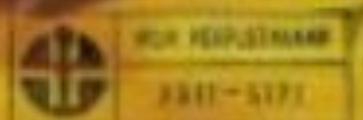


ISSN 1979-3638

Journal of **Logistics and Supply Chain Management**

Volume 1, Number 1, February 2008



Published by:

DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING, UNIVERSITY OF SURABAYA
and
ASOSIASI LOGISTIK INDONESIA

JUNE 2008

ISSN

1979-3638

ISSN 1979-3638

ISSN 1979-3638

ISSN 1979-3638

Journal of
Logistics and
Supply Chain Management

Volume 3, Number 3, October 2013

Editorial	
Perancangan Jaringan Distribusi LPG 3 Kg di Malang, Jawa Timur	121 – 131
Yudi Ekasari, Joniarto Parung dan Indri Hapsari	
Pengembangan Model Optimasi Closed Loop Supply Chain untuk Multi Produk Menggunakan Fuzzy Goal Programming	132 – 143
Andrianto Hendrawan, Amelia Santoso dan Dina Natalia Prayogo	
Perancangan Sistem Pengukuran dan Perbaikan Kinerja Logistik pada Industri Makanan Ringan Di CV. Jaya Raya Food Surabaya	144 – 156
Aurelius Erwin Linando, Dina Natalia Prayogo, dan Lisa Mardiono	
Konsep Perbaikan Kinerja Supply Chain Management dengan Pendekatan SCOR Model	157 – 170
Ajeng Pratiwi dan Harjadi Sarjono	
Perancangan Algoritma <i>Tabu Search</i> untuk <i>Vehicle Routing Problem with Time Windows</i> di Distributor PT Intermas Tata Trading, Surabaya	171 - 180
Christian Tri Cahya	

Pengembangan Model Optimasi *Closed Loop Supply Chain* untuk Multi Produk Menggunakan *Fuzzy Goal Programming*

Andrianto Hendrawan, **Amelia Santoso**, dan Dina Natalia Prayogo
Jurusan Teknik Industri, Universitas Surabaya
Raya Kalirungkut, Surabaya 60293, Indonesia
E-mail: fluid_trinitron@yahoo.com

Abstrak

Pada saat ini, kompetisi di dunia industri semakin meningkat, diperlukan kerja sama dan koordinasi seluruh bagian dari rantai supply chain, oleh karena itu diperlukan closed loop supply chain. Penelitian ini dimulai dengan melakukan uji coba pada model awal. Model awal terdiri dari 5 eselon yaitu pusat inspeksi, pusat distribusi, pusat disposal, pusat recovery dan retail. Pada model awal tidak terdapat forward supply chain, armada, dan hanya terdiri dari satu periode serta satu jenis produk. Total biaya pada model awal sebesar Rp 631.630.900.000,00. Model usulan 1 terdiri dari 7 eselon, armada, inventory, multi produk, dan multi periode namun masih single objective. Total biaya model usulan 1 sebesar Rp 261.780.200.000,00 dimana total biaya terdiri dari fixed cost dan variable cost setiap eselon, biaya inventory, biaya pesan, biaya bahan baku, dan biaya armada. Sedangkan nilai service level pada model usulan 1 sebesar 80%. Model usulan 2 sama dengan model usulan 1 namun pada fungsi tujuan ditambahkan maksimasi service level. Model usulan 2 ini diselesaikan menggunakan metode Fuzzy Goal Programming. Hasil perhitungan model usulan 2 untuk minimasi total biaya sebesar Rp 262.568.600.000,00 dan untuk maksimasi service level sebesar 95,55%. Pada analisa sensitivitas diketahui tidak adanya parameter yang berpengaruh terhadap fungsi tujuan.

Kata kunci: Closed Loop Supply Chain, Fuzzy Goal Programming, Forward Supply Chain

Abstract

Nowadays, because of increasing in the industry competition, more cooperation and coordination of all components in the close-loop supply chain is required. The close-loop system will be developed by testing the initial model. The initial model is consisted of 5 echelons : inspection centers, distribution centers, disposal centers, recovery centers and retail. There is no forward supply chain and fleet in the initial model, and it only consists of one period and one variety of product. The total cost of the initial model is Rp 631.630.900.000,00. The first model modification consists of 7 echelon, fleet, inventory, for multi-product, multi-period and single objective. The total cost for the first model is Rp 261.780.200.000,00 while the total cost consists of fixed and variable cost per echelon, inventory costs, order cost, raw material costs, and transportation cost. The service level in this model proposed is 80%. The second modification model is similar with the first model, except for one objective function to maximize the service level. The second model was solved using Fuzzy Goal Programming, with total cost of Rp 262.568.600.000,00 and the service level was 95,55%. None of the parameters in sensitivity analysis have any influence to objective function.

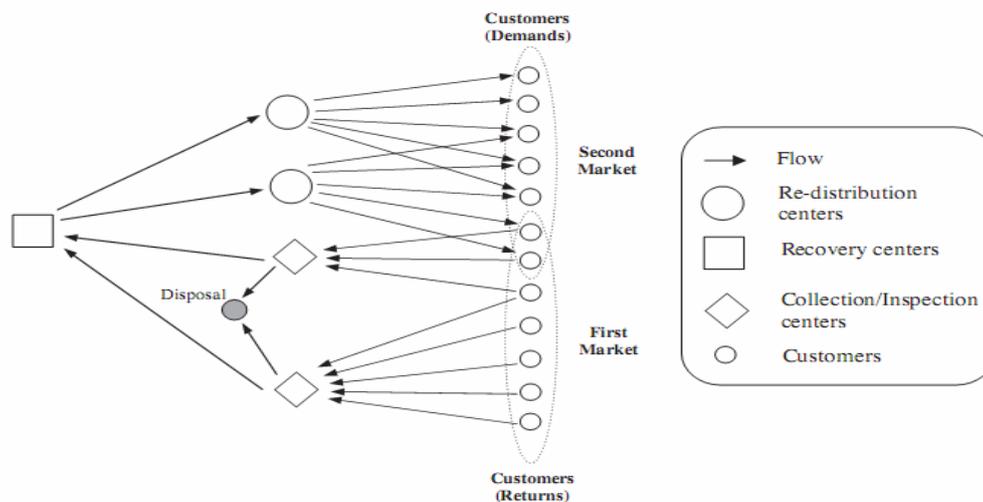
Keywords: Closed Loop Supply Chain, Fuzzy Goal Programming, Forward Supply Chain

1. Pendahuluan

Saat ini terdapat banyak sumber energi yang tidak dapat didaur ulang seperti minyak dan gas bumi, namun sebaliknya ada juga sumber daya yang dapat dipertahankan sifat fisik dan kimia selama penggunaan sehingga apabila berada dibawah kondisi yang tepat dapat didaur ulang dan digunakan kembali, oleh karena itu pihak pemerintah mulai mengeluarkan kebijakan demi melindungi lingkungan, serta munculnya aktivis kelompok masyarakat yang berperan terhadap lingkungan. Akibatnya perusahaan semakin dibebani dengan tanggung jawab atas tindakan yang mempengaruhi lingkungan sehingga setiap perusahaan berusaha untuk membangun rangkaian *supply chain* yang tidak merusak lingkungan.

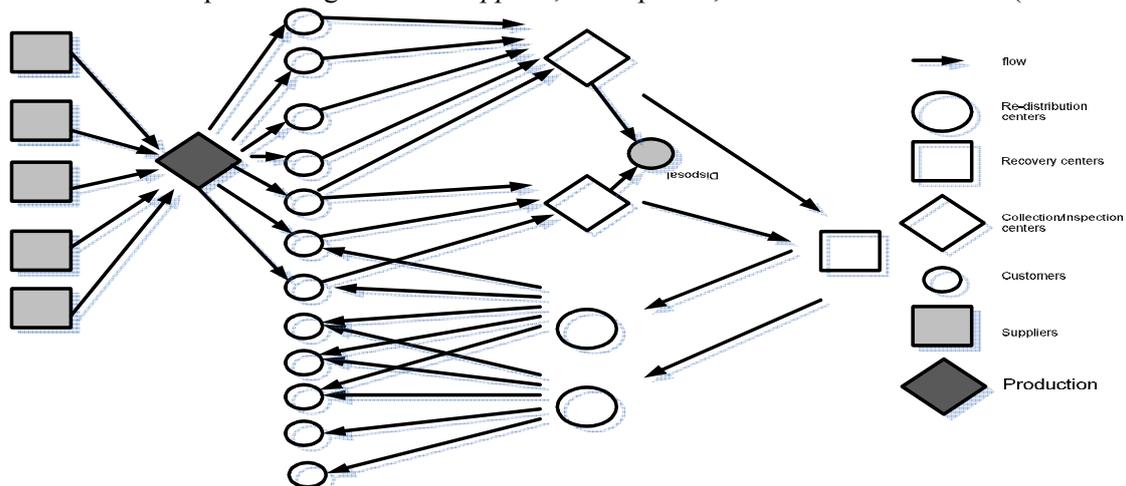
Rangkaian *supply chain* terdiri dari *supplier*, pabrik, distributor, dan *retailer*. Aktivitas yang dilakukan bermacam-macam, mulai dari pembelian, produksi, distribusi hingga produk sampai di tangan *retailer*. Bentuk inilah yang sering digunakan orang-orang untuk menggambarkan *supply chain*. Namun, gambaran tersebut hanyalah *forward supply chain*. Selain *forward supply chain* masih ada *reverse supply chain* yang berperan dalam daur ulang produk yang dikembalikan konsumen ke perusahaan yang disebut juga *closed loop supply chain*.

Sistem *closed loop supply chain* yang dikembangkan mengacu pada Pishavee et al. [1]. Struktur *closed loop supply chain* dalam model yang dikembangkan oleh Pishavee et al. terdiri dari pusat inspeksi, pusat pemulihan, pusat pembuangan, pusat redistribusi dan *retailer* (Gambar 1). Pishavee et al membahas *reverse supply chain*, yaitu penyaluran produk retur dari *retailer* ke pusat inspeksi sehingga dapat dipisahkan produk yang dapat diperbaiki dengan yang tidak. Produk yang dapat diperbaiki akan dibawa ke pusat pemulihan dan dikirim ke pusat redistribusi sehingga dapat kembali ke *retailer*.



Gambar 1. Skema Jaringan Reverse Supply Chain

Model Pishavee et al. tidak membahas *supplier* bahan baku dan pabrik yang dibutuhkan dalam *forward supply chain* sedangkan kenyataannya hal tersebut sangat penting. Oleh karena itu dalam penelitian ini akan dipertimbangkan *multi supplier*, multi pabrik, dan multi multi armada (Gambar 2).



Gambar 2. Skema Jaringan Closed Loop Supply Chain

Selain itu, pada model optimasi Pishavee et al. diketahui hanya dibahas 1 jenis produk padahal pada kondisi *riil* pabrik membuat banyak produk, sehingga dalam pengembangan model akan diterapkan multi produk. Dalam penelitian ini juga akan dilakukan pengembangan model dari *single objective* menjadi *multi objective*. Seringkali perusahaan hanya memikirkan keuntungan tanpa

memikirkan *customer*. Oleh karena itu, dalam penelitian ini ditambahkan tujuan kedua yaitu memaksimalkan *service level* serta mencari parameter-parameter yang berpengaruh terhadap perubahan fungsi tujuan dengan cara melakukan analisa sensitivitas.

2. Metode

Langkah awal dalam penelitian ini adalah mengidentifikasi masalah. Berdasarkan tinjauan pustaka awal, diperoleh celah pada model matematika acuan dengan kondisi *riil* sehingga diperlukan suatu pengembangan usulan. Pada model awal, model matematis hanya berdasar satu produk saja serta tidak terdapat *supplier* dan pabrik untuk *forward supply chain* sedangkan pada kondisi *riil* terdapat multi produk, *multi supplier*, dan pabrik.

Sebelum dilakukan penelitian, maka terlebih dahulu harus diketahui hal apa yang akan diteliti dan permasalahan apa yang ada. Permasalahan tersebut adalah bagaimana mengembangkan model matematika dalam mengoptimalkan *closed loop supply chain* dengan menerapkan multi produk dan *multi supplier*, sehingga didapatkan total biaya yang minimal dan memaksimalkan *service level* perusahaan. Setelah memahami permasalahan yang sudah ada maka perlu ditetapkan tujuan penelitian agar penelitian lebih terarah serta dapat ditentukan batasan yang jelas. Tujuan dari penelitian adalah mengembangkan sebuah model matematika untuk *closed loop supply chain* dengan multi produk dan *multi supplier* [1]. Kemudian perlu dilakukan analisis sensitivitas untuk mengetahui pengaruh perubahan variabel-variabel terkait terhadap perubahan keputusan yang mempengaruhi keputusan optimal.

Langkah berikutnya melakukan studi pustaka untuk dapat menyelesaikan permasalahan yang ada. Setelah mempelajari literatur-literatur yang sesuai, diharapkan penulis dapat melakukan tahap-tahap penyelesaian masalah dengan didasarkan pada suatu dasar tertentu. Teori-teori tersebut adalah *supply chain management*, *closed loop supply chain*, *goal programming*, *fuzzy goal programming* dan jurnal-jurnal yang berhubungan dengan *closed loop supply chain*

Model awal dan model yang telah dikembangkan akan diaplikasikan pada studi kasus. Data-data input pada studi kasus ini berupa data hasil *generate*. Periode yang akan digunakan adalah 30 bulan karena berhubungan dengan pengambilan keputusan. Data-data yang menjadi input penelitian sebagai berikut:

- *Demand* tiap jenis produk dari setiap *retailer*
- *Return* tiap jenis produk dari setiap *retailer*
- Biaya produksi dan transportasi tiap jenis produk
- Biaya inspeksi, biaya pemulihan, biaya redistribusi, biaya pembuangan tiap-tiap produk
- Biaya *demand* yang tidak terpenuhi tiap *retailer*
- Biaya tetap pengoperasian pabrik, pusat inspeksi, pusat pemulihan, dan pusat redistribusi
- Kapasitas maksimum pabrik, pusat inspeksi, pusat pemulihan, pusat redistribusi, tempat pembuangan, dan armada transportasi
- Biaya simpan masing-masing produk di pabrik dan pusat pemulihan

Berdasarkan hasil analisis mengenai kekurangan dan kelebihan model awal maka langkah selanjutnya mengembangkan model matematis sehingga terbentuk model usulan yang sesuai dengan tujuan penelitian. Model usulan tidak terlepas dari asumsi dan diharapkan dapat mengatasi kekurangan pada model awal yaitu menambahkan multi produk dan *multi supplier* sehingga terbentuk *forward supply chain* pada model yang ada. Hal ini dilakukan dengan membuat model usulan secara bertahap melalui 2 tahapan. Model usulan pertama adalah model hasil pengembangan dengan menambahkan *forward supply chain* kedalam model serta memberikan batasan kapasitas armada dan *inventory*. Model usulan kedua adalah model usulan pertama yang ditambahkan fungsi tujuannya yaitu maksimasi *service level*. Model usulan kedua akan diselesaikan dengan *fuzzy goal programming*. Pengembangan model akan dilakukan secara bertahap.

Langkah selanjutnya adalah mengaplikasikan studi kasus terhadap model usulan sehingga dapat dilakukan analisis terhadap hasil *output* model usulan dan melakukan analisis sensitivitas untuk mengetahui sejauh mana perubahan parameter *input* terhadap hasil optimal yang didapat. Analisis

sensitivitas ini berguna untuk mengetahui kepekaan model apabila terjadi perubahan pada parameter *input*. Berdasarkan hasil penelitian model yang dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan mengenai penelitian yang telah dilakukan. Selain itu dapat juga diberikan saran-saran untuk perkembangan model pada masa mendatang

3. Hasil dan Diskusi

Dalam pengembangan model usulan yang dilakukan, model akan dikembangkan sebanyak dua kali. Pengembangan pertama berkaitan dengan penambahan fasilitas yaitu *supplier* dan pabrik serta menambahkan armada, sistem *inventory*, dan pada pengembangan kedua akan dilakukan pengembangan fungsi tujuan yang semula *single objective* menjadi *multi objective* dengan fungsi tujuan meminimalkan *total cost* dan memaksimalkan *service level*.

3.1 Model Usulan 1

Model usulan 1 dibuat dengan menambahkan fasilitas pabrik dan *supplier*, menambahkan armada, dan menerapkan sistem *inventory*. Indeks, parameter, variabel keputusan, dan model matematis yang digunakan sebagai berikut:

Indeks

- Z = $\{1, \dots, N_z\}$ pabrik potensial,
- S = $\{1, \dots, N_s\}$ *supplier* potensial
- P = $\{1, \dots, N_p\}$ macam produk yang ada,
- I = $\{1, \dots, N_i\}$ pusat inspeksi potensial,
- J = $\{1, \dots, N_j\}$ pusat *recovery* potensial,
- K = $\{1, \dots, N_k\}$ *retailer* potensial,
- M = $\{1, \dots, N_m\}$ pusat distribusi potensial,
- N = $\{1, \dots, N_n\}$ pusat *disposal* potensial,
- T = $\{1, \dots, N_t\}$ macam bulan yang ada,
- A = $\{1, \dots, N_a\}$ macam armada yang ada,
- B = $\{1, \dots, N_b\}$ macam bahan baku yang ada,

Parameter

- CBS_{bs} = Biaya bahan baku b pada *supplier* s
- FZ_z = Biaya pengoperasian pabrik z
- FS_s = Biaya pengoperasian pabrik s
- FI_i = Biaya pengoperasian pusat inspeksi i
- CAZ_{az} = Biaya pemakaian armada a pada pabrik z
- CPJ_{pj} = Biaya variabel per unit produk p pada pusat *recovery* j
- FM_m = Biaya pengoperasian pusat distribusi m
- π_k = Biaya *demand* tidak terpenuhi dari *retailer* k
- CPK_{pk} = Biaya pengiriman produk p ke *retailer* k
- CPM_{pm} = Biaya variabel per unit produk p pada pusat distribusi m
- CPI_{pi} = Biaya variabel per unit produk p pada pusat inspeksi i
- CAJ_{aj} = Biaya pemakaian armada a pada pusat *recovery* j
- $CIPJ_{pj}$ = Biaya simpan per unit produk p di pusat *recovery* j
- $CIPZ_{pz}$ = Biaya simpan per unit produk p di pabrik z
- $CIBZ_{bz}$ = Biaya simpan per unit bahan baku b di pabrik z
- CPZ_{pz} = Biaya variabel per unit produk p pada pabrik z
- CKI_{ki} = Biaya variabel pengiriman per unit dari *retail* k menuju pusat inspeksi i
- A_{ij} = Biaya variabel pengiriman per unit dari pusat inspeksi i menuju pusat *recovery* j
- V_{in} = Biaya variabel pengiriman per unit dari pusat inspeksi i menuju pusat *disposal* n
- B_{jm} = Biaya variabel pengiriman per unit dari pusat *recovery* j menuju pusat distribusi m
- E_{mk} = Biaya variabel pengiriman per unit dari pusat distribusi m menuju *retail* k
- U_{zm} = Biaya variabel pengiriman per unit dari pabrik z menuju pusat distribusi m

- FJ_j = Biaya pengoperasian pusat *recovery j*
 CPN_{pn} = Biaya variabel per unit produk p pada pusat *disposal n*
 G_{pb} = Jumlah bahan baku b yang dibutuhkan untuk membuat produk p
 $DPKT_{pkt}$ = *Demand* produk p dari *retailer k* pada bulan t
 R_{pkit} = *Return* produk p dari *retailer k* ke pusat inspeksi i pada bulan t
 $CCAZ_z$ = Kapasitas maksimal pabrik z
 $CCIZ_z$ = Kapasitas minimal pabrik z
 $CCAAZ_{az}$ = Kapasitas maksimum armada a milik pabrik z
 $CCIAZ_{az}$ = Kapasitas minimum armada a milik pabrik z
 $CCAAJ_{aj}$ = Kapasitas maksimum armada a milik pusat *recovery j*
 $CCIAJ_{aj}$ = Kapasitas minimum armada a milik pusat *recovery j*
 $CCAN_n$ = Kapasitas maksimum pusat *disposal n*
 $CCIN_n$ = Kapasitas minimum pusat *disposal n*
 $CCAJ_j$ = Kapasitas maksimum pusat *recovery j*
 $CCIJ_j$ = Kapasitas minimum pusat *recovery j*
 $CCAS_s$ = Kapasitas maksimum *supplier s*
 $CCIS_s$ = Kapasitas minimum *supplier s*
 $CCAI_i$ = Kapasitas maksimum pusat inspeksi i
 $CCII_i$ = Kapasitas minimum pusat inspeksi i
 $CCAM_m$ = Kapasitas maksimum pusat distribusi m
 $CCIM_m$ = Kapasitas minimum pusat distribusi m
 $IAPZ_{pz}$ = Kapasitas *inventory* maksimum produk p pada pabrik z
 $IAPJ_{pj}$ = Kapasitas *inventory* maksimum produk p pada pusat *recovery j*
 $IIPZ_{pz}$ = Kapasitas *inventory* minimum produk p pada pabrik z
 $IIPJ_{pj}$ = Kapasitas *inventory* minimum produk p pada pusat *recovery j*
 $IBZA_{bz}$ = Kapasitas *inventory* maksimum bahan baku b pada pabrik z
 $IIBZ_{bz}$ = Kapasitas *inventory* minimum bahan baku b pada pabrik z
- Variabel keputusan:
- BL_{bst} = Jumlah bahan baku b yang dibeli *supplier s* untuk pabrik z pada bulan t
 B_{pbst} = Jumlah bahan baku b yang dibutuhkan untuk produksi produk p pada pabrik z dan pada bulan t
 δ_{pkt} = *Demand* produk p dari *retailer k* pada bulan t yang tidak terpenuhi
 $DPMKT_{pmkt}$ = Jumlah produk p yang dikirim ke *retailer k* dari pusat distribusi m pada bulan t
 $DPKIT_{pkit}$ = Jumlah produk p dari *retailer k* yang dikirim ke pusat inspeksi i pada bulan t
 VZ_{pzmat} = Jumlah produk p yang dikirim menuju pusat distribusi m dari pabrik z menggunakan armada a pada bulan t
 $DPINT_{pint}$ = Jumlah produk p yang dikirim dari pusat inspeksi i menuju pusat *disposal n* pada bulan t
 $DPIJT_{pijt}$ = Jumlah produk p yang dikirim dari pusat inspeksi i menuju pusat *recovery j* pada bulan t
 VJ_{pjmat} = Jumlah produk p yang dikirim menuju pusat distribusi m dari pusat *recovery j* menggunakan armada a pada bulan t
 $DPJMT_{pjmt}$ = Jumlah produk p yang dikirim dari pusat *recovery j* menuju pusat distribusi m pada bulan t
 P_{pzt} = Jumlah produk p yang diproduksi pabrik z pada bulan t
 IPZ_{pzt} = Jumlah produk p yang disimpan pada pabrik z pada bulan t
 IBZ_{bst} = Jumlah bahan baku b yang disimpan pada pabrik z pada bulan t
 IPJ_{pjz} = Jumlah produk p yang disimpan pada pusat *recovery j* pada bulan t
 YZ_{zt} = 1 jika pabrik z dioperasikan atau 0 jika pabrik z tidak dioperasikan pada bulan t
 YS_{st} = 1 jika *supplier s* pesan pada *supplier s* atau 0 jika tidak pesan pada *supplier s* pada

- bulan t
- YAZ_{azt} = 1 jika armada a milik pabrik z dioperasikan atau 0 jika armada a milik pabrik z tidak dioperasikan pada bulan t
- YAJ_{ajt} = 1 jika armada a milik pusat *recovery* j dioperasikan atau 0 jika armada a milik pusat *recovery* j tidak dioperasikan pada bulan t
- YN_{nt} = 1 jika pusat *disposal* n dioperasikan atau 0 jika pusat *disposal* n tidak dioperasikan pada bulan t
- YJ_{jt} = 1 jika pusat *recovery* j dioperasikan atau 0 jika pusat *recovery* j tidak dioperasikan pada bulan t
- YI_{it} = 1 jika pusat inspeksi i dioperasikan atau 0 jika pusat inspeksi i tidak dioperasikan pada bulan t
- YM_{mt} = 1 jika pusat distribusi m dioperasikan atau 0 jika pusat distribusi m tidak dioperasikan pada bulan t

Keterangan:

- Biaya variabel pengiriman adalah biaya yang dikenakan pada setiap produk berdasarkan jarak pengiriman.
- Biaya pengoperasian adalah biaya yang dikeluarkan apabila fasilitas tersebut beroperasi
- Biaya variabel adalah biaya yang dikenakan pada setiap produk untuk mengolah produk tersebut.

Fungsi tujuan model *integrasi forward* dan *reverse supply chain* ini adalah meminimalkan total biaya yang terdiri dari biaya beroperasi tidaknya fasilitas, biaya variabel tiap fasilitas, biaya *demand* tidak terpenuhi, biaya *inventory*, biaya variabel perpindahan produk dan biaya pembelian bahan baku. Model matematis fungsi tujuan dan batasan-batasan yang digunakan sebagai berikut:

Min = Biaya pabrik + Biaya bahan baku + Biaya pengiriman dari pabrik menuju pusat distribusi + Biaya pengiriman dari *retail* ke pusat inspeksi + Biaya pengiriman dari pusat inspeksi ke pusat *recovery* + Biaya pengiriman dari pusat *recovery* ke pusat *redistribusi* + Biaya pengiriman dari pusat distribusi ke *retail* + Biaya pengiriman dari pusat inspeksi ke pusat *disposal* + Biaya pesan + Biaya pusat inspeksi + Biaya pusat *disposal* + Biaya pusat *recovery* + Biaya pusat distribusi + Biaya *retail* + Biaya armada pabrik + Biaya armada pusat *recovery* + Biaya *unsatisfied demand* + Biaya *inventory* pabrik + Biaya *inventory* pusat *recovery*

Model matematis tiap komponen biaya sebagai berikut:

- Biaya pabrik = $\sum_{z \in Z} \sum_{t \in T} YZ_{zt} \times FZ_z + \sum_{p \in P} \sum_{z \in Z} \sum_{t \in T} P_{pzt} \times CPZ_{pz}$
- Biaya bahan baku = $\sum_{b \in B} \sum_{f \in F} \sum_{z \in Z} \sum_{t \in T} BL_{bzst} \times CBS_{bz}$
- Biaya pengiriman dari pabrik menuju pusat distribusi = $\sum_{p \in P} \sum_{z \in Z} \sum_{m \in M} \sum_{a \in A} \sum_{t \in T} VZ_{pzmat} \times U_{zm}$ Biaya pengiriman dari *retail* ke pusat inspeksi = $\sum_{p \in P} \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} DPKIT_{pkit} \times CKI_{ki}$ Biaya pengiriman dari pusat inspeksi ke pusat *recovery* = $\sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} DPIJT_{pijt} \times A_{ij}$
- Biaya pengiriman dari pusat *recovery* ke pusat *redistribusi* = $\sum_{p \in P} \sum_{j \in J} \sum_{m \in M} \sum_{t \in T} DPJMT_{pjmt} \times B_{jm}$ Biaya pengiriman dari pusat distribusi ke *retail* = $\sum_{p \in P} \sum_{m \in M} \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} DPMKT_{pmkt} \times E_{mk}$
- Biaya pengiriman dari pusat inspeksi ke pusat *disposal* = $\sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{n \in N} \sum_{t \in T} DPINT_{pint} \times V_{in}$
- Biaya pesan = $\sum_{f \in F} \sum_{t \in T} YS_{st} \times FS_s$
- Biaya pusat inspeksi = $\sum_{i \in I} \sum_{t \in T} YI_{it} \times FI_i + \sum_{p \in P} \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} DPKIT_{pkit} \times CPI_{pi}$
- Biaya pusat *disposal* = $\sum_{n \in N} \sum_{t \in T} YN_{nt} \times FN_n + \sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{n \in N} \sum_{t \in T} DPINT_{pint} \times CPN_{pn}$
- Biaya pusat *recovery* = $\sum_{j \in J} \sum_{t \in T} YJ_{jt} \times FJ_j + \sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} DPIJT_{pijt} \times CPJ_{pj}$
- Biaya pusat distribusi = $\sum_{m \in M} \sum_{t \in T} YM_{mt} \times FM_m + \sum_{p \in P} \sum_{j \in J} \sum_{m \in M} \sum_{t \in T} DPJMT_{pjmt} \times CPM_{pm} + \sum_{p \in P} \sum_{z \in Z} \sum_{m \in M} \sum_{a \in A} \sum_{t \in T} VZ_{pzmat} \times CPM_{pm}$
- Biaya *retail* = $\sum_{p \in P} \sum_{m \in M} \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} DPMKT_{pmkt} \times CPK_{pk}$
- Biaya armada pabrik = $\sum_{a \in A} \sum_{z \in Z} \sum_{t \in T} YAZ_{azt} \times CAZ_{az}$
- Biaya armada pusat *recovery* = $\sum_{a \in A} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} YAJ_{ajt} \times CAJ_{aj}$
- Biaya *unsatisfied demand* = $\sum_{p \in P} \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} \delta_{pkt} \times \pi_k$

- Biaya *inventory* pabrik = $\sum_{p \in P} \sum_{z \in Z} \sum_{t \in T} IPZ_{pzt} \times CIPZ_{pz} + \sum_{b \in B} \sum_{z \in Z} \sum_{t \in T} IBZ_{bzt} \times CIBZ_{bz}$
- Biaya *inventory* pusat *recovery* = $\sum_{p \in P} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} IPJ_{pjt} \times CIPJ_{pj}$

Batasan:

$$P_{pzt} = B_{pbzt} / G_{pb}, \forall p \in P, t \in T, z \in Z, b \in B \quad (2)$$

Batasan 2 untuk mendapatkan jumlah bahan baku yang dibutuhkan untuk memenuhi jumlah produk yang diproduksi.

$$\sum_{p \in P} B_{pbzt} \leq \sum_{s \in S} BL_{bszt}, \forall t \in T, z \in Z, b \in B \quad (3)$$

Batasan 3 untuk memastikan jumlah bahan baku yang dibeli lebih besar daripada bahan baku yang digunakan.

$$\sum_{p \in P} B_{pbzt} + I_{bzt} \leq \sum_{s \in S} BL_{bszt} + IBZ_{bz(t-1)}, \forall t \in T, z \in Z, b \in B \quad (4)$$

Batasan 4 untuk memastikan jumlah bahan baku yang digunakan tidak melebihi bahan baku yang dibeli ditambah *inventory* yang ada.

$$\delta_{pkt} + \sum_{m \in M} DPMKT_{pmkt} = DPKT_{pkt}, \forall p \in P, t \in T, k \in K \quad (5)$$

Batasan 5 untuk memastikan *demand* dari *retailer* terpenuhi semuanya, baik *demand* yang terpenuhi maupun yang tidak terpenuhi serta *demand* produk retur.

$$DPKIT_{pkt} = R_{pkt}, \forall p \in P, t \in T, i \in I, k \in K \quad (6)$$

Batasan 6 untuk memastikan semua retur produk akan berada di pusat *inspeksi*.

$$\sum_{z \in Z} \sum_{m \in M} \sum_{a \in A} VZ_{pzmat(t-1)} \geq \sum_{i \in I} R_{pkt}, \forall p \in P, t > 1 \quad (7)$$

Batasan 7 untuk memastikan jumlah barang yang dikirim dari pabrik ke pusat distribusi lebih besar dari barang retur yang dikembalikan.

$$\sum_{n \in N} DPINT_{pint} = 0,2 \times \sum_{k \in K} DPKIT_{pkt}, \forall p \in P, t \in T, i \in I \quad (8)$$

Batasan 8 untuk memastikan 0,2 dari semua produk dari pusat inspeksi sampai ke pusat pembuangan

$$\sum_{j \in J} DPIJT_{pijt} = 0,8 \times \sum_{k \in K} DPKIT_{pkt}, \forall p \in P, t \in T, i \in I \quad (9)$$

Batasan 9 untuk memastikan 0,8 dari semua produk dari pusat inspeksi sampai ke pusat *recovery*.

$$\sum_{a \in A} VJ_{pjmat} = DPJMT_{pjmt}, \forall p \in P, t \in T, j \in J, m \in M \quad (10)$$

Batasan 10 untuk memastikan jumlah barang yang dikirim menggunakan armada dari pusat *recovery* ke pusat distribusi sama dengan yang *demand* pusat distribusi.

$$\sum_{j \in J} DPJMT_{pjmt} + \sum_{a \in A} \sum_{z \in Z} VZ_{pzmat} = \sum_{k \in K} DPMKT_{pmkt}, \forall p \in P, t \in T, m \in M \quad (11)$$

Batasan 11 untuk memastikan jumlah barang yang dikirim oleh pabrik dan barang dari pusat *recovery* sama dengan barang yang berada di pusat distribusi

$$\sum_{m \in M} \sum_{a \in A} VZ_{pzmat} \leq P_{pzt} + IPZ_{pz(t-1)}, \forall p \in P, t \in T, z \in Z \quad (12)$$

Batasan 12 untuk memastikan semua produk yang dikirim dari pabrik menuju pusat distribusi tidak melebihi dari jumlah produksi pabrik

$$\sum_{p \in P} P_{pzt} \leq YZ_{zt} \times CCAZ_z, \forall z \in Z, t \in T \quad (13)$$

$$\sum_{p \in P} P_{pzt} \geq YZ_{zt} \times CCII_z, \forall z \in Z, t \in T \quad (14)$$

Batasan 13 dan 14 untuk memastikan jumlah produk yang di produksi tidak melebihi kapasitas maksimal dan tidak melebihi kapasitas minimal pabrik.

$$\sum_{m \in M} \sum_{a \in A} VZ_{pzmat} + IPZ_{pzt} = P_{pzt} + IPZ_{pz(t-1)}, \forall p \in P, t > T, z \in Z \quad (15)$$

Batasan 15 untuk memastikan jumlah pengiriman dari pabrik menuju pusat distribusi dan *inventory* pabrik pada bulan t sama dengan jumlah yang diproduksi pabrik dan *inventory* pabrik pada bulan (t-1)

$$\sum_{m \in M} \sum_{a \in A} VJ_{pjmat} + IPJ_{pjt} = \sum_{i \in I} DPIJT_{pij(t-1)} + IPJ_{pj(t-1)}, \forall p \in P, t > 1, j \in J \quad (16)$$

Batasan 16 untuk memastikan jumlah pengiriman dari pusat *recovery* menuju pusat distribusi dan *inventory* pusat *recovery* pada bulan t sama dengan jumlah yang dikirim dari pusat *inspeksi* menuju pusat *recovery* dan *inventory* pusat *recovery* pada bulan (t-1)

$$\sum_{m \in M} \sum_{a \in A} VJ_{pjmat} = 0, \forall p \in P, t = 1, j \in J \quad (17)$$

Batasan 17 untuk memastikan jumlah barang yang dikirim dari pusat *recovery* menuju pusat distribusi pada bulan 1 sama dengan 0

$$\sum_{i \in I} DPIJT_{pijt} + IPJ_{pj(t-1)} \geq \sum_{m \in M} \sum_{a \in A} VJ_{pjmat}, \forall p \in P, t \in T, j \in J \quad (18)$$

Batasan 18 untuk memastikan *demand* pada pusat pemulihan lebih besar daripada jumlah barang yang dikirim dari pusat pemulihan menuju pusat distribusi

$$\sum_{m \in M} \sum_{p \in P} VZ_{pzmat} \leq YAZ_{azt} \times CCAAZ_{az}, \forall z \in Z, a \in A, t \in T \quad (19)$$

$$\sum_{m \in M} \sum_{p \in P} VZ_{pzm} \geq YAZ_{azt} \times CCIAZ_{az}, \forall z \in Z, a \in A, t \in T \quad (20)$$

Batasan 19 dan 20 untuk memastikan kapasitas armada pabrik tidak melebihi batas maksimal yang diangkut dan tidak kurang dari batas minimal

$$\sum_{p \in P} \sum_{m \in M} VJ_{pjm} \leq YAJ_{ajt} \times CCAA_{aj}, \forall j \in J, a \in A, t \in T \quad (21)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{m \in M} VJ_{pjm} \geq YAJ_{ajt} \times CCIA_{aj}, \forall j \in J, a \in A, t \in T \quad (22)$$

Batasan 21 dan 22 untuk memastikan kapasitas armada pusat pemulihan tidak melebihi batas maksimal yang diangkut dan tidak kurang dari batas minimal

$$\delta_{pkt} \leq 0,2 \times DPKT_{pkt}, \forall p \in P, t \in T, k \in K \quad (23)$$

Batasan 23 untuk memastikan *demand* yang tidak terpenuhi tidak lebih dari 20% *demand* yang ada.

$$\sum_{p \in P} \sum_{i \in I} DPINT_{pint} \leq YN_{nt} \times CCAN_n, \forall n \in N, t \in T \quad (24)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{i \in I} DPIJT_{pijt} \leq YJ_{jt} \times CCAJ_j, \forall j \in J, t \in T \quad (25)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{k \in K} DPKIT_{pkit} \leq YI_{it} \times CCAI_i, \forall i \in I, t \in T \quad (26)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{j \in J} DPJMT_{pjm} \leq YM_{mt} \times CCAM_m, \forall m \in M, t \in T \quad (27)$$

$$\sum_{b \in B} \sum_{z \in Z} BL_{bszt} \leq YS_{st} \times CCAS_s, \forall s \in S, t \in T \quad (28)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{i \in I} DPINT_{pint} \geq YN_{nt} \times CCN_n, \forall n \in N, t \in T \quad (29)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{i \in I} DPIJT_{pijt} \geq YJ_{jt} \times CCIJ_j, \forall j \in J, t \in T \quad (30)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{k \in K} DPKIT_{pkit} \geq YI_{it} \times CCII_i, \forall i \in I, t \in T \quad (31)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{k \in K} DPMKT_{pmkt} \geq YM_{mt} \times CCIM_m, \forall m \in M, t \in T \quad (32)$$

$$\sum_{b \in B} \sum_{z \in Z} BL_{bszt} \geq YS_{st} \times CCIS_s, \forall s \in S, t \in T \quad (33)$$

Batasan 24 sampai 33 untuk memastikan jumlah kapasitas setiap fasilitas tidak melebihi batas maksimal dan lebih dari batas minimal.

$$IPZ_{pz} \leq IAPZ_{pz}, \forall p \in P, t \in T, z \in Z \quad (34)$$

$$IPJ_{pj} \leq IAPJ_{pj}, \forall p \in P, t \in T, j \in J \quad (35)$$

$$IBZ_{bz} \leq IABZ_{bz}, \forall b \in B, t \in T, z \in Z \quad (36)$$

$$IPZ_{pz} \geq IIPZ_{pz}, \forall p \in P, t \in T, z \in Z \quad (37)$$

$$IPJ_{pj} \geq IIPJ_{pj}, \forall p \in P, t \in T, j \in J \quad (38)$$

$$IBZ_{bz} \geq IIBZ_{bz}, \forall b \in B, t \in T, z \in Z \quad (39)$$

Batasan 34 sampai 39 untuk memastikan jumlah *inventory* produk pada pabrik dan pusat pemulihan tidak lebih dari dari kapasitas maksimum dan tidak kurang dari kapasitas minimum yang telah ditetapkan.

$$YN_{n(t-1)} \leq YN_{nt}, \forall n \in N, t \in T \quad (40)$$

$$YJ_{j(t-1)} \leq YJ_{jt}, \forall j \in J, t \in T \quad (41)$$

$$YI_{i(t-1)} \leq YI_{it}, \forall i \in I, t \in T \quad (42)$$

$$YM_{m(t-1)} \leq YM_{mt}, \forall m \in M, t \in T \quad (43)$$

$$YZ_{z(t-1)} \leq YZ_{zt}, \forall z \in Z, t \in T \quad (44)$$

Batasan 40 sampai 44 untuk memastikan apabila fasilitas sudah beroperasi, maka bulan selanjutnya akan selalu beroperasi.

$$YAZ_{azt} \geq 0, \forall a \in A, t \in T, z \in Z \text{ integer} \quad (45)$$

$$YAJ_{ajt} \geq 0, \forall a \in A, t \in T, j \in J \text{ integer} \quad (46)$$

$$YZ_{zt} \in \{0,1\}, \forall t \in T, z \in Z \quad (47)$$

$$YI_{it} \in \{0,1\}, \forall t \in T, i \in I \quad (48)$$

$$YJ_{jt} \in \{0,1\}, \forall t \in T, j \in J \quad (49)$$

$$YM_{mt} \in \{0,1\}, \forall t \in T, m \in M \quad (50)$$

$$YN_{nt} \in \{0,1\}, \forall t \in T, n \in N \quad (51)$$

Batasan 45 sampai 51 menyatakan domain untuk setiap variabel keputusan.

Setelah model dijalankan menggunakan program Lingo 11 selama 4 jam 6 menit dengan kondisi *feasible*, diperoleh *total cost* yang merupakan fungsi tujuan dari model *integrasi forward* dan *reverse supply chain* sebesar Rp 261.780.200.000,00 dan nilai *service level* sebesar 80%.

3.2 Model Usulan 2

Model usulan 2 merupakan pengembangan dari model usulan 1 dimana model tersebut masih memiliki kekurangan yaitu masih *single objective*. Pada kenyataannya perusahaan tidak hanya melihat dari satu faktor saja melainkan dua atau lebih faktor. Pada model usulan 2 akan dikembangkan mendekati kondisi *riil* dengan menambahkan fungsi tujuan kedua yaitu memaksimalkan *service level*. model ini akan diselesaikan dengan metode *Fuzzy Goal programming*.

Pada model usulan 2, ditambahkan fungsi tujuan yang kedua yaitu memaksimalkan *service level*. Pada bagian ini akan dianalisis mengenai fungsi tujuan, parameter model, dan variabel keputusan tambahan dari yang sudah terdapat pada model usulan 1.

Untuk tujuan memaksimalkan *service level*, akan bertambah fungsi tujuan dan beberapa *constraint* sebagai berikut:

Fungsi tujuan:

$$\text{Max SL} \quad (52)$$

Fungsi tujuan kedua yang ditambahkan yaitu memaksimalkan *service level*

Formula:

$$\sum_{m \in M} D_{pmkt} / D_{pkt} = \text{SERVICELEVEL}, \forall p \in P, t \in T, k \in K \quad (53)$$

$$\text{SERVICELEVEL} \geq \text{SL} \quad (54)$$

Batasan 53 dan 54 untuk mendapatkan nilai *service level* pada tiap produk *p*, *retailer k*, dan bulan *t* dengan cara membagi *demand* terpenuhi dengan keseluruhan *demand* yang ada.

Keunggulan dari metode *fuzzy goal programming* adalah dapat mengakomodasi adanya ketidakpastian dalam pengambilan keputusan. Pada *fuzzy goal programming* masing-masing fungsi tujuan dijalankan secara bergantian. Setelah itu hasilnya akan digunakan untuk memaksimalkan λ .

Langkah penyelesaian *fuzzy goal programming* sebagai berikut:

1. Model dengan fungsi tujuan meminimalkan *total cost* dijalankan. Semua batasan untuk *service level* tetap ditampilkan sehingga akan diperoleh nilai *total cost* dan *service level*. Sehingga didapatkan nilai *total cost* Rp 261.780.200.000,00 dengan nilai *service level* 80%
2. Model dengan fungsi tujuan memaksimalkan *service level* dijalankan dengan semua batasan untuk *total cost* tetap ditampilkan. Sehingga akan diperoleh nilai *service level* sebesar 96,09% dan *total cost* sebesar Rp 284.826.600.000,00
3. Menentukan nilai f dan f^+ untuk masing-masing fungsi tujuan. f ditentukan berdasarkan nilai fungsi tujuan yang terjelek. Apabila tujuannya untuk meminimalkan, maka nilai fungsi tujuan hasil *running* yang memiliki nilai lebih besar ditentukan sebagai f . Sebaliknya, bila tujuannya untuk memaksimalkan, maka nilai fungsi tujuan hasil *running* yang memiliki nilai lebih kecil akan menjadi f . f^+ ditentukan berdasarkan nilai fungsi tujuan yang terbaik. Apabila tujuannya untuk meminimalkan, maka nilai fungsi tujuan hasil *running* yang memiliki nilai lebih kecil ditentukan sebagai f^+ . Sebaliknya, bila tujuannya untuk memaksimalkan, maka nilai fungsi tujuan hasil *running* yang memiliki nilai lebih besar akan menjadi f^+ .
4. Menjalankan model untuk memaksimalkan λ . Sehingga ditambahkan beberapa *constraint* sebagai berikut:

$$\text{Max } \lambda \quad (55)$$

Fungsi tujuan yang ditambahkan untuk *fuzzy goal programming*

Formula:

$$\mu_x \geq \lambda, \forall x \in X \quad (56)$$

$$\mu_x = \frac{f_x^- - f_x}{f_x^- - f_x^+} \quad (57)$$

Batasan 57 untuk fungsi dengan tujuan minimasi

$$\mu_x = \frac{f_x - f_x^-}{f_x^+ - f_x^-} \quad (58)$$

Batasan 58 untuk fungsi dengan tujuan maksimasi

Pembahasan dalam penelitian ini akan dilakukan berdasarkan *running* ke 3 karena merupakan nilai tengah optimal antara *running* 1 dan 2, dengan nilai total biaya sebesar Rp 262.568.600.000,00 dan nilai *service level* 95,54%. Berdasarkan hasil yang didapat, fasilitas yang dioperasikan mulai dari bulan 1 adalah pabrik, pusat inspeksi, pusat *disposal* 1, pusat distribusi dan pusat *recovery*, sedangkan pusat *disposal* 2 tidak beroperasi sama sekali. Khusus *supplier* keputusan yang didapat bukan beroperasi atau tidak melainkan menggunakan jasa *supplier* tersebut atau tidak, sehingga didapatkan hasil bahwa pabrik tidak memesan bahan baku dari *supplier* satu pada bulan 2, 5, 7, dan 16 sedangkan pada *supplier* dua pada bulan 9, 11, 12, 14, 17, 19, 21, 22, 26, 28, dan 30. Pada *supplier* 3 pada bulan 24 saja. Untuk armada, tidak ada armada pusat *recovery* yang beroperasi pada bulan 1 sedangkan pada armada pabrik hanya armada 1 dan 4 sedangkan pada bulan lain sudah ada armada yang beroperasi pada pabrik maupun pusat *recovery*.

Pabrik yang beroperasi akan selalu menghasilkan produk namun ada batasan maksimum produk yang diproduksi ini terlihat pada pabrik dua pada bulan 1 hanya bisa memproduksi 4.500 unit karena itu batas maksimal dari pabrik 2. Untuk jumlah produk yang disimpan dipabrik seringkali sesuai dengan batas minimal *inventory* produk namun pada bulan tertentu ada yang mencapai batas maksimal yang diijinkan sedangkan untuk bahan baku selalu mencapai nilai minimal. Untuk pusat *recovery* lebih bervariasi jumlah *inventory* produknya. Bahan baku yang dibeli dari *supplier* seringkali mencapai batas maksimum, ini terlihat dari bulan satu dimana semua mencapai batas maksimum dan bulan 2 hanya *supplier* 1 yang tidak mencapai batas maksimum.

3.3 Analisis Sensitivitas

Untuk mengetahui sensitivitas dari *demand retailer*, kapasitas pabrik, kapasitas *supplier*, kapasitas pusat distribusi dan kapasitas armada pabrik, maka faktor-faktor tersebut dinaikkan dan diturunkan secara bertahap setiap 10%. Selanjutnya akan dilihat pengaruh perubahan tersebut terhadap hasil kedua fungsi tujuan. Sehingga didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 1. Perbandingan Nilai Fungsi Tujuan Saat *Demand* Awal dengan Saat *Demand* Diubah

Fungsi tujuan	<i>Demand</i> turun 20%	<i>Demand</i> turun 10%	<i>Demand</i> naik 10%	<i>Demand</i> naik 20%
Total Biaya (%)	-12,73	-7,05	5,89	15,19
Service Level (%)	1,40	3,53	-8,62	-16,19

Tabel 2. Perbandingan Nilai Fungsi Tujuan Saat Kapasitas Pabrik Awal dengan Saat Kapasitas Pabrik Diubah

Fungsi tujuan	<i>Demand</i> turun 20%	<i>Demand</i> turun 10%	<i>Demand</i> naik 10%	<i>Demand</i> naik 20%
Total Biaya (%)	0,72	-0,15	-0,18	-0,11
Service Level (%)	-11,20	0,40	0,34	0,20

Tabel 3. Perbandingan Nilai Fungsi Tujuan Saat Kapasitas *Supplier* Awal dengan Saat Kapasitas *Supplier* Diubah

Fungsi tujuan	<i>Demand</i> turun 20%	<i>Demand</i> turun 10%	<i>Demand</i> naik 10%	<i>Demand</i> naik 20%
Total Biaya (%)	0,82	-0,16	-0,29	-0,52
Service Level (%)	-17,20	2,29	1,77	4,30

Tabel 4. Perbandingan Nilai Fungsi Tujuan Saat Kapasitas Pusat Distribusi Awal dengan Saat Kapasitas Pusat Distribusi Diubah

Fungsi tujuan	<i>Demand</i> turun 20%	<i>Demand</i> turun 10%	<i>Demand</i> naik 10%	<i>Demand</i> naik 20%
Total Biaya (%)	1,24	0,96	-0,76	-0,99
Service Level (%)	-12,29	1,97	3,38	2,90

Tabel 5. Perbandingan Nilai Fungsi Tujuan Saat Kapasitas Armada Pabrik Awal dengan Saat Kapasitas Armada Pabrik Diubah.

Fungsi tujuan	<i>Demand</i> turun 20%	<i>Demand</i> turun 10%	<i>Demand</i> naik 10%	<i>Demand</i> naik 20%
Total Biaya (%)	5,44	-0,74	-1,88	-1,53
Service Level (%)	-10,99	1,24	2,36	3,26

Berdasarkan hasil yang didapatkan, ternyata besar perubahan yang dilakukan pada parameter lebih besar daripada perubahan yang terjadi pada fungsi tujuan, hal ini berarti parameter *demand*

retailer, kapasitas pabrik, kapasitas *supplier*, kapasitas pusat distribusi dan kapasitas armada pabrik tidak sensitif terhadap total biaya dan *service level*.

4. Kesimpulan

Model *closed loop supply chain* multi produk telah dikembangkan. Model ini memperhatikan batasan kapasitas baik untuk armada maupun fasilitas, *inventory*, serta penambahan fasilitas-fasilitas yang mendukung agar semakin mendekati kondisi *riil*. Pengembangan model dimulai dengan menguji coba dan memodifikasi model awal yang terdapat pada Pishavee et al. (2011). Model awal ini hanya memiliki sistem *reverse supply chain* yang terdiri dari beberapa fasilitas. Fasilitas tersebut adalah pusat inspeksi, pusat *recovery*, pusat distribusi, pusat *disposal*, dan retail. Semuanya diterapkan multi fasilitas sehingga setiap fasilitas lebih dari satu. Namun pada model awal ini terdapat beberapa kekurangan yaitu tidak ada *forward supply chain*, hanya *single period*, tidak ada batasan kapasitas, tidak ada armada, hanya *single* produk, serta hanya *single objective*. Hasil perhitungan total biaya model awal ini sebesar Rp 631.630.900.000,00.

Setelah melakukan uji coba pada model awal, dilakukan pembuatan model usulan yang dilakukan melalui 2 tahap yaitu model usulan 1 dan model usulan 2. Model usulan 2 diselesaikan dengan metode *fuzzy goal programming*. Dalam pengembangan model usulan 1, ditambahkan beberapa fasilitas yaitu *supplier* dan pabrik guna menciptakan sistem *forward supply chain*, selain itu ditambahkan juga armada, batasan kapasitas minimal pada setiap fasilitas, *multi period*, dan juga *multi* produk. Model usulan 1 ini memiliki fungsi tujuan yang sama dengan model awal yaitu meminimalkan total biaya. Hasil total biaya yang didapat pada model usulan 1 ini sebesar Rp 261.780.200.000,00.

Setelah model usulan 1 selesai dikembangkan, maka selanjutnya dilakukan pengembangan model usulan 2. Perbedaan model usulan 1 dan model usulan 2 terletak pada fungsi tujuannya yaitu pada model usulan 1 hanya meminimasi total biaya, maka pada model usulan 2 ditambahkan lagi satu fungsi tujuan yaitu memaksimalkan *service level*. Metode yang digunakan dalam model usulan 2 ini adalah *fuzzy goal programming*. Hasil perhitungan pada model usulan 2 yaitu nilai total biaya sebesar Rp 262.568.600.000,00 dan nilai *service level* sebesar 95,55%. Perbedaan beberapa faktor dan hasil perhitungan model awal, model usulan 1, dan model usulan 2 dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Faktor Pembeda dan Hasil Perhitungan Model Awal, Model Usulan 1, dan Model Usulan 2 Metode FGP

Faktor	Model Awal	Model Usulan 1	Model Usulan 2 metode FGP
<i>Reverse supply chain</i>	Ada	Ada	Ada
<i>Forward supply chain</i>	tidak ada	Ada	Ada
<i>Inventory</i>	Tidak ada	Ada	Ada
Armada	Tidak ada	Ada	Ada
Periode	<i>Single</i> periode	<i>Multi</i> periode	<i>Multi</i> periode
Produk	<i>Single</i> produk	<i>Multi</i> produk	<i>Multi</i> produk
Fungsi tujuan	<i>Single objective</i>	<i>Single objective</i>	<i>Multi objective</i>
Total biaya (Rp)	631.630.900.000,00	261.780.200.000,00	262.568.600.000,00
<i>Service Level</i> (%)	-	80	95,55

Setelah model usulan 2 dengan metode *fuzzy goal programming* selesai dibuat, dilakukan analisa sensitivitas dengan mengubah faktor demand untuk mengetahui pengaruh perubahan terhadap nilai dari fungsi tujuan. Analisis sensitivitas pada faktor *demand* dilakukan dengan menaikkan dan menurunkan *demand* secara bertahap pada kelipatan 10%. Untuk parameter *demand retailer*, kapasitas pabrik, kapasitas *supplier*, kapasitas pusat distribusi dan kapasitas armada pabrik ternyata tidak sensitif terhadap total biaya dan *service level*.

5. Daftar Rujukan

- [1] Pishvae et al. (2011) 'A Robust Optimization Approach to Closed-Loop Supply Chain Network Design Under Uncertainty', *Applied mathematical Modelling* 35, pp 637-649.
- [2] Arikan, F. & Gunger, Z. (2001) 'An application of Fuzzy Goal Programming to A Multiobjective Project Network Problem', *Fuzzy Sets and System* 119, pp.49-58.

- [3] Chandra, C. and Grabis, J. (2007) 'Supply Chain Configuration: Concepts, Solutions and Applications', *Springer Science and Business Media*, LLC, pp.195-197.
- [4] Chopra, Sunil. (2010) *Supply Chain Management*, Fourth Edition, Pearson Education International, New Jersey.
- [5] Fleischman et al. (2001) 'The Impact of Product Recovery on Logistics Network Design', *Production Operation Management* 10, pp 156-173.
- [6] Hu et al. (2006) 'A Fuzzy Goal Programming Approach to Multi-Objective Optimization Problem with Priorities', *European Journal of Operational Research* 176, pp. 1319-1333.
- [7] Pramanik, S., Roy, T. K. (2007) 'Fuzzy Goal Programming Approach to Multilevel Programming Problems', *European Journal of Operational Research* 176, pp 1151-1166.
- [8] Shapiro, J.F. (2007) *Modeling the Supply Chain*, Second Edition, Canada: Duxbury.
- [9] Van Hoek, R.I. (1999) 'From Reverse Logistics to Green Supply Chains', *Supply Chain Management*, Vol.1, No.3, pp 129 – 134.