

# MODEL PENENTUAN KUANTITAS PLASTIK BEKAS UNTUK *HOME INDUSTRY* DAUR ULANG DENGAN PENDEKATAN *GOAL PROGRAMMING*\*

**Mochamad Verza, Suprayogi, Susy Susanty**

Jurusan Teknik Industri  
Institut Teknologi Nasional (Itenas) Bandung

Email: mochamadverza@gmail.com

## **ABSTRAK**

*Makalah ini membahas mengenai model reverse logistics yang terintegrasi dengan pendekatan goal programming untuk menyelesaikan masalah dengan multi-objective, kemudian untuk mencari jumlah plastik bekas yang optimal dari aspek ekonomi dan aspek lingkungan, yang diwakili oleh fungsi tujuan minimisasi biaya reverse logistics, minimisasi dampak lingkungan dan maksimisasi pengumpulan plastik bekas. Model dirancang untuk home industry plastik bekas di Kiaracondong kota Bandung. Model diimplementasikan untuk 1 recycling center, 1 collection center, 1 disposal center, 5 end customer, 1 first customer, dengan periode 1 bulan. Disimpulkan bahwa dari 6 kombinasi fungsi tujuan memiliki output berupa 2 kelompok pencapaian, dimana varian pertama fungsi tujuan maksimisasi pengumpulan plastik tidak tercapai, dan varian kedua dimana fungsi tujuan biaya reverse logistics tidak tercapai, hal ini karena perbedaan prioritas.*

*Kata kunci : Reverse Logistics, Plastik Bekas, Goal Programming.*

## **ABSTRACT**

*This paper discusses the model of integrated reverse logistics with the goal programming approach to solve the problem with multi-objective, then to find the optimal amount of scrap plastic from the economic and environmental aspects, which are represented by the objective function minimization reverse logistics costs, minimization of environmental impact and maximization of collecting scrap plastic. The model is designed for home industry Kiaracondong used plastic in the city of Bandung. The model is implemented for 1 recycling center, 1 collection center, 1 disposal center, 5 end customer, 1 first customer, with a period of 1 month. It was concluded that the combination of the objective function of 6 has an output in the form of two groups of achievement, where the first variant of collecting plastic maximization objective function is not reached, and the second variant in which the function of reverse logistics cost goals are not achieved, it is because of differences in priorities.*

*Keywords: Reverse Logistics, Scrap Plastic, Goal Programming.*

---

\* Makalah ini merupakan ringkasan dari Tugas Akhir yang disusun oleh penulis pertama dengan pembimbingan penulis kedua dan ketiga. Makalah ini merupakan draft awal dan akan disempurnakan oleh para penulis untuk disajikan pada seminar nasional dan/atau jurnal nasional

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Pengantar

Latar belakang penelitian berasal dari isu mengenai lingkungan hidup. Lingkungan yang berkelanjutan sedang sangat ramai diperbincangkan dalam dunia industri di seluruh dunia. Perusahaan maju mulai mengkaji lagi proses produksi mereka menuju proses yang lebih ramah lingkungan, lebih efektif dan lebih efisien. Hukum mengenai pengelolaan sampah industri dan tuntutan masyarakat pun turut serta memberi tekanan pada dunia industri untuk terus mendorong produk yang ramah lingkungan. Masalah ini memunculkan solusi berupa alur *reverse logistics*, dimana jalur suplai yang semula terhenti di pengguna akhir, dikembalikan ke produsen untuk dilakukan proses daur ulang atau *remanufactured*.

Peluang ini mendorong masyarakat umum yang mulai merambah ke bisnis daur ulang barang bekas. Namun tidak dapat dipungkiri bahwa proses daur ulang pun menghasilkan limbah dan efek kepada lingkungan hidup. Sehingga mendorong dilakukannya penelitian untuk mencari proses produksi yang seimbang di dalam aspek ekonomi dan aspek lingkungan. Penelitian ini membuat sebuah model mengenai bisnis daur ulang plastik yang berada di daerah Kiaracondong kota Bandung, dengan mengembangkan model yang sudah dibuat oleh Farizqi dkk. (2011), yang membuat sebuah model untuk daur ulang baterai aki bekas di kota Surabaya.

### 1.2 Identifikasi Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah bagaimana merancang model *reverse logistics* dengan mencari titik optimal dari aspek ekonomi untuk perusahaan dan dari aspek lingkungan sehingga ditemukan kuantitas plastik bekas yang optimal. Sehingga perlu dibuat sebuah model *reverse logistics* yang terintegrasi dengan pendekatan *goal programming* karena dapat menyelesaikan masalah dengan *multi-objective*, kemudian untuk mencari titik optimal dari aspek ekonomi, yang akan diwakili oleh fungsi tujuan minimisasi biaya *reverse logistics*, sedangkan untuk aspek lingkungan akan diwakili oleh minimisasi dampak lingkungan dan maksimisasi pengumpulan plastik bekas, dan proses perhitungan akan dilakukan menggunakan *software* LINGO.

Untuk mempermudah dalam proses penelitian dan perancangan model agar dapat akurat dan sesuai keadaan nyata maka dibutuhkan batasan dan asumsi. Batasan yang digunakan antara lain: 1). Model yang dibuat hanya untuk kasus plastik bekas di Kiaracondong kota Bandung. 2). Entitas yang terdapat dalam model terdiri dari *customer*, *collection center*, *recycling center*, dan *disposal center*. 3). Kegiatan *collection center* dan *recycling center* dilakukan sebagai satu kesatuan manajemen. 4). Semua kegiatan *recycling* dilakukan di satu area, yaitu *recycling center*.

Asumsi yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain: 1). Setiap plastik bekas memiliki komposisi limbah dan dampak yang sama atau proporsional dengan plastik bekas yang lain. 2). Entitas *Disposal Center* memiliki teknologi yang mendukung proses pengolahan limbah yang bersih. 3). Seluruh plastik yang didaur ulang memiliki jenis dan proses daur ulang yang sama.

## 2. STUDI LITERATUR

### 2.1 Daur Ulang Produk

Di dalam Asmuni dkk. (2012) dijelaskan beberapa jenis dari tipe produk terpakai antara lain: 1). *Recycled* atau daur ulang mengacu pada semua penggunaan produk yang diselamatkan dari buangan limbah padat dan dibawa kembali ke pasar. 2). *Remanufactured* mengacu

pada daur ulang produk dengan nilai tambah. 3). *Reused* atau disebut juga produk "as-is" (dipakai apa adanya) mengacu pada produk *recycled* yang mengembalikan siklus penjualan, tanpa perbaikan apapun.

## 2.2 Supply Chain

Menurut Kalakota (2000) sebuah *supply chain* (rantai suplai) merujuk kepada jaringan yang rumit dari hubungan yang mempertahankan organisasi dengan rekan bisnisnya untuk mendapatkan sumber produksi dalam menyampaikan kepada konsumen. Manajemen rantai suplai adalah koordinasi dari bahan, informasi, dan arus keuangan antara perusahaan yang berpartisipasi. Sedangkan menurut Chopra (2001) tujuan yang hendak dicapai dari setiap rantai suplai adalah untuk memaksimalkan nilai yang dihasilkan secara keseluruhan. Rantai suplai yang terintegrasi akan meningkatkan keseluruhan nilai yang dihasilkan oleh rantai suplai tersebut.

## 2.3 Closed Loop Supply Chain

Nariswari dan Pujawan (2010) menyatakan *closed loop supply chain* merupakan gabungan dari *forward* dan *reverse supply chain* dimana produk kembali ke produsen aslinya. *Forward supply chain* adalah pengelolaan aliran material, informasi dan uang melalui jaringan organisasi-organisasi mulai dari *supplier*, pabrik, *wholesaler*, atau *distributor* hingga *customer*, sedangkan *reverse supply chain* merupakan kebalikannya.

## 2.4 Reverse Logistics

Di dalam Asmuni dkk. (2012) dijelaskan penelitian mengenai *reverse logistics* beberapa diantaranya adalah menurut Xanthopoulos dan Likovou (2009), tujuan *reverse logistics* adalah untuk mempromosikan pembangunan berkelanjutan melalui penanganan produk *end-of-life* yang efisien dan menguntungkan, sehingga selaras dengan aturan yang berkaitan dengan lingkungan. Sebuah pendekatan kolaboratif diajukan akan membuat tingkat pengumpulan untuk produk terpakai menjadi suatu potensi bagi para *retailer*.

## 2.5 EPS Default Method 2000

Prinsip utamanya adalah untuk menetapkan emisi atau sumber daya ke kategori dampak ketika efek yang sebenarnya telah terjadi atau mungkin terjadi di lingkungan (prinsip kausalitas). Emisi ditentukan oleh substansi dan juga oleh situasi eksposur. Dalam metode *default* EPS 2000, kategori dampak dibagi dalam lima, yaitu kesehatan manusia, persediaan sumber daya abiotik, kapasitas produksi ekosistem, keanekaragaman hayati, serta nilai-nilai budaya dan rekreasi.

## 2.6 Goal Programming

Tabucanon (1998) dalam bukunya menyatakan bahwa *goal programming* (GP) adalah suatu metode yang memerlukan informasi ordinal dan kardinal untuk pengambilan keputusan dengan beberapa obyektif. Dalam GP, penyimpangan variabel (dari tujuan) dengan prioritas dan bobot yang diberikan akan diminimalkan daripada mengoptimalkan kriteria obyektif langsung seperti di LP. Bentuk umum *goal programming* (Tabucanon, 1998) dapat dinyatakan pada Persamaan 1.

$$\text{Minimize: } Z = \sum_{i=1}^m (P_{oi} d_i^+ + P_{ui} d_i^-) \quad (1)$$

Subject to :

$$\sum_{j=1}^n (a_{ij} x_j) + d_i^- - d_i^+ = b_i, \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, m$$

$$x_i, d_i^-, d_i^+ \geq 0, \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$$

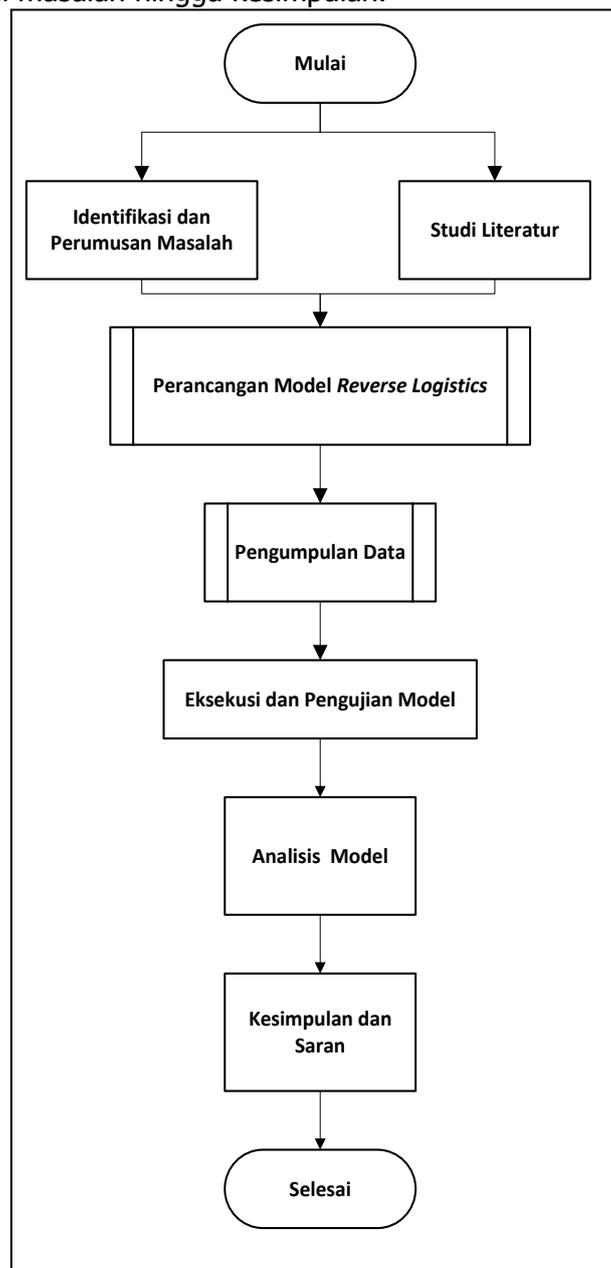
Bentuk variasi dari *goal programming* dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1. Variasi Model *Goal Programming***

Fungsi Kendala	Fungsi Tujuan	Variabel Deviasi yang Diminimumkan
$(a_{ij}x_i) \geq b_i$	$(a_{ij}x_i) + d_i^- - d_i^+ = b_i$	$d_i^-$
$(a_{ij}x_i) \leq b_i$	$(a_{ij}x_i) + d_i^- - d_i^+ = b_i$	$d_i^+$
$(a_{ij}x_i) = b_i$	$(a_{ij}x_i) + d_i^- - d_i^+ = b_i$	$d_i^- + d_i^+$

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

Berikut alur dari proses perancangan dari model *home industry* daur ulang plastik bekas, dimulai dari identifikasi masalah hingga kesimpulan.

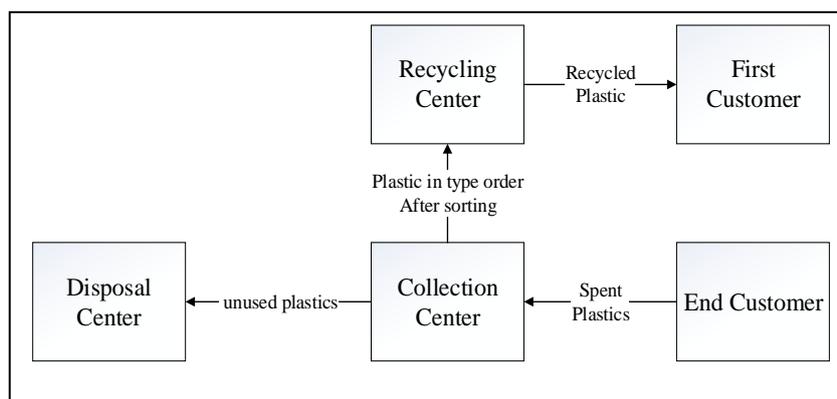


**Gambar 1. Alur Proses Penelitian**

## 4. PERANCANGAN MODEL

### 4.1 Perancangan Sistem Pengembalian dan Daur Ulang Plastik Bekas

Proses pengembalian plastik bekas bermula dari konsumen akhir hingga kembali ke *manufacturer* (produsen). Ada beberapa entitas pada model *reverse logistics*, yaitu *recycling center* adalah tempat untuk proses pembongkaran dan *sorting* dari yang siap untuk digiling. *Disposal center* adalah tempat pembuangan dari bagian yang tidak diperlukan dan tidak memiliki nilai jual. *Collection center* adalah tempat dimana konsumen akhir dapat memberikan atau menjual plastik bekas. *End customer* adalah konsumen akhir yang menggunakan plastik. *First customer* adalah pembeli dari plastik hasil daur ulang yang berbentuk plastik giling. Alur pengembalian dan daur ulang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Alur Pengembalian dan Daur Ulang Plastik Bekas

### 4.2 Formulasi Model Matematis *Goal Programming*

Terdapat 3 tujuan yang akan dicapai dalam model *reverse logistics*. Tujuan pertama yaitu meminimasi biaya *reverse logistics* diwakili oleh RLC. Tujuan ke-2 adalah maksimisasi jumlah plastik bekas yang dikumpulkan, diwakili oleh TRQ. Tujuan ke-3 adalah meminimisasi dampak lingkungan yang diwakili oleh OEC.

Dalam formulasi, variabel keputusan yang akan dicari adalah sebagai berikut: 1). Jumlah plastik cacah yang harus di daur ulang di *recycling center* 2). Jumlah plastik cacah yang dibeli 3). Jumlah plastik cacah yang di-*sorting* di *collection center* 4). Jumlah plastik yang dibuang ke *disposal center* 5). Jumlah plastik yang dikirim ke *first customer* 6). Total biaya di setiap entitas 7). Penyimpangan terkait dengan tujuan.

#### 4.2.1 Minimisasi Biaya *Reverse Logistics* (RLC)

Total biaya *reverse logistics* (RLC) adalah keseluruhan biaya yang muncul dalam sistem *reverse logistics* plastik bekas. Keseluruhan biaya tersebut adalah:

1. Komponen biaya di *recycling center*
  - a. Biaya proses daur ulang (TRC)
  - b. Biaya transportasi produk yang telah didaur ulang ke konsumen (TCRTF)
  - c. Biaya operasional tetap (RFC)
2. Komponen Biaya di *collection center*
  - a. Biaya pembelian plastik bekas (TCC)
  - b. Biaya *sorting* plastik bekas (TCSO)
  - c. Biaya operasional tetap (CFC)
  - d. Biaya transportasi untuk mengirim limbah ke *disposal center* (TCCTD)
  - e. Biaya transportasi pengiriman dari *collection center* ke *recycling center* (TCCTR)

#### 4.2.2 Maksimisasi Jumlah Plastik Bekas yang Dikumpulkan

Maksimisasi jumlah plastik bekas yang dikumpulkan ini ditujukan untuk mendukung kedua tujuan lain, dengan jumlah plastik bekas yang jumlahnya cukup banyak maka dapat memimasi penggunaan *raw material* atau cadangan sumber daya alam. Disisi lain memaksimalkan keuntungan, karena biaya produksi menjadi murah. Tujuan tersebut menyatakan bahwa jumlah plastik bekas yang dikumpulkan lebih dari target yang ditetapkan, dan fungsi tujuan diwakili oleh TRQ.

#### 4.2.3 Minimisasi Dampak Lingkungan

Tabel 2 menunjukkan emisi 1 Kg bahan bakar diesel dan *emission factor*, diasumsikan 1 Kg bahan bakar sama dengan 1 liter bahan bakar tersebut.

**Tabel 2. Emisi 1 Kg Bahan Bakar Diesel dan *Emission factor***

Senyawa	Emisi (Kg)	Indeks EPS (ELU/Kg)
CO2	3.17176	0.108
SO2	0.026	3.27
Hg	$2 \times 10^{-8}$	61.4
Pb	$1.1 \times 10^{-7}$	2910

Dari Farizqi dkk. (2011) didapatkan logika formulasi untuk menghitung nilai emisi dari penggunaan bahan bakar yang ditempuh selama proses transportasi dan penggunaan mesin daur ulang yang diwakili oleh OEC, maka formulasi dapat dilihat pada Persamaan 2 sebagai berikut.

$$OEC = \frac{2}{z} \alpha \left\{ \left[ \frac{\sum_r \sum_x Q_{cdpt} * L_{cd}}{VC_{pd}} \right] + \left[ \frac{\sum_r \sum_x Q_{crpt} * L_{cr}}{VC_p} \right] + \left[ \frac{\sum_r \sum_f Q_{rfpt} * L_{rf}}{VC_p} \right] \right\} + \beta \sum_r \sum_p \sum_t Q_{rpt} \quad (2)$$

#### 4.2.4 Kendala-kendala

Kendala-kendala yang harus dipenuhi dalam model *reverse logistics* yang dibangun adalah sebagai berikut:

1. Jumlah plastik bekas yang dibeli tidak melebihi jumlah plastik yang tersedia di konsumen
2. Jumlah produk yang disimpan di *recycling center* selama periode waktu tidak melebihi kapasitas simpan
3. Jumlah plastik bekas yang disimpan di *collection center* selama periode waktu tidak melebihi kapasitas simpan *collection center*
4. Jumlah plastik yang didaur ulang tidak boleh melebihi kapasitas daur ulang di *recycling center*
5. Jumlah plastik bekas yang di-*sorting* tidak boleh melebihi kapasitas *sorting* di *collection center*
6. Jumlah plastik bekas yang dikirim ke *disposal center* tidak boleh melebihi kapasitas *disposal center*
7. *Non-negativity constraints*, memastikan variabel tidak bernilai negatif
8. *Complementary constraints*, memastikan salah satu dari deviasi bernilai nol

#### 4.2.5 Formulasi Model *Goal-Programming*

Formulasi model *goal-programming* untuk model *reverse logistics* yang dirancang dapat dilihat pada Persamaan 3 sampai Persamaan 5 berikut ini.

$$1) \quad RLC + d_c^- - d_c^+ = TRLC \quad (3)$$

$$TRC + TCRTF + RFC + TCSO + TCC + TCCTD + TCCTR + CFC = TRLC$$

$$\begin{aligned} & \sum_r \sum_p \sum_t (Q_{rpt} * C_{rpt}) + \sum_r \sum_f \sum_p \sum_t (Q_{rfpt} * C_{rfpt}) + \sum_r FC_r + \sum_c \sum_p \sum_t (SQ_{cpt} * SOCO_{cpt}) \\ & + \sum_c \sum_p \sum_t (Q_{cpt} * C_{cpt}) + \sum_c \sum_x \sum_p \sum_t (Q_{cxpt} * C_{cxpt}) \\ & + \sum_c \sum_r \sum_p \sum_t (Q_{crpt} * C_{crpt}) + \sum_c FC_c + d_c^- - d_c^+ = TRLC \end{aligned}$$

$$2) \quad OEC + d_{oes}^- - d_{oes}^+ = TOEC \tag{4}$$

$$\begin{aligned} & \frac{2}{z} \alpha \left\{ \left[ \frac{\sum_r \sum_x Q_{cdpt} * L_{cd}}{VC_{pd}} \right] + \left[ \frac{\sum_r \sum_x Q_{crpt} * L_{cr}}{VC_p} \right] + \left[ \frac{\sum_r \sum_f Q_{rfpt} * L_{rf}}{VC_p} \right] \right\} + \beta \sum_r \sum_p \sum_t Q_{rpt} \\ & + d_{oes}^- - d_{oes}^+ = TOEC \end{aligned}$$

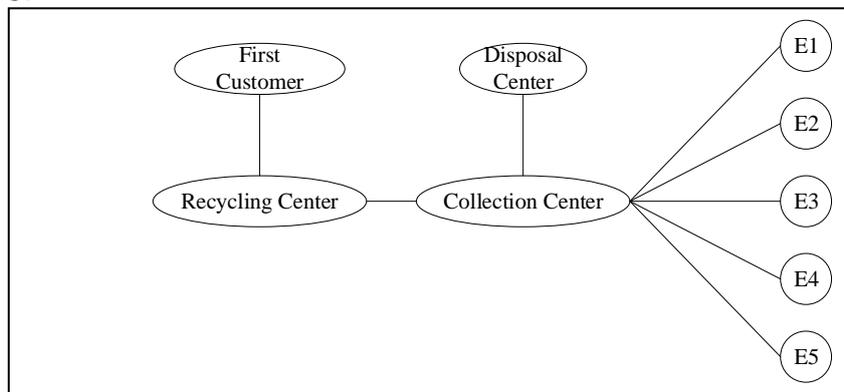
$$3) \quad \sum_c \sum_p \sum_t Q_{cpt} + d_q^- - d_q^+ = TRQ \tag{5}$$

Kendala-Kendala:

- 1)  $\sum_c \sum_p \sum_t Q_{cpt} \leq \sum_s \sum_p \sum_t Q_{spt}$
- 2)  $\sum_r \sum_p \sum_t S_{rp(t-1)} + \sum_c \sum_r \sum_p \sum_t Q_{crpt} - \sum_r \sum_f \sum_p \sum_t Q_{rfpt} \leq RSCA_r$
- 3)  $\sum_c \sum_p \sum_t S_{cp(t-1)} + \sum_c \sum_p \sum_t Q_{cpt} - \sum_p \sum_r \sum_f \sum_t Q_{crpt} - \sum_c \sum_x \sum_p \sum_t Q_{cdpt} \leq STCA_r$
- 4)  $Q_{rpt} \leq RCA_{rpt}$
- 5)  $SQ_{cpt} \leq SCA_{cpt}$
- 6)  $Q_{cdpt} \leq DCA_{drt}$
- 7)  $Q_{rpt} \geq 0 ; Q_{cdpt} \geq 0 ; Q_{rfpt} \geq 0 ; Q_{cpt} \geq 0 ; d_c^+, d_c^-, d_{oes}^+, d_{oes}^-, d_q^+, d_q^- \geq 0$
- 8)  $d_c^+ * d_c^- = 0 ; d_{oes}^+ * d_{oes}^- = 0 ; d_q^+ * d_q^- = 0$

### 4.3 PENGUMPULAN DATA MODEL

Model yang akan dijalankan memiliki 5 *end customer*, 1 *collection center*, 1 *recycling center*, 1 *disposal center* dan 1 *first customer*, dalam 1 periode dengan asumsi bahwa 1 periode adalah 1 bulan atau 25 hari, dengan 8 jam waktu kerja. Gambar dari model dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Representasi Model

#### 4.3.1 Perhitungan Rasio *Disposal Center*

Dalam proses *sorting* terdapat beberapa jenis plastik dan sampah yang tidak sesuai kriteria dari kebutuhan proses daur ulang, sehingga diketahui rasio pembuangan untuk dikirim ke

*disposal center* adalah 1,5% dari total plastik yang dibeli dari *end customer* selama periode waktu model berjalan.

#### 4.3.2 Perhitungan Koefisien Emisi

Nilai *emission factor* untuk bahan bakar fosil dalam kendaraan yang mengangkut plastik bekas yang dikirim ke *first customer* dan sampah yang dikirim ke *disposal center* dapat dilihat pada Tabel 3 Sehingga didapatkan nilai  $\alpha = 0.4278$

**Tabel 3. Dampak Lingkungan Bahan Bakar**

Senyawa	EPS Default Methods (ELU)
CO2	0.342
SO2	0.080
Hg	$1.228 \times 10^{-6}$
Pb	$3.201 \times 10^{-4}$
TOTAL	0.4278

Untuk menghitung emisi yang dihasilkan dapat dilakukan dengan mengkalikan jumlah plastik bekas yang di-daur ulang dengan emisi *factor* per kg plastik, didapatkan rasio emisi mesin penggilingan sebagai berikut :

$$\text{nilai } \beta = 0.4278 \text{ ELU/Kg} \times 0.01 = 0.004278 \text{ ELU}$$

#### 4.3.3 Data Parameter Model

Beberapa data lain untuk variabel dalam model berasal dari hasil wawancara dari salah satu *home industry* daur ulang plastik serta data tambahan dari pengepul di daerah kota Bandung dan sekitar. Data parameter model tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.

#### 4.4 UJI VALIDITAS

Dalam merepresentasikan kredibilitas model matematis dapat ditunjukkan oleh verifikasi dan validasi model. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kebenaran secara matematis, kedekatan secara nyata sebuah model dan konsistensi.

**Tabel 4. Parameter Model**

Notasi	Nilai	Notasi	Nilai
$C_{prt}$	300 Rp/Kg	$S_{cp(t-1)}$	300 Kg
$FC_r$	5700000 Rp/Bulan	$FC_c$	2900000 Rp/Bulan
$C_{rfpt}$	300000 Rp/Kg	$SCO_{cpt}$	300 Rp/Kg
$L_{rf}$	8.6 Km	$SCA_r$	3000 Kg
$RSCA_r$	4000 Kg	$SOC_{cpt}$	2000 Kg/Hari
$RCA_{prt}$	25000 Kg/Bulan	$C_{cpt}$	4000 Rp/Kg
$VC_{pf}$	5000 kg	$C_{cdpt}$	75000 Rp/Kg
$VC_{pd}$	150 kg	$L_{cr}$	4 Km
$L_{cd}$	3.4 Km	$C_{crpt}$	200000 Rp/Kg
$Q_{ept}$	1000 Kg/Hari		

##### 4.4.1 Verifikasi Model

Dalam kasus ini verifikasi memeriksa model matematis konseptual kedalam bahasa pemrograman secara konsisten dan benar. LINGO akan memberi pemberitahuan berupa

*Error Message*, yang memberi kode jenis *error* yang terjadi, kemudian memberikan penjelasan penyebab terjadinya *error* pada model yang di-*input* dalam LINGO.

#### 4.4.2 Validasi Model

Sebagai bagian proses validasi, *output* dibandingkan dengan apa yang terjadi di dunia nyata. Pada sistem nyata, untuk mengumpulkan plastik bekas sebanyak 20.000 Kg kemudian mendaurulangnya, dan menjual ke pabrik bijih membutuhkan total biaya sebesar Rp. 102.739.000. *output* dari perhitungan dengan *software* LINGO untuk pengumpulan plastik sejumlah 20.000 Kg dan total biaya yang harus dikeluarkan oleh *home industry* plastik bekas sebesar Rp. 102.840.400.

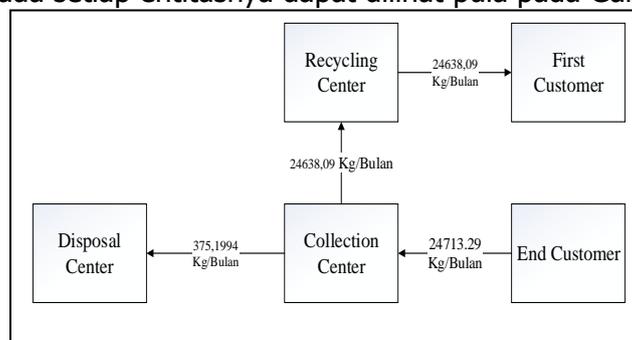
## 5. ANALISIS

### 5.1. Analisis Output LINGO

Berikut dijelaskan hasil olahan pada *software* LINGO untuk model *reverse logistics* yaitu:

1. Jumlah plastik cacah yang di daur ulang adalah sebanyak 24638,09 Kg
2. Jumlah plastik cacah yang dibeli adalah sebanyak 24713,29 Kg
3. Jumlah plastik yang dibuang ke *disposal center* adalah sebanyak 375,1994 Kg
4. Jumlah plastik yang dikirim ke *first customer* adalah sebanyak 24638,09 Kg
5. Jumlah plastik yang di-*sorting* di *collection center* adalah sebanyak 25013,29 Kg
6. Total biaya di setiap entitas adalah:  
*Recycling center* = Rp. 14.697.100  
*Collection center* = Rp. 110.430.030
7. Penyimpangan terkait dengan tujuan  
 $d_c^+ = 0$ ;  $d_{os}^+ = 0$ ;  $d_q^- = 286,7064$

Hasil *output* LINGO pada setiap entitasnya dapat dilihat pula pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil *Output* LINGO

Nilai yang perlu diperhatikan dari *output* LINGO adalah nilai dari fungsi tujuan atau dalam kasus ini deviasi yang diminimumkan pada fungsi tujuan. Apabila nilai deviasi tersebut bernilai nol maka dapat dikatakan bahwa target dari kendala yang dibuat terpenuhi.

### 5.2. Analisis Sensitivitas Model

Analisis sensitivitas untuk model ini dilakukan dengan menganalisis perubahan prioritas fungsi dan perubahan target pada fungsi tujuan. Pada fungsi tujuan meminimasi biaya memiliki target awal Rp 125.000.000, untuk target meminimasi dampak lingkungan sebesar 150 ELU dan untuk maksimisasi pengumpulan plastik bekas sebanyak 25.000 Kg.

#### 5.2.1 Perubahan prioritas Fungsi Tujuan

Dalam model terdapat 3 fungsi tujuan Sehingga terdapat 6 kombinasi prioritas, antara lain CFQ, CQF, FCQ, FQC, QCF, dan QFC. Optimalisasi fungsi tujuan dilakukan dengan *running*

dengan *software* LINGO. Perbandingan setiap skenario berdasarkan prioritas dapat dilihat pada Tabel 5.

*Output* dapat dibagi kedalam dua kelompok varian, yaitu pada prioritas CFQ/CQF/FCQ dan pada prioritas FQC/QCF/QFC. Perbedaan antara dua varian tersebut adalah hanya 2 dari 3 fungsi tujuan yang tercapai. Hal ini terjadi dikarenakan biaya membatasi jumlah plastik yang dibeli, sedangkan bila menjadikan pengumpulan plastik bekas sebagai prioritas utama, target biaya tidak bisa terpenuhi.

**Tabel 5. Sensitivitas Berdasarkan Prioritas**

Skenario	Biaya <i>Reverse Logistics</i> (Rupiah)	Dampak Lingkungan (ELU)	Jumlah Plastik Bekas (Kg)
CFQ	125000000	111,099	24713.29
CQF	125000000	111,099	24713.29
FCQ	125000000	111,099	24713.29
FQC	126347900	112,3725	25000
QCF	126347900	112,3725	25000
QFC	126347900	112,3725	25000

### 5.2.2 Perubahan Target Pada Fungsi Tujuan

Pengujian akan dilakukan pada setiap skenario dan melihat sensitivitas perubahan nilai dampak lingkungan. Berikut hasil *running* LINGO dari perubahan target dampak lingkungan:

#### 1. Skenario Perubahan Dampak Lingkungan 1 (Target = 50 ELU)

Tabel perbandingan perubahan target dampak lingkungan dengan skenario 1 dapat dilihat pada Tabel 6.

**Tabel 6. Perubahan Target 50 ELU**

Skenario	Biaya <i>Reverse Logistics</i> (Rupiah)	Dampak Lingkungan (ELU)	Jumlah Plastik Bekas (Kg)
CFQ	60325700	50	10957.2
CQF	125000000	111,099	24713.29
FCQ	60325700	50	10957.2
FQC	60325700	50	10957.2
QCF	126347900	112,3725	25000
QFC	126347900	112,3725	25000

#### 2. Skenario Perubahan Dampak Lingkungan 2 (Target = 100 ELU)

Tabel perbandingan perubahan target dampak lingkungan dengan skenario 2 dapat dilihat pada Tabel 7.

**Tabel 7. Perubahan Target 100 ELU**

Skenario	Biaya <i>Reverse Logistics</i> (Rupiah)	Dampak Lingkungan (ELU)	Jumlah Plastik Bekas (Kg)
CFQ	11325150	100	22214.41
CQF	125000000	111,099	24713.29
FCQ	11325150	100	22214.41
FQC	11325150	100	22214.41
QCF	126347900	112,3725	25000
QFC	126347900	112,3725	25000

Hasil pada pengujian perubahan target dampak lingkungan memiliki beberapa variasi nilai, perubahan target dampak lingkungan memperlihatkan bahwa dampak lingkungan saling mempengaruhi dengan jumlah plastik.

### 5.3. Kelebihan dan Kekurangan Model

Model yang dibangun memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan. Kelebihan dari model antara lain adalah:

1. Memiliki komponen biaya yang detail sehingga memudahkan dalam pengambilan keputusan karena semua aspek telah diperhitungkan.
2. *Multi objective*, pada dunia nyata seringkali dihadapkan dengan berbagai pilihan yang berbeda arah dan lebih dari 1 fungsi tujuan.
3. Memiliki entitas yang cukup lengkap dan sederhana untuk kelas perusahaan yang ingin mengembangkan usahanya dalam bidang *reverse logistics*.
4. Karena menggunakan *pre-emptive goal programming*, maka tidak diperlukan bobot untuk tiap fungsi tujuan yang ingin dicapai.

Sedangkan kekurangan-kekurangan dari model yang dibangun adalah antara lain:

1. Eksekusi dilakukan hanya dalam satu periode waktu dan tidak mampu diaplikasikan kepada perusahaan yang bergerak di bidang *forward logistics*.
2. Tidak diperuntukkan untuk keseluruhan sistem logistik, karena hanya mencakup sistem *reverse logistics*, bukan *closed-loop supply chain*.
3. Terdapat kemungkinan tujuan yang tidak tercapai, karena menggunakan pendekatan *pre-emptive goal programming*.

## 6. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan proses analisis maka diperoleh kesimpulan dari penelitian sebagai berikut:

1. Struktur model yang dirancang memiliki 5 entitas, yaitu *recycling center*, *collection center*, *disposal center*, *first customer*, dan *end customer*. Model yang dirancang diimplementasikan untuk 1 *recycling center*, 1 *collection center*, 1 *disposal center*, 1 *first customer*, dan 5 *end customer* dengan periode 1 bulan.
2. Didapatkan biaya *reverse logistics* sebesar Rp. 125.000.000, dampak lingkungan sebesar 111,0990 ELU, dan jumlah plastik sebesar 24713,29 Kg. Terjadi penyimpangan atau deviasi pada prioritas terakhir sebesar 286,7064 Kg, hal ini dikarenakan pengumpulan plastik merupakan prioritas paling akhir.
3. Hasil perhitungan menggunakan *software* LINGO menunjukkan dua kelompok varian. Dapat dilihat bahwa dalam setiap skenario, 2 dari 3 fungsi tujuan tercapai. Dari keenam skenario tersebut pengambil keputusan dapat memilih solusi terbaik, pilihan yang akan diambil oleh pengambil keputusan disesuaikan dengan preferensinya.
4. Perubahan target dampak lingkungan memperlihatkan bahwa dampak lingkungan saling mempengaruhi dengan jumlah plastik, dampak lingkungan berasal dari jumlah plastik bekas yang di daur ulang, karena jumlah maksimum dari plastik daur ulang adalah sebesar 25000 Kg maka nilai maksimum dampak lingkungan adalah 112,3725 ELU.

## DAFTAR PUSTAKA

Asmuni, I. (2012). *Pengembangan Model Reverse Logistics Dengan Pendekatan Goal Programming Pada Produk Original Equipment Manufacturers (OEMs)*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Chopra, S. (2001). *Supply Chain Management :Strategy, Planning, and operations*. New Jersey – Prentice-Hall.

Farizqi, W. T. (2011). *Pengembangan Model Reverse Logistics Baterai Aki Bekas Dengan Pendekatan Goal Programming*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

Kalakota, R., Robinson, M. (2000). *e-Business 7.0 : A Roadmap to Success*. Addison Wesley, Longman Inc., USA.

Nariswari, N. P. A., dan Pujawan, I. N. (2010). *Simulasi Penerapan Closed System Pada Distribusi Elpiji 3 Kg (Studi Kasus: Distribusi Elpiji 3 Kg Kec. Klojen - Malang)*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Tabucanon, M. T. (1998). *Multiple Criteria Decision Making in Industry*, Elsevier Science Publishing, New York.