 197.376
7 265.62
8 149.12
9 197.376
;

xibar = 182.071

sum{j in 1 .. n} h[j]*SS[j] = 149.12

z - xibar = 2094.4

```

---

Gambar 4.6: Output file 2

# Bab 5

## Kesimpulan dan Saran

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

### 5.1 Kesimpulan

Penelitian ini mencoba menyelesaikan permasalahan di sebuah rantai pasok dengan cara analitik. Formulasi masalah yang dihasilkan bersifat non linear karena adanya parameter stokastik baik dari segi permintaan maupun dari segi lead time atau waktu produksi. Metode optimasi tangguh telah diusulkan untuk mendapatkan rencana yang tangguh, yaitu mampu bertahan dan menunjukkan performansi yang stabil meskipun terjadi kemunculan berbagai skenario.

Hasil penelitian ini dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Permasalahan PT. X yang berbentuk distribusi ke retailer-retailer dapat dimodifikasi menjadi  $n$  buah masalah yang linear.
2. Masalah yang linear ini berkaitan dengan perencanaan strategis, yaitu menentukan lokasi dan jumlah persediaan pengaman di setiap stage di PT. X, yaitu mulai dari Supplier, Manufacturer dan Retailernya.
3. Formulasi masalah dilakukan dengan menggunakan metode optimasi tangguh agar performansi PT. X tetap stabil atau tangguh terhadap kemunculan skenario lead time yang berbeda-beda.
4. Formulasi masalah masih bersifat non linear yang masuk kategori MINLP (*Mixed Integer Non Linear Programming*) sehingga perlu diselesaikan dengan perangkat lunak yang khusus.
5. Sebuah bahasa program yang disebut dengan AMPL telah dikembangkan untuk menyelesaikan model masalah yang telah dibuat.
6. Perangkat lunak yang digunakan adalah FilmINT dari NEOS server yang menunjukkan solusi dalam waktu yang relatif cepat.

7. Solusi masalah yang memberikan bobot penalti besar untuk deviasi dari persediaan pengaman yang seharusnya memberikan variasi nilai yang lebih kecil dibandingkan masalah yang yang diberi bobot yang lebih kecil.
8. Metode optimasi tangguh dapat menyelesaikan masalah dengan tetap memperhatikan kestabilan performansi dari sebuah rencana rantai pasok.

## 5.2 Saran

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

1. mengembangkan formulasi masalah untuk masalah rantai pasok yang tidak hanya linear tetapi juga sekaligus distribusi retailer atau pada perusahaan yang memiliki beberapa supplier untuk merakit produknya
2. mengembangkan metode optimasi tangguh yang secara simultan menyelesaikan masalah-masalah strategis yang lain, misalnya perencanaan kapasitas.

Dengan demikian, PT. X atau perusahaan lainnya dapat membuat sebuah rencana strategis yang lebih realistis dengan permasalahan sebenarnya sehingga performansi perusahaan tetap tangguh (stabil) meskipun terjadi gangguan-gangguan atau ada parameter masalah yang bersifat stokastik.

# Daftar Pustaka

- [1] 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.
- [2] Geary, S., Childerhouse, P., Towill, D., 2002. Uncertainty and the seamless supply chain. *Supply Chain Management Review* 6 (4), 52-60.
- [3] Graves, S. C., Willems, S. P., 2000. Optimizing strategic safety stock placement in supply chains. *Manufacturing and Service Operations Management* 2 (1), 68–83.
- [4] Laguna, M., 1998. Applying robust optimization to capacity expansion for one location in telecommunications with demand uncertainty. *Management Science* 44 (11), 101–110.
- [5] Mulvey, J. M., Vanderbei, R. J., Zenios, S. A., 1995. Robust optimization of large scale systems. *Operations Research* 43 (2), 264-281.
- [6] 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.
- [7] Sitompul, C., Suryadi, D., 2011. Perencanaan rantai pasok di level strategis. Laporan Penelitian LPPM Universitas Katolik Parahyangan, Bandung, Indonesia.
- [8] Vidal, C.J., Goetschalckx, M., 2000. Modeling the effect of uncertainties on global logistic systems. *Journal of Business Logistics* 21 (1), 95–120.
- [9] Wang, G., Huang, S., Dismukes, J., 2005. Manufacturing supply chain design and evaluation. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 25, 93–100.
- [10] Wu, D., Olson, D., 2008. Supply chain risk, simulation, and vendor selection. *International Journal of Production Economics* 114, 646–655.
- [11] 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.

- [12] Yu, C. S., Li, H.-L., 2000. A robust optimization model for stochastic logistic problems. *International Journal of Production Economics* 64 (385-397).