

MODEL JARINGAN DISTRIBUSI DALAM SISTEM *REVERSE LOGISTICS* DAUR ULANG SAMPAH PLASTIK DI JABODETABEK

Hendy Suryana

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Suryakencana

Jl. Pasir Gede Raya Cianjur

Telepon (0263) 283578

E-mail: hendies.free@gmail.com

Abstrak

Reverse logistics yang pada hakekatnya merupakan logistik yang konvensional, berdasarkan konsep green supply chain yang berfungsi untuk mengoperasikan fungsi tambahan dalam recovery dan recycling. Ketidakpastian sangat melekat dalam implementasi reverse logistics yang menjadi tantangan konsep green supply chain. Tujuan penelitian untuk mengembangkan model jaringan distribusi dalam sistem reverse logistics dengan studi kasus pengelolaan daur ulang sampah plastik di Jabodetabek. Model yang dikembangkan dapat digunakan sebagai alat pengambilan keputusan dalam desain penentuan distribusi sampah plastik dan proses aktivitas bisnis daur ulang sampah plastik. Parameter biaya yang menjadi pertimbangan antara lain: biaya transportasi, biaya pemilahan, biaya pembuangan dan biaya produksi. Model yang dikembangkan adalah optimization models dalam jaringan reverse logistics termasuk model lokasi fasilitas dan model alokasi kapasitas, serta mengembangkan model perancangan jaringan dalam menentukan lokasi dan identifikasi rute transportasi. Model jaringan distribusi dalam reverse logistics daur ulang sampah plastik yang diusulkan terdiri dari tujuh entitas, diantaranya: konsumen akhir (rumah tangga), pemulung, bank sampah, pengepul (lapak), bandar, pabrik daur ulang, serta konsumen produk olahan.

Kata Kunci: reverse logistics, optimasi, model jaringan, distribusi, alur transportasi.

Pendahuluan

Penelitian ini dilatarbelakangi dengan berkembangnya *green supply chain management* yang merupakan manajemen rantai pasok yang mempertimbangkan aspek ekologi/ekosistem/lingkungan juga rantai pasok mengacu kepada konsep pembangunan yang berkelanjutan. Pada saat itu, WCED Conference tahun 1987, melahirkan konsep pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*) yang mengadopsi prinsip-prinsip: lingkungan, ekonomi, dan keadilan. Ketiga prinsip tersebut yang sekarang populer disebut sebagai “*triple bottom line*” (*planet, profit, people*). *Green supply chain management* mengarahkan pada beberapa pemahaman terhadap keseluruhan rantai pasok menuju ramah dan berwawasan lingkungan, fokus pada penurunan emisi karbon, manajemen energi, pencegahan polusi, dan yang paling penting adalah penggunaan bahan baku hasil daur ulang dan penggunaan kembali (*reusable*). Strategi *green supply chain* juga bertujuan untuk mendukung daya saing perusahaan (*eco competitive advantage*).

Konsep *green supply chain* tersebut diatas, bahwa peluang implementasi *reverse logistics* (RL) yang merupakan logistik konvensional dan memiliki aturan yang disebut dengan *dismantlers*, yang fungsinya untuk mengoperasikan fungsi tambahan dalam *recovery* dan *recycling*. Untuk *supply chain* konvensional, permintaan yang tidak pasti hanya dipengaruhi oleh tingkat inventori, jumlah produksi, dan logistik. Bagian permintaan pada *reverse logistics* adalah nilai *recovery* dan nilai *landfilling* yang sulit diestimasi, keduanya sangat berkontribusi besar pada *reverse logistics management* [1]. Beberapa perbedaan antara sistem forward logistics dan reverse logistics yang diteliti oleh [1], memperlihatkan bahwa ada kesulitan di tingkat ketidakpastian yang sangat tinggi dalam sistem *reverse logistics*. Kesalahan estimasi dan keputusan didasarkan pada informasi yang tidak pasti akan menyebabkan risiko kerugian yang tinggi. Model awal yang didasarkan pada [2] yakni *deterministic closed-loop logistics* yang diperkenalkan, faktor-faktor permintaan yang tidak pasti, nilai *recovery*, dan nilai *landfilling* selama *reverse logistics* akan dipertimbangkan untuk mendukung keputusan logistik yang realistis dan fasilitas lokasi. Selama dekade terakhir, *reverse logistics* telah menjadi suatu

perhatian yang sangat menarik baik dari peneliti akademis maupun praktisi industri. Perhatian yang serius dan gigih dalam aspek lingkungan regulasi pemerintah yang telah dikembangkan sebagai upaya memotivasi penelitian mengenai *reverse logistics* lebih lanjut [3]. Fokus penelitian ini adalah melakukan perancangan dan pengembangan model jaringan distribusi dalam *reverse logistics* daur ulang sampah plastik di Jabodetabek. Model yang dikembangkan akan digunakan sebagai alat pengambilan keputusan baik dalam desain penentuan distribusi sampah plastik maupun dalam proses aktivitas bisnis sampah plastik. Beberapa parameter biaya yang menjadi pertimbangan adalah biaya transportasi (*transportation cost*), biaya pemilahan (*sorting cost*), biaya pembuangan (*disposal cost*) dan biaya produksi (*production cost*).

Profil timbulan sampah plastik nasional dan diperkuat dengan status timbulan sampah terutama sampah plastik yang dibahas dalam penelitian ini, dapat diilustrasikan berdasarkan Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Status timbulan sampah plastik di Indonesia (KLHK, 2016)

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan model jaringan distribusi dalam sistem *reverse logistics* yang terkait dengan aktivitas bisnis daur ulang sampah plastik di wilayah penelitian, dengan studi kasus penelitian dilakukan di wilayah jabodetabek. Adapun sasaran penelitian ini adalah sebagai berikut:

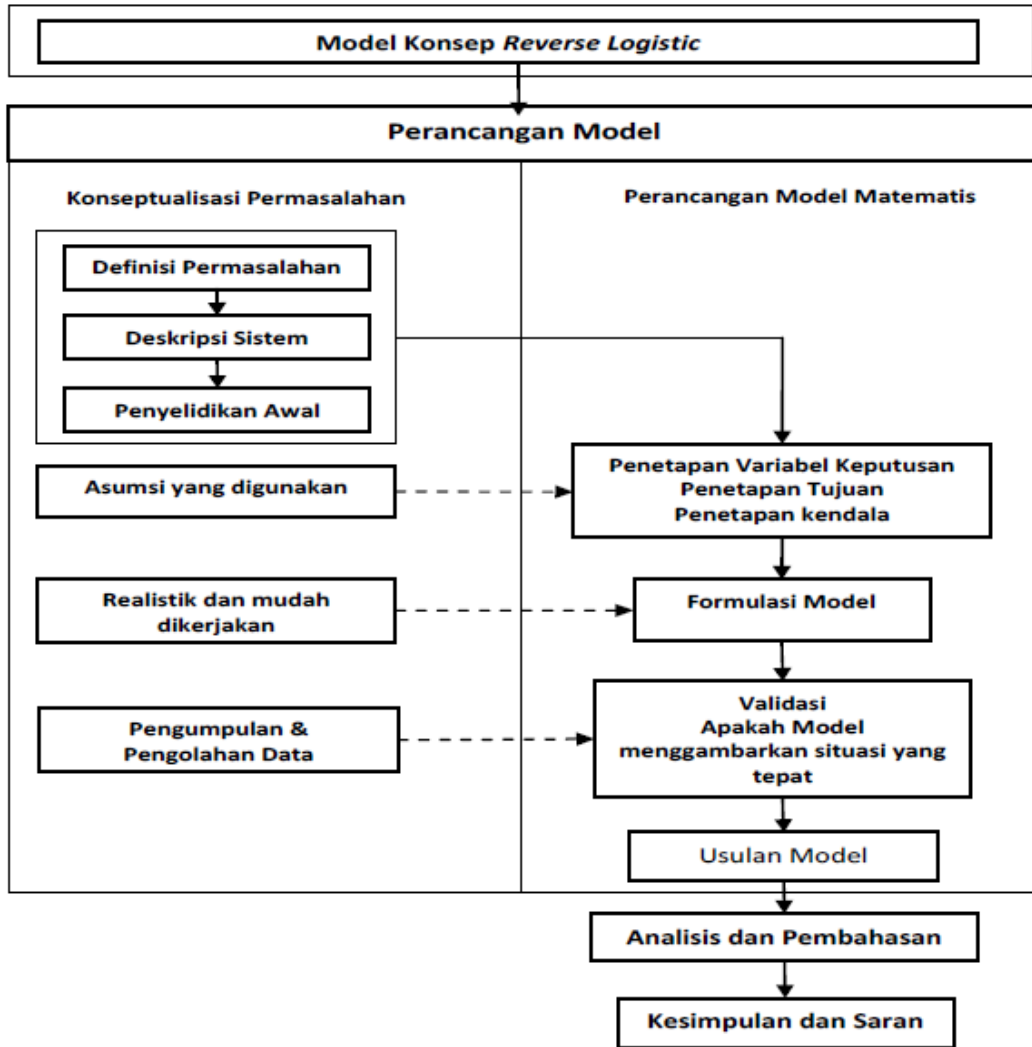
- Tergambarkannya struktur konfigurasi jaringan distribusi dalam sistem *reverse logistics* daur ulang sampah plastik di wilayah penelitian.
- Tergambarkannya pergerakan jaringan distribusi dalam sistem *reverse logistics* daur ulang sampah plastik dengan beberapa alternatif alur pergerakan sistem tersebut di wilayah penelitian.
- Terbangunnya model jaringan distribusi dalam sistem *reverse logistics* daur ulang sampah plastik yang dapat membantu estimasi biaya sistem, termasuk biaya pengangkutan (*transportation cost*), biaya pemilahan (*sorting cost*), biaya pembuangan (*disposal cost*), dan biaya pengolahan (*production cost*), juga kebutuhan sarana/moda transportasi dan jaringan transportasi dalam menunjang aktivitas rute pengangkutan sampah plastik, sebagai dasar dalam pengambilan keputusan para pelaku bisnis *reverse logistics* daur ulang sampah plastik.

Metodologi Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini, lebih detailnya dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Perancangan Model

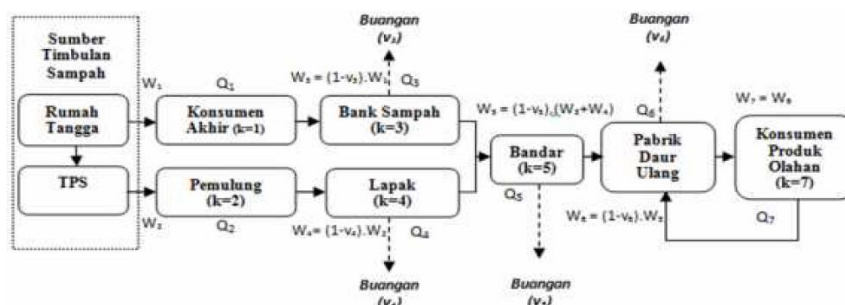
Perancangan model merupakan tahapan dalam membuat rancangan model berdasarkan model acuan yang digunakan. Perancangan model jaringan distribusi sistem *reverse logistics* yang dilakukan dalam penelitian ini dapat diilustrasikan dalam Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Perancangan model jaringan distribusi dalam *reverse logistics*.

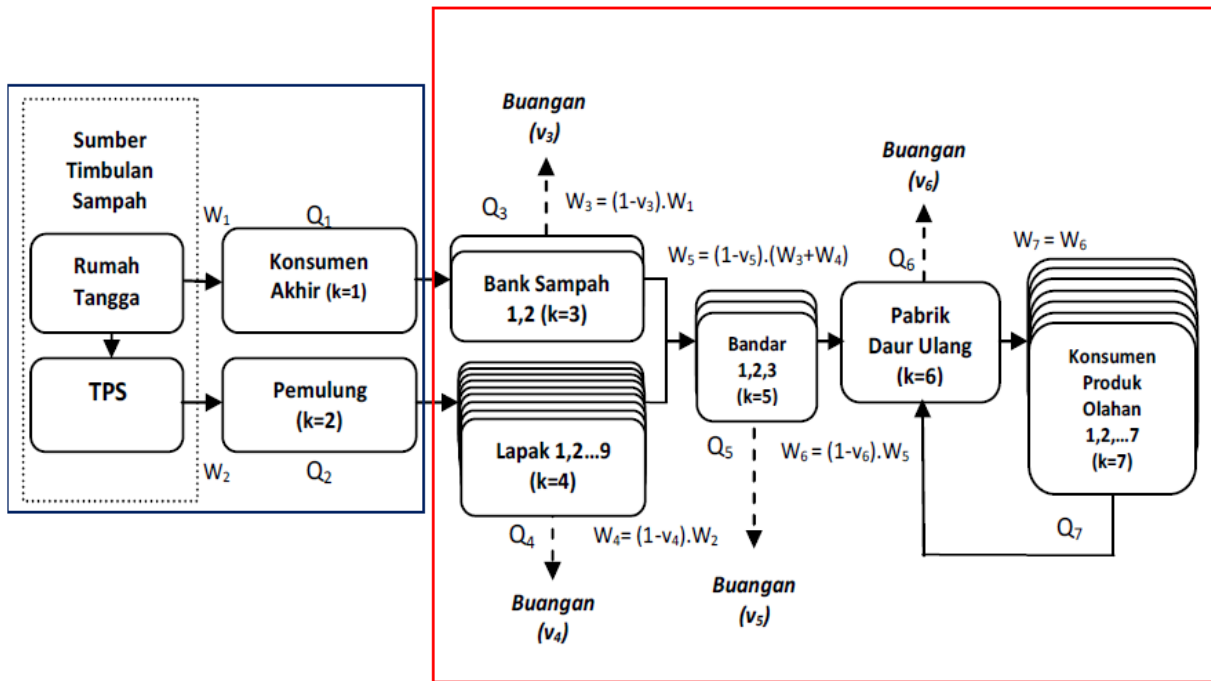
2. Pengembangan Model

Aliran dan proses dalam sistem *reverse logistics* sampah plastik yang terjadi pada entitas Konsumen Akhir ($k=1$), Pemulung ($k=2$), Bank Sampah ($k=3$), Lapak ($k=4$), Bandar ($k=5$), Pabrik daur ulang ($k=6$), dan Konsumen produk olahan ($k=7$), yang dapat diilustrasikan pada Gambar 3 di bawah ini.



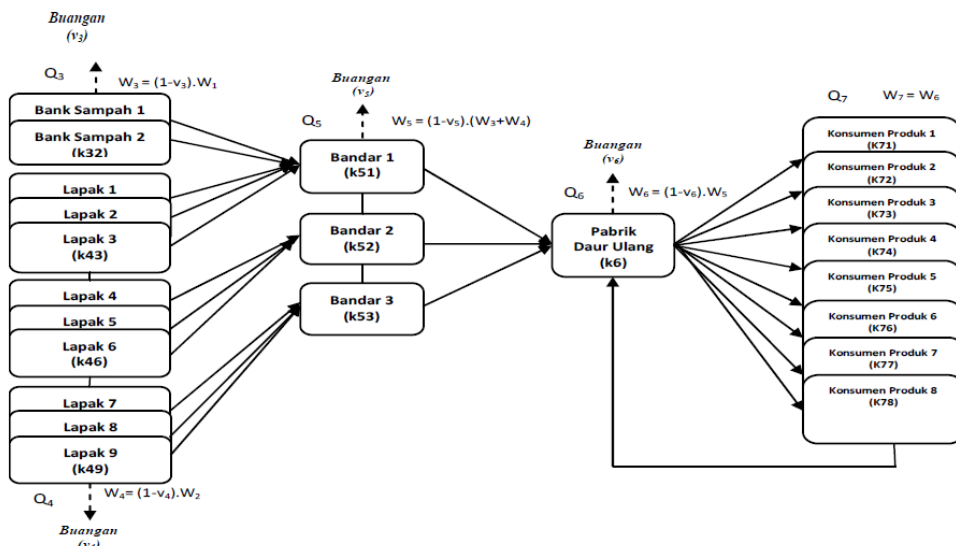
Gambar 3. Aliran dan proses dalam sistem *reverse logistics* sampah plastik.

Model jaringan distribusi dalam sistem *reverse logistics* sampah plastik dapat diilustrasikan secara empiris, pada entitas Bank Sampah ($k=3$) terdapat dua pelaku Bank Sampah yang berperan dalam model tersebut, kemudian pada entitas Lapak ($k=4$) pelaku yang berperan dalam aktivitas bisnis *reverse logistics* pengelolaan sampah plastik adalah sembilan lapak dibawah koordinasi tiga entitas Bandar ($k=5$) yang berperan, lalu entitas Pabrik daur ulang hanya satu yang berperan dalam pengelolaan sampah plastik ini menjadi produk olahan tutup galon JKT, produk olahan tersebut didistribusikan ke beberapa konsumen akhir produk olahan yang terdiri dari delapan pelaku konsumen pengguna produk olahan. Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada Gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4. Aliran dan proses sampah plastic dalam sistem *reverse logistics* secara empiris.

Berdasarkan gambar aliran dan proses sampah plastic di atas, maka dapat dikembangkan model tersebut secara detail, yang dapat diilustrasikan pada Gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5. Detail model jaringan distribusi sampah plastik secara empiris.

Dalam mengembangkan model matematis yang digunakan dalam penelitian ini adalah beberapa notasi untuk tiap-tiap parameter dan variabel keputusan seperti diilustrasikan pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Notasi model jaringan distribusi dalam sistem *reverse logistics* sampah plastik.

Indeks Model	
K	Entitas dimana nilai $k = 1$ adalah Konsumen Akhir, $k = 2$ adalah Pemulung, $k = 3$ adalah Bank Sampah, $k = 4$ adalah Lapak, $k = 5$ adalah Bandar, $k = 6$ adalah Pabrik Daur Ulang (<i>recycling</i>) sampah plastik, $k = 7$ adalah Konsumen Produk Olahan.
Parameter Model	
Q_k	Jumlah sampah plastik pada entitas $k = 1, 2, \dots, 7$ (Kg).
W_k	Jumlah permintaan (<i>demand</i>) sampah plastik pada entitas $k = 1, 2, \dots, 7$ (Kg).
V_k	Persentase buangan sampah plastik yang tidak relevan dari total sampah plastik yang masuk pada entitas $k = 3, 4, 5$, dan 6 (%).
CT_k	Biaya transportasi (angkut) sampah plastik dari entitas k ke entitas k lainnya, pada saat kondisi moda penuh muatan/isi (Rp/Kg/Km).
CT_k	Biaya transportasi (angkut) sampah plastik pada entitas k ke entitas k lainnya, pada saat kondisi moda tanpa muatan/kosong (Rp/Km).
TCT_k	Total biaya transportasi (angkut) sampah plastik dari entitas k ke entitas k lainnya (Rp).
CS_k	Biaya pemilahan sampah plastik pada entitas $k = 3, 4, 5$, dan 6 (Rp/Kg).
TCS_k	Total biaya pemilahan sampah plastik pada entitas $k = 3, 4, 5$, dan 6 (Rp).
TCS	Total biaya pemilahan sampah plastik dalam sistem <i>reverse logistics</i> (Rp).
CD_k	Biaya pembuangan sampah plastik pada entitas $k = 3, 4, 5$, dan 6 (Rp/Kg).
TCD_k	Total biaya pembuangan sampah plastik pada entitas $k = 3, 4, 5$, dan 6 (Rp).
TCD	Total biaya pembuangan sampah plastik dalam sistem <i>reverse logistics</i> (Rp).
CP_k	Biaya pengolahan (produksi) sampah plastik pada entitas $k = 6$ (Rp/Kg).
TCP_k	Total biaya pengolahan (produksi) sampah plastik pada entitas $k = 6$ (Rp).
TCP	Total biaya pengolahan (produksi) sampah plastik dalam sistem <i>reverse logistics</i> (Rp).
TC	Total biaya keseluruhan dalam fungsi sistem <i>reverse logistics</i> pengelolaan daur ulang sampah plastik di Indonesia (Rp).
d_k	Jarak yang ditempuh dalam mengangkut sampah plastik dari entitas k ke entitas k lainnya (Km).
f_k	Persentase sampah plastik yang diangkut (jenis plastik HDPE dan LDPE) pada entitas $k = 3, 4, 5$, dan 6 (%).
QT_k	Kapasitas angkut moda (<i>pick up</i>) dalam mengangkut sampah plastik pada entitas $k = 3, 4, 5$, dan 6 (Kg).
TQT_k	Total kapasitas angkut moda (<i>pick up</i>) pada entitas $k = 3, 4, 5$, dan 6 (Kg).
F_k	Frekuensi angkut moda dalam mengangkut sampah plastik pada entitas $k = 3, 4, 5$, dan 6 (Kali).

Pengolahan data model yang dilakukan adalah untuk mencari solusi model jaringan distribusi dalam sistem *reverse logistics* yang optimal, model dapat diimplementasikan dengan menggunakan data estimasi parameter. Hal ini dapat diilustrasikan dalam Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Rekapitulasi data estimasi parameter model jaringan distribusi sampah plastik.

Model Parameters	Entity/Stage							Unit
	k = 1	k = 2	k = 3	k = 4	k = 5	k = 6	k = 7	
W_k	-	-	855	14,040	13,406	12,065	12,065	Kg
vk	-	-	0.10	0.10	0.10	0.10	-	%
CS_k	-	-	500	600	850	1,000	-	Rp/Kg
CD_k	-	-	500	800	1,000	1,200	-	Rp/Kg
CP_k	-	-	-	-	-	9,000	-	Rp/Kg
fk	-	-	0.40	0.60	1.00	1.00	-	%
TQT_k	-	-	2,000	2,000	2,000	2,000	-	Kg
QT_k	-	-	800	1,200	2,000	2,000	-	Kg
F_k	-	-	1.07	11.70	6.70	6.03	-	Kali

Perhitungan Total Biaya Transportasi (TCT_k)

1. Alternatif Alur Satu (Bandar-Lapak-Bandar-BS-Bandar/5-4-5-3-5)

Biaya transportasi sampah plastik dari entitas Bandar (k=5) ke entitas Lapak (k=4) adalah sebagai berikut:

$$TCT_{54} = \frac{W_4}{T_{4 \cdot f_4}} \cdot d_5 \cdot C_5 + W_4 \cdot d_4 \cdot C_4 = \frac{1 \cdot 0}{2.0} \cdot 18.5.000 + 14.0.10.18.20 = \text{Rp } 6.107.400,-$$

Biaya transportasi sampah plastik dari entitas Bandar (k=5) ke entitas Bank Sampah (k=3) adalah sebagai berikut:

$$TCT_{53} = \frac{W_3}{T_{3 \cdot f_3}} \cdot d_5 \cdot C_5 + W_3 \cdot d_3 \cdot C_3 = \frac{8}{2.0} \cdot 21.5.000 + 855.21.20 = \text{Rp } 471.319,-$$

Maka total biaya transportasi pada entitas Bandar dengan alternatif alur 1, adalah sebagai berikut:

$$TCT_{5(\text{alur1})} = \left(\frac{W_4}{T_{4 \cdot f_4}} \cdot d_5 \cdot C_5 + W_4 \cdot d_4 \cdot C_4 \right) + \left(\frac{W_3}{T_{3 \cdot f_3}} \cdot d_5 \cdot C_5 + W_3 \cdot d_3 \cdot C_3 \right)$$

$$TCT_{5(\text{alur1})} = \text{Rp } 6.107.400,- + \text{Rp } 471.319,- = \text{Rp } 6.578.719,-$$

2. Alternatif Alur Dua (Bandar-Lapak-Bank Sampah-Bandar/5-4-3-5)

$$TCT_{54} = \left(\frac{W_4+W_3}{T_{4 \cdot f_4}} \right) \cdot d_5 \cdot C_5 = \left(\frac{1 \cdot 0 + 8}{1.2} \right) \cdot 18.5.000 = \text{Rp } 1.117.125,-$$

$$TCT_{43} = \left(\frac{W_4+W_3}{T_{3 \cdot f_3}} \right) \cdot d_4 \cdot C_4 \cdot T_{4 \cdot f_4} \cdot \left(\frac{W_4}{W_3+W_4} \right)$$

$$TCT_{43} = \left(\frac{1 \cdot 0 + 8}{8} \right) \cdot 7.20.1200 \cdot \left(\frac{1 \cdot 0}{8 + 1 \cdot 0} \right) = \text{Rp } 2.948.400,-$$

$$TCT_{35} = \left(\frac{W_4+W_3}{T_{3 \cdot f_3}} \right) \cdot d_3 \cdot C_3 \cdot T_{3 \cdot f_3} = \left(\frac{1 \cdot 0 + 8}{8} \right) \cdot 21.20.800 = \text{Rp } 6.255.900,-$$

Jadi total biaya transportasi pada entitas Bandar dengan alternatif alur dua, adalah sebagai berikut:

$$TCT_{5(\text{alur2})} = \left(\left(\frac{W_4+W_3}{T_{4 \cdot f_4}} \right) \cdot d_5 \cdot C_5 \right) + \left(\left(\frac{W_4+W_3}{T_{3 \cdot f_3}} \right) \cdot d_4 \cdot C_4 \cdot T_{4 \cdot f_4} \cdot \left(\frac{W_4}{W_3+W_4} \right) \right) + \left(\left(\frac{W_4+W_3}{T_{3 \cdot f_3}} \right) \cdot d_3 \cdot C_3 \cdot T_{3 \cdot f_3} \right)$$

$$= \text{Rp } (1.117.125,- + 22.948.400,- + 6.255.900,-) = \text{Rp } 10.321.425,-$$

3. Alternatif Alur Tiga (Bandar-Bank Sampah-Lapak-Bandar/5-3-4-5)

$$TCT_{53} = \left(\frac{W_3+W_4}{T_{3 \cdot f_3}} \right) \cdot d_5 \cdot C_5 = \left(\frac{8 + 1 \cdot 0}{8} \right) \cdot 21.5.000 = \text{Rp } 1.954.969,-$$

$$TCT_{34} = \left(\frac{W_3+W_4}{T_{3 \cdot f_3}} \right) \cdot d_3 \cdot C_3 \cdot T_{3 \cdot f_3} \cdot \left(\frac{W_3}{W_3+W_4} \right)$$

$$TCT_{34} = \left(\frac{8 + 1 \cdot 0}{8} \right) \cdot 7.20.800 \cdot \left(\frac{8}{8 + 1 \cdot 0} \right) = \text{Rp } 119.700,-$$

$$TCT_{45} = \left(\frac{W_3+W_4}{T_{3 \cdot f_3}} \right) \cdot d_4 \cdot C_4 \cdot T_{4 \cdot f_4} = \left(\frac{8 + 1 \cdot 0}{8} \right) \cdot 18.20.1.200 = \text{Rp } 8.043.300,-$$

Jadi total biaya angkut (transportasi) alur pergerakan tiga dari entitas Bandar (k=5) ke Bank Sampah (k=3) kemudian ke Lapak (k=4) dan akhirnya ke Bandar lagi adalah sebagai berikut:

$$TCT_{5(\text{alur3})} = \left(\left(\frac{W_3+W_4}{T_{3 \cdot f_3}} \right) \cdot d_5 \cdot C_5 \right) + \left(\left(\frac{W_3+W_4}{T_{3 \cdot f_3}} \right) \cdot d_3 \cdot C_3 \cdot T_{3 \cdot f_3} \cdot \left(\frac{W_3}{W_3+W_4} \right) \right) + \left(\left(\frac{W_3+W_4}{T_{3 \cdot f_3}} \right) \cdot d_4 \cdot C_4 \cdot T_{4 \cdot f_4} \right)$$

$$TCT_{5(\text{alur3})} = \text{Rp } 1.954.969,- + \text{Rp } 119.700,- + \text{Rp } 8.043.300,- = \text{Rp } 10.117.969,-$$

Biaya transportasi sampah plastik dari entitas Bandar (k=5) ke Pabrik daur ulang (k=6).

$$TCT_{56} = T_{5} + T_{6} = \frac{W_5}{T_{5 \cdot f_5}} \cdot d_5 \cdot C_5 \cdot T_{5 \cdot f_5} + \frac{W_6}{T_{6 \cdot f_6}} \cdot d_6 \cdot C_6$$

$$TCT_{56} = (13.406.30.20.2000) + \frac{1.4}{2.0} \cdot 30.5.00,- = Rp 9.048.713,-$$

Biaya transportasi produk olahan/ekonomis dari entitas Pabrik daur ulang (k=6) ke Konsumen Akhir produk olahan/ekonomis (k=7).

$$CT_{67} = TCT_{67} + TCT_{76} = \frac{W_7}{T_{6 \cdot f_6}} \cdot d_6 \cdot C_6 \cdot T_{6 \cdot f_6} + \frac{W_7}{T_{6 \cdot f_6}} \cdot d_7 \cdot C_7$$

$$TCT_{67} = W_7 \cdot d_6 \cdot C_6 + \frac{W_7}{T_{6 \cdot f_6}} \cdot d_7 \cdot C_7 = 12,065.31.20 + \frac{1.0}{2.0} \cdot 31.5.000 = Rp 8.415.303,-$$

Hasil perhitungan model empirik didapatkan total biaya transportasi yang digunakan dalam entitas pada Bandar (k=5) dengan alternatif alur pergerakan satu adalah sebagai berikut:

$$TCT = TCT_{5(alur 1)} + TCT_{56} + TCT_{67}$$

$$TCT = \left(\left(\frac{W_4}{T_{4 \cdot f_4}} \cdot d_5 \cdot C_5 + W_4 \cdot d_4 \cdot C_4 \right) + \left(\frac{W_3}{T_{3 \cdot f_3}} \cdot d_5 \cdot C_5 + W_3 \cdot d_3 \cdot C_3 \right) \right) + \left(W_5 \cdot d_5 \cdot C_5 + \frac{W_5}{T_{5 \cdot f_5}} \cdot d_6 \cdot C_6 \right) + \left(W_7 \cdot d_6 \cdot C_6 + \frac{W_7}{T_{6 \cdot f_6}} \cdot d_7 \cdot C_7 \right)$$

$$TCT = Rp 6.578.719,- + Rp 9.048.713,- + Rp 8.415.303,- = Rp 24.042.734,-$$

Perhitungan Total Biaya Pemilahan (TCS_k)

Biaya pemilahan yang terjadi pada entitas Bank Sampah adalah sebagai berikut:

$$TCS_3 = CS_3 \cdot W_3 = CS_3 \cdot (1-v_3) \cdot W_1 = 500 \cdot (1-0,10) \cdot 950 = Rp 427.500,-$$

$$TCS_4 = CS_4 \cdot W_4 = CS_4 \cdot (1-v_4) \cdot W_2 = 600 \cdot (1-0,10) \cdot 15.600 = Rp 8.424.000,-$$

$$TCS_5 = CS_5 \cdot W_5 = CS_5 \cdot (1-v_5) \cdot (W_3 + W_4) = CS_5 \cdot ((1-v_5) \cdot (((1-v_3) \cdot W_1) + ((1-v_4) \cdot W_2)))$$

$$TCS_5 = 850 \cdot ((1-0,10) \cdot (((1-0,10) \cdot 950) + ((1-0,10) \cdot 15.600))) = Rp 11.394.675,-$$

$$TCS_6 = CS_6 \cdot W_6 = CS_6 \cdot (1-v_6) \cdot W_5 = CS_6 \cdot ((1-v_6) \cdot (((1-v_5) \cdot (((1-v_3) \cdot W_1) + ((1-v_4) \cdot W_2))))$$

$$TCS_6 = 1.000 \cdot ((1-0,10) \cdot ((1-0,10) \cdot (((1-0,10) \cdot 950) + ((1-0,10) \cdot 15.600)))) = Rp 12.064.950,-$$

Dengan demikian, total biaya pemilahan sampah plastik (TCS) adalah sebagai berikut:

$$TCS = CS_3 \cdot (1-v_3) \cdot W_1 + CS_4 \cdot (1-v_4) \cdot W_2 + CS_5 \cdot (1-v_5) \cdot (W_3 + W_4) + CS_6 \cdot (1-v_6) \cdot W_5$$

$$TCS = Rp 427.500,- + Rp 8.424.000,- + Rp 11.394.675,- + Rp 12.064.950,- = Rp 32.311.125,-$$

Perhitungan Total Biaya Pembuangan (TCD_k)

Biaya pembuangan (disposal cost) pada entitas Bank Sampah adalah sebagai berikut:

$$TCD_3 = CD_3 \cdot v_3 \cdot W_3 = CD_3 \cdot v_3 \cdot ((1-v_3) \cdot W_1) = 500 \cdot 0,10 \cdot ((1-0,10) \cdot 950) = Rp 42.750,-$$

$$TCD_4 = CD_4 \cdot v_4 \cdot W_4 = CD_4 \cdot v_4 \cdot ((1-v_4) \cdot W_2) = 800 \cdot 0,10 \cdot ((1-0,10) \cdot 15.600) = Rp 1.123.200,-$$

$$TCD_5 = CD_5 \cdot v_5 \cdot W_5 = CD_5 \cdot v_5 \cdot ((1-v_5) \cdot (W_3 + W_4)) = CD_5 \cdot v_5 \cdot ((1-v_5) \cdot (((1-v_3) \cdot W_1) + ((1-v_4) \cdot W_2)))$$

$$TCD_5 = 1.000 \cdot 0,10 \cdot ((1-0,10) \cdot (((1-0,10) \cdot 950) + ((1-0,10) \cdot 15.600))) = Rp 1.340.550,-$$

$$TCD_6 = CD_6 \cdot v_6 \cdot W_6 = CD_6 \cdot v_6 \cdot ((1-v_6) \cdot W_5) = CD_6 \cdot v_6 \cdot ((1-v_6) \cdot (((1-v_5) \cdot (((1-v_3) \cdot W_1) + ((1-v_4) \cdot W_2))))$$

$$TCD_6 = 1200 \cdot 0,10 \cdot ((1-0,10) \cdot ((1-0,10) \cdot (((1-0,10) \cdot 950) + ((1-0,10) \cdot 15.600)))) = Rp 1.447.794,-$$

Untuk itu, maka total biaya pembuangan sampah plastik pada entitas Bank Sampah (k=3), Lapak (k=4), Bandar (k=5) dan pada entitas Pabrik System Reverse Logistic Daur Ulang (k=6) adalah sebagai berikut:

$$TCD = CD_3 \cdot v_3 \cdot W_3 + CD_4 \cdot v_4 \cdot W_4 + CD_5 \cdot v_5 \cdot W_5 + CD_6 \cdot v_6 \cdot W_6$$

$$TCD = Rp 42.750,- + Rp 1.123.200,- + Rp 1.340.550,- + Rp 1.447.794,- = Rp 3.954.294,-$$

Perhitungan Total Biaya Pengolahan/Produksi (TCPk)

Total biaya pengolahan (TCP) hanya terjadi pada entitas pabrik daur ulang (k=6) adalah sebagai berikut:

$$TCP = CP_6 \cdot W_6 = CP_6 \cdot ((1-v_6) \cdot W_5) = CP_6 \cdot ((1-v_6) \cdot (((1-v_5) \cdot ((1-v_3) \cdot W_1) + ((1-v_4) \cdot W_2))))$$

$$TCP = 5.000 \cdot ((1-0,10) \cdot ((1-0,10) \cdot (((1-0,10) \cdot 950) + ((1-0,10) \cdot 15.600)))) = \text{Rp. } 108.227.325,-$$

Maka minimasi total biaya sistem *reverse logistics* adalah sebagai berikut.

$$\text{Minimum TC} = (\text{TCT}) + (\text{TCS}) + (\text{TCD}) + (\text{TCP})$$

$$\begin{aligned} \text{Minimum TC} = & \left(\left(\frac{W_4}{T_{4 \cdot J_4}} \cdot d_5 \cdot C_5 + W_4 \cdot d_4 \cdot C_4 \right) + \left(\frac{W_2}{T_{3 \cdot J_3}} \cdot d_5 \cdot C_5 + W_3 \cdot d_3 \cdot C_3 \right) + \right. \\ & \left. \left(W_5 \cdot d_5 \cdot C_5 + \frac{W_5}{T_{5 \cdot J_5}} \cdot d_6 \cdot C_6 \right) + \left(W_7 \cdot d_6 \cdot C_6 + \frac{W_7}{T_{6 \cdot J_6}} \cdot d_7 \cdot C_7 \right) + \right. \\ & \left. (CS_3 \cdot (1-v_3) \cdot W_1 + CS_4 \cdot (1-v_4) \cdot W_2 + CS_5 \cdot (1-v_5) \cdot (W_3+W_4) + CS_6 \cdot (1-v_6) \cdot W_5) + \right. \\ & \left. (CD_3 \cdot v_3 \cdot W_3 + CD_4 \cdot v_4 \cdot W_4 + CD_5 \cdot v_5 \cdot W_5 + CD_6 \cdot v_6 \cdot W_6) + (CP_6 \cdot W_6) \right) \end{aligned}$$

$$\text{Minimum TC} = \text{Rp } 24.042.734,- + \text{Rp } 32.311.125,- + \text{Rp } 3.954.294,- + \text{Rp } 108.227.325,-$$

$$\text{Minimum TC} = \text{Rp } 168.892.703,-$$

Analisis dan Pembahasan

Hasil analisis model jaringan distribusi sampah plastik, bahwa total biaya sistem *reverse logistics* (TC) adalah sebesar Rp 168.892.703,-/bulan dengan total biaya transportasi sampah plastik (TCT) adalah sebesar Rp 24.042.734,- (14%), total biaya pemilahan sampah plastik (TCS) adalah sebesar Rp 32.311.125,- (19%), kemudian total biaya pembuangan sampah plastik (TCD) adalah sebesar Rp 3.954.294,- (2%), sedangkan untuk total biaya produksi sampah plastik (TCP) adalah sebesar Rp 168.892.703,- (64%). Berdasarkan biaya transportasi yang digunakan dalam entitas pada Bandar (k5) menggunakan alternatif alur pergerakan 1, dengan total biaya sistem *reverse logistics* daur ulang sampah plastik adalah sebesar Rp 152.754.866,-/bulan. Jadi hasil analisis perhitungan model jaringan distribusi sampah plastik, bahwa total biaya sistem *reverse logistics* (TC) adalah sebesar Rp 152.754.866,-/bulan.

Kesimpulan

1. Model jaringan distribusi sistem *reverse logistics* daur ulang sampah plastik yang diusulkan terdiri dari tujuh entitas, yakni: konsumen akhir, pemulung, bank sampah, lapak, bandar, pabrik daur ulang, serta konsumen produk olahan.
2. Optimasi kinerja jaringan distribusi dalam sistem *reverse logistics* daur ulang sampah plastik dikembangkan model matematis integrasi antara jaringan dan produk secara optimal (*Integrated network and product optimization models/INPOMS*), dengan fungsi tujuan meminimasi total biaya sistem *reverse logistics* dengan variabel keputusan antara lain: jumlah permintaan sampah plastik yang masuk ke setiap entitas, lokasi dan rute transportasi masing-masing entitas.
3. Model yang menjadi *benchmark* adalah model yang dikembangkan oleh Barker, Theresa J. [4], yang mengembangkan konsep model *reverse logistics* dengan berbasis pada model *Facility Location Models*, *Multicriteria Decision Models (AHP)*, and *Mixed Integer Linier Programming (MILP)*. Peneliti tersebut menyarankan *further research direction* untuk mengembangkan *multiobjective decision model reverse logistics* dalam menentukan tingkat keputusan. Adapun model yang dibangun dalam sistem logistik ini juga merupakan integrasi dan interaksi antara informasi, transportasi, penanganan material (*material handling*), dan fasilitas jaringan dalam sistem [5], sehingga model yang dikembangkan penulis adalah mengintegrasikan semua komponen atau entitas dalam suatu sistem yang dihubungkan dengan sistem distribusi serta mengacu pada model Barker, Theresa [4].

Daftar Pustaka

- [1] Kongar, E., 2004, *Performance measurement for supply chain management and evaluation criteria determination for reverse supply chain management*, 266-271.

- [2] Hsu, H-W, dan H. F. Wang, 2009, Modelling of Green Supply Logistics. *Web Based Green Product Life Cycle Management System: Reverse Supply Chain Utilization*, H. F. Wang (ed), IGI Global Publication.
- [3] Pourmohammadi, Hamid, Maged Dessouky, dan Mansour Rahimi, 1990, *A Reverse Logistics Model for Distributing Wastes/By-products*, University of Southern California.
- [4] Barker J. Theresa., 2010, Reverse Logistics: A Multicriteria Decision Model With Uncertainty, *dissertation Doctor of Philosophy*, University of Washington.
- [5] Bowersox, Donald J., David J. Closs, dan M. Bixby Cooper, 2003, *Supply Chain Logistics Management*. New York: McGraw-Hill.