

PENGEMBANGAN MODEL PERSEDIAAN PRODUKSI, PRODUKSI ULANG, DAN PEMBUANGAN LIMBAH PADA KASUS PURE BACKORDERING DENGAN PERSEDIAAN PIHAK KETIGA

Christina Ayu K.¹, Ibnu Pandu B. P.², Wakhid A. Jauhari³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret

Jl. Ir. Sutami 36A Surakarta 57126

Telp. 0271-6322110

Email: ¹christina.ak93@gmail.com, ²ibnupandu@gmail.com, ³wachid_aj@yahoo.com

ABSTRAK

Persaingan pasar sekarang ini semakin kompetitif, sehingga perusahaan harus menjaga agar konsumen tidak beralih ke kompetitor lain dan melakukan inovasi-inovasi lebih untuk menekan biaya produksi sehingga mampu memasarkan produk dengan harga rendah. Salah satu cara menjaga konsumen adalah dengan melayani backorder, yaitu beberapa konsumen diberikan kompensasi untuk menunggu barang yang telah dipesan namun terlambat. Selain itu inovasi yang berkembang saat ini adalah proses daur ulang (pemulihan) produk yang sudah melalui umur ekonomis sehingga dapat dipasarkan kembali pada secondary market sebagai produk remanufaktur, walaupun kualitasnya berbeda dengan produk produksi di primary market. Selain mampu menghemat bahan baku, proses remanufaktur dapat mengurangi pencemaran limbah sesuai dengan peraturan yang berlaku dari pemerintah terhadap setiap perusahaan. Paper ini mengembangkan model inventori dimana pengumpulan produk kembali untuk diremanufaktur dilakukan oleh pihak ketiga yang merupakan satu kesatuan dengan perusahaan, sehingga biaya simpan persediaan pihak ketiga dibebankan kepada total cost perusahaan. Adanya pihak ketiga ini diharapkan mampu membantu perusahaan untuk mengatur sendiri persediaan barang kembali yang akan diremanufaktur sehingga mampu menekan total biaya produk.

Kata kunci: *backorder, closed-loop supply chain, EOQ, pihak ketiga, produksi, remanufaktur*

PENDAHULUAN

Pada persaingan pasar sekarang produk bergerak sangat cepat akibat permintaan yang terus meningkat sehingga banyak menyebabkan pemborosan pada sumber daya alam. Pada saat ini perlu dilakukan penghematan pada penggunaan bahan baku yang bersumber dari alam seperti penggunaan mineral, kayu, dan sumber daya alam lainnya. Selain itu adanya peraturan yang mengatur mengenai program pemulihan produk dari barang yang sudah melampaui umur ekonomis yang ada pada pemerintahan di negara-negara tertentu membuat perusahaan harus melakukan proses remanufaktur dan pengumpulan barang tersebut. Di Indonesia peraturan mengenai penggunaan bahan remanufaktur tertera pada undang-undang pengolahan limbah dan lingkungan hidup. Aliran produk pada rantai pasok berasal dari *upstream ke down stream*, misal dari pemasok ke pemasok, dari pemasok ke konsumen. Siklus hidup produk yang pendek dan perubahan pada kebiasaan mengkonsumsi dari konsumen menghasilkan aliran produk yang lebih cepat dan diikuti oleh limbah dan menipisnya sumber daya alam (e.g., Beamon, 1999). Persaingan pasar yang semakin kompetitif menyebabkan perusahaan harus melakukan segala usaha yang memungkinkan agar konsumen tidak beralih ke kompetitor dengan meningkatkan tingkat pelayanannya. Salah satunya dengan melayani *backorder* dari konsumen yaitu beberapa konsumen diberikan kompensasi untuk menunggu barang yang telah dipesan namun terlambat (e.g., Hasanov 2007). Masalah persediaan produk remanufaktur dimulai pada tahun 90-an. Richter (1996a,1996b) menemukan model EOQ untuk permintaan produk alat tulis yang terbuat dari material baru, beberapa material tertentu, dan barang produk yang dikembalikan dari pasar. Richter (1996a,1996b) membagi menjadi dua toko, toko yang pertama untuk produksi dan pemulihan (*recovery*) dan toko yang kedua berfungsi untuk mengumpulkan barang yang telah digunakan atau yang dikembalikan.

Pada *paper* ini mengembangkan model dari Hasanov, Jaber, dan Zolfaghari (2012) dengan menambahkan persediaan pihak ketiga yang berfungsi mengumpulkan produk yang kembali yang digunakan dalam proses remanufaktur. Model persediaan pihak ketiga menggunakan model yang dikembangkan oleh Chung, Wee, dan Yang (2007) yang telah disederhanakan. Model yang diambil dan dikembangkan yaitu pada skenario 1 kasus 1 pada model dari Hasanov, Jaber, dan Zolfaghari (2012). Penyederhanaan yang dilakukan yaitu menggunakan variabel yang ada pada model Hasanov, Jaber, dan Zolfaghari (2012) pada model pihak ketiga yang ditambahkan pada biaya simpan karena pada dasarnya perusahaan harus menambah biaya simpan untuk gudang yang digunakan menyimpan barang yang telah

digunakan atau yang dikembalikan ke perusahaan. Kasus yang diambil yaitu *full backordering* dengan siklus manufaktur(m) dan produksi (n) yang beraturan. Pihak ketiga merupakan satu kesatuan dengan perusahaan sehingga dibebankan biaya simpan persediaan pihak ketiga kepada perusahaan sendiri. Untuk pengembangan paper ini pada model sebelumnya barang yang akan diremanufaktur langsung masuk ke penyimpanan *repairable* yang model biaya simpannya diambil dari Jaber dan Sadaany (2009) diganti dengan persediaan dari pihak ketiga yang diharapkan mampu membantu perusahaan untuk mengatur sendiri persediaan barang kembali yang akan diremanufaktur.

ASUMSI DAN NOTASI

Asumsi dan notasi yang digunakan pada *paper* ini diadaptasi dari Hasanov , Jaber, dan Zolfaghari (2012) dengan penambahan asumsi dan notasi berdasarkan pihak ketiga.

• Asumsi

1. Kasus ini merupakan produk tunggal dengan dua kualitas yang berbeda.
2. Laju produksi dan pemulihan produk secara seketika.
3. Laju permintaan untuk produk produksi dan remanufaktur diketahui, konstan, dan memiliki nilai yang berbeda.
4. Laju pengumpulan untuk produk yang sebelumnya diproduksi dan diremanufaktur diketahui, konstan, dan memiliki nilai yang berbeda.
5. *Lead time* diasumsikan nol.
6. *Stock-out* persediaan terjadi akibat hilangnya permintaan yang tidak memuaskan pelanggan (produk yang baru diproduksi atau produk yang baru digunakan/diperbaiki).
7. Kapasitas penyimpanan (gudang) tidak terbatas.
8. Horizon perencanaan produk tak terhingga.
9. Besarnya inventori maksimum pada pihak ketiga merupakan dua kali kuantitas produksi dan remanufaktur ($q_c = 2q_r = 2q_p$).
10. Besarnya inventori minimum pada pihak ketiga merupakan setengah dari kuantitas produksi dan remanufaktur ($q_c = 0.5q_r = 0.5q_p$).

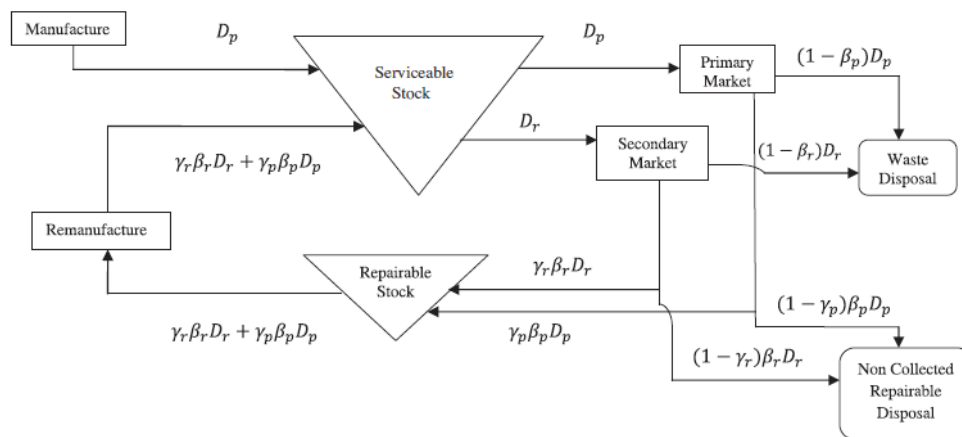
• Notasi

m	jumlah siklus remanufaktur pada interval T
n	jumlah siklus produksi pada interval T
γ_r	persentase besarnya kemampuan pengumpulan produk yang sebelumnya diremanufaktur untuk kembali ($0 < \gamma_r \leq 1$)
γ_p	persentase besarnya kemampuan pengumpulan produk yang sebelumnya diproduksi untuk kembali ($0 < \gamma_p \leq 1$)
θ_r	proporsi <i>batch</i> produk digunakan/diperbaiki dikonsumsi di segmen produksi T ($0 < \theta_r < 1$)
θ_p	proporsi <i>batch</i> produk yang baru diproduksi dikonsumsi di segmen produksi T ($0 < \theta_p < 1$)
D_r	laju permintaan produk remanufaktur (unit / satuan waktu)
D_p	laju permintaan produk diproduksi (unit / satuan waktu)
S_r	biaya <i>set up</i> per batch remanufaktur (\$)
S_p	biaya <i>set up</i> per batch produksi (\$)
LC_r	biaya <i>lost sale</i> untuk produk remanufaktur (\$ / unit)
LC_p	biaya <i>lost sale</i> untuk produk produksi (\$ / unit)
BC_r	biaya <i>backorder</i> untuk produk remanufaktur (\$ / unit / satuan waktu)
BC_p	biaya <i>backorder</i> untuk produk produksi (\$ / unit / satuan waktu)
h_r	<i>holding cost</i> untuk produk remanufaktur (\$ / unit / satuan waktu)
h_p	<i>holding cost</i> untuk produk produksi (\$ / unit / satuan waktu)
h_u	<i>holding cost</i> untuk produk telah pakai (\$ / unit / satuan waktu)
β_p	persentase pengembalian yang tersedia dari <i>primary market</i> untuk produk produksi
β_r	persentase pengembalian yang tersedia dari <i>secondary market</i> untuk produk remanufaktur ($0 < \beta_r \leq \beta_p < 1$)
s	proporsi D_p yang mengalami <i>backorder</i> $0 < s < 1$ dimana $(1 - s)$ merupakan proporsi D_p yang hilang
v	proporsi D_r yang mengalami <i>backorder</i> $0 < v < 1$, dan $(1 - v)$ merupakan proporsi D_r yang hilang
q_p	<i>batch size</i> produksi
q_r	<i>batch size</i> remanufaktur

- T_r panjang segmen remanufaktur
- T_p panjang segmen produksi
- T panjang interval waktu ($T = T_r + T_p$)
- T_r^r periode *stock-out* untuk produk produksi di segmen T_r ($T_r^r = T_r - T_p^p$)
- T_p^p periode *stock-out* untuk produk remanufaktur di segmen T_p ($T_p^p = T_p - T_r^r$)
- T_r^p panjang periode dimana inventori produk produksi adalah positif pada T_r ($T_r^p = \frac{q_p}{D_p} - t_p$)
- T_p^r panjang periode dimana inventori produk remanufaktur adalah positif pada T_r ($T_p^r = \frac{q_r}{D_r} - t_r$)
- t_r panjang siklus remanufaktur yang tidak utuh pada segmen T_r ($t_r = \theta_r \frac{q_r}{D_r}$)
- t_p panjang siklus produksi yang tidak utuh pada segmen T_p ($t_p = \theta_p \frac{q_p}{D_p}$)
- x_p^b tingkat *backorder* maksimum untuk produk diproduksi pada interval T
- x_r^b tingkat *backorder* maksimum untuk produk remanufaktur pada interval T
- x_p^l jumlah unit produk produksi yang hilang pada interval T
- x_r^l jumlah unit produk remanufaktur yang hilang pada interval T

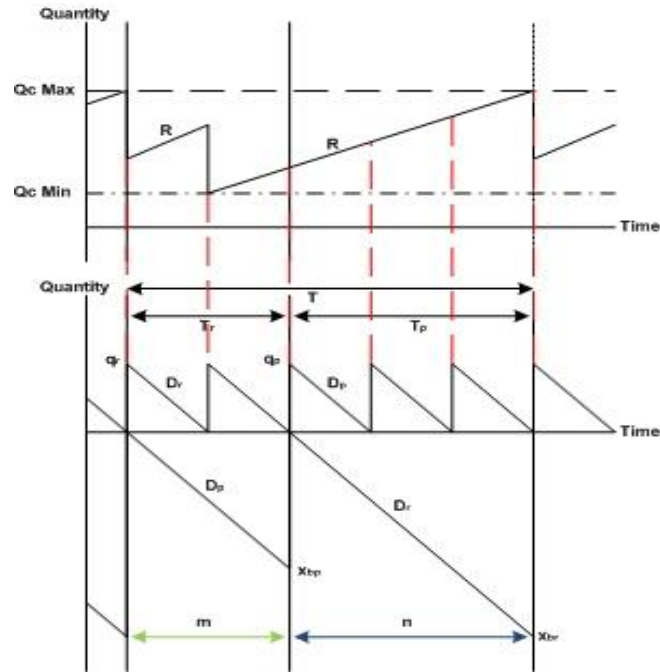
MODEL MATEMATIK

Model produksi, remanufaktur, dan pembuangan limbah didapatkan dari Jaber dan El Saadany (2009) pada gambar 1 berikut :



Gambar 1. Aliran material untuk sistem proses produksi dan proses remanufaktur, dimana $n = 2$

Dari model diatas dikembangkan dengan menambah persediaan untuk barang kembali yang disebut persediaan pihak ketiga. Dari aliran material diatas maka pada *Repairable Stock* akan diubah menjadi *Third Party Inventory* sehingga terjadi perubahan dari model sebelumnya yang dikembangkan oleh Hasanov , Jaber, dan Zolfaghari (2012). Oleh karena itu pada paper kami kali ini akan mengembangkan biaya simpan dari model sebelumnya sehingga didapatkan model baru dari pengembangan model inventory.



Gambar 2. The behaviour of inventory remanufacture and manufacture with pure backorder ($m = 2, n = 3$) and third party inventory model.

- *Backorder Cost*

Model *Backorder Cost* dari gambar 2 yang didapatkan dari Hasanov , Jaber, dan Zolfaghari (2012) dimana model dari grafik diatas dijabarkan sebagai berikut :

$$BC_{rp}(m, n, \gamma_r, \gamma_p) = BC_p \left(\frac{m}{D_r} q_r \right)^2 \frac{D_p}{2} + BC_r \left(\frac{n}{D_p} q_r \right)^2 \frac{D_r}{2} \left(\left(\frac{m}{n} \right) \frac{1 - \gamma_r \beta_r}{\gamma_p \beta_p} \right)^2 \quad (1)$$

Jika disederhanakan menjadi

$$BC_{rp}(m, \gamma_r, \gamma_p) = \left\{ \frac{m^2}{2} \left[BC_p \frac{D_p}{D_r^2} + BC_r \frac{D_r}{D_p^2} \left(\frac{1 - \gamma_r \beta_r}{\gamma_p \beta_p} \right)^2 \right] \right\} \quad (2)$$

- *Set up Cost*

Total biaya *set up* pada waktu T dapat dihitung dengan :

$$Set\ up\ cost = mS_r + nS_p \quad (3)$$

- *Holding Cost*

Model yang didapatkan dari gambar 2 didapatkan biaya simpan seperti berikut :

$$\left(h_r \frac{q_r q_r}{D_r} \right) m + \left(h_p \frac{q_p q_p}{D_p} \right) n \quad \text{dimana } T_r = \frac{mq_r}{D_r} \text{ and } T_p = \frac{nq_p}{D_p}$$

Pada model Hasanov , Jaber, dan Zolfaghari (2012) didapatkan

$$\left(h_r \frac{mq_r^2}{D_r} \right) + \left(h_p \frac{nq_r^2}{D_p} \right) \left(\left(\frac{m}{n} \right) \frac{1 - \gamma_r \beta_r}{\gamma_p \beta_p} \right)^2$$

Kemudian ditambahkan dengan biaya simpan pihak ketiga dengan model yang didapat dari **gambar 2** dan dijabarkan pada **appendix A** seperti berikut :

$$hu \left[\left(\frac{5q_r^2 m}{8D_r} \right) + \left(\frac{5q_r^2 m}{4} \right) \left(\frac{\gamma_p \beta_p D_p + 2D_r - 2\gamma_r \beta_r D_r}{2D_r \gamma_p \beta_p D_p} \right) \right]$$

Kemudian didapatkan total biaya simpan sebesar :

$$\left(h_r \frac{mq_r^2}{D_r} \right) + \left(h_p \frac{nq_r^2}{D_p} \right) \left(\frac{m}{n} \frac{1-\gamma_r \beta_r}{\gamma_p \beta_p} \right)^2 + hu \left[\left(\frac{5m}{8D_r} \right) + \left(\frac{5m(\gamma_p \beta_p D_p + 2D_r - 2\gamma_r \beta_r D_r)}{8D_r \gamma_p \beta_p D_p} \right) \right] \quad (4)$$

- *Total Cost*

Biaya total yang per interval T didapatkan dari penjumlahan total biaya *setup* per siklus, total biaya simpan per siklus, dan total biaya *backorder* per siklus yaitu

$$mS_r + nS_p + BC_{rp}(m, n, \gamma_r, \gamma_p) + H(m, n, \gamma_r, \gamma_p)$$

Total biaya per unit waktu didapatkan dengan membagi penjumlahan diatas dengan T sesuai dengan Hasanov , Jaber, dan Zolfaghari (2012):

$$\omega(m, n, \gamma_r, \gamma_p) = \frac{A}{q_r} (mS_r + nS_p + q_r^2 BC_{rp}(m, \gamma_r, \gamma_p) + q_r^2 H(m, n, \gamma_r, \gamma_p)) \quad (5)$$

dimana,

$$A = \frac{1}{T} \text{ dan } \frac{A}{q_r} = \frac{1}{\frac{m}{D_r} + \frac{n}{D_p} \left(\frac{m}{n} \frac{1-\gamma_r \beta_r}{\gamma_p \beta_p} \right)}$$

Setelah mendapatkan turunan pertama persamaan 5 dan disamadengankan dengan nol sehingga mendapatkan q_r :

$$q_r(m, n, \gamma_r, \gamma_p) = \sqrt{\frac{mS_r + nS_p}{BC_{rp}(m, \gamma_r, \gamma_p) + H(m, n, \gamma_r, \gamma_p)}} \quad (6)$$

Dengan substitusi Persamaan 6 ke Persamaan 5 maka didapatkan penyederhanaan seperti berikut :

$$\omega(m, n, \gamma_r, \gamma_p) = 2A \sqrt{(mS_r + nS_p)[H(m, n, \gamma_r, \gamma_p) + BC_{rp}(m, \gamma_r, \gamma_p)]}$$

Sama dengan model dari Jaber dan El Saadany (2009) dan pengembangan sebelumnya dari Hasanov , Jaber, dan Zolfaghari (2012) memberikan variabel keputusan yaitu :

$$Z = \text{Minimize } \omega(m, n, \gamma_r, \gamma_p)$$

Subject to : $m, n \geq 1, \text{ are integers,}$

$$0 \leq \gamma_r \leq 1$$

$$\gamma_{min} \leq \gamma_p \leq 1$$

$$\gamma_{min} > 0.$$

CONTOH NUMERIK

Nilai-nilai input parameter yang terdapat pada literatur akan digunakan untuk mengilustrasikan hasil dari model matematis yang dikembangkan dalam *paper* ini. Nilai dari input parameter yang spesifik terhadap model diasumsikan berdasarkan Hasanov , Jaber, dan Zolfaghari (2012) dimana perbedaan

paper ini dengan *paper* tersebut hanya terdapat pada perhitungan *holding cost* saja, sedangkan perhitungan lainnya tidak memiliki perbedaan.

Contoh. Berdasarkan pertimbangan produksi, remanufaktur dan situasi pembuangan limbah ditentukan parameter masukan sebagai berikut: $x = y = 1$, $D_r = D_p = 1000$, $S_p = 1960$, $S_r = 440$, $h_p = 850$, $h_r = h_u = 80$, dan $\beta_p = \beta_r = 0.667$, dan $\gamma_{\min} = 0.01$. Parameter masukan baru di sini adalah $BC_p = 3h_p = 2550$ dan $BC_r = 3h_r = 240$. Untuk nilai $q_r = 66$, $\gamma_r = 1$, dan $\gamma_p = 0.135$. Kemudian dilakukan pengujian model untuk membandingkan perbedaan hasil perhitungan *holding cost* pada jurnal ini dengan *holding cost* berdasarkan Hasanov , Jaber, dan Zolfaghari (2012).

Untuk perhitungan *holding cost* berdasarkan Hasanov , Jaber, dan Zolfaghari (2012) digunakan notasi sebagai berikut : $a =$ fraksi *holding cost* dan $b =$ *holding cost*.

$$a = \left(h_r \frac{mq_r^2}{D_r} \right) + \left(h_p \frac{nq_r^2}{D_p} \right) \left(\left(\frac{m}{n} \right) \frac{1-\gamma_r\beta_r}{\gamma_p\beta_p} \right)^2 \quad (7)$$

$$b = q_r^2 a \quad (8)$$

Berdasarkan perhitungan persamaan 7 dan persamaan 8 didapatkan nilai *holding cost* sebesar 50986,4 dengan $TC_1 = 57.872$.

Untuk perhitungan *holding cost* dimana adanya pihak ketiga diperhitungkan digunakan notasi $c =$ fraksi *holding cost* dan $d =$ *holding cost*.

$$c = \left(h_r \frac{mq_r^2}{D_r} \right) + \left(h_p \frac{nq_r^2}{D_p} \right) \left(\left(\frac{m}{n} \right) \frac{1-\gamma_r\beta_r}{\gamma_p\beta_p} \right)^2 + h_u \left[\left(\frac{5m}{8D_r} \right) + \left(\frac{5m(\gamma_p\beta_pD_p + 2D_r - 2\gamma_r\beta_rD_r)}{8D_r\gamma_p\beta_pD_p} \right) \right] \quad (9)$$

$$d = q_r^2 c \quad (10)$$

Berdasarkan perhitungan persamaan 9 dan persamaan 10 didapatkan nilai *holding cost* sebesar 52726 dengan $TC_2 = 59611,6$. Dari kedua hasil perhitungan tersebut terlihat bahwa selisih nilai TC adalah sebesar 1739,6.

Perbedaan nilai TC dari kedua model dipengaruhi oleh pengembangan yang dilakukan terhadap model pada *paper* ini yaitu adanya perubahan terhadap besarnya h_u (*holding cost* untuk *used item*) yang didapatkan dari adanya siklus pihak ketiga sehingga nilai *holding cost* pada *paper* ini menjadi lebih besar. Namun secara keseluruhan didapati bahwa hasil penelitian *paper* ini tidak memiliki perbedaan yang signifikan dengan penelitian Hasanov , Jaber, dan Zolfaghari (2012) dimana hasil akhir yang diperoleh $TC_1 > TC_2$.

SIMPULAN

Pada dasarnya produk dari produksi ulang dianggap oleh konsumen memiliki kualitas dibawah produk baru. Hal ini juga dijelaskan pada penelitian yang dilakukan Jaber dan El Saadany (2009) pada papernya. Dengan menggunakan persediaan pihak ketiga yang dikelola oleh perusahaan sendiri diharapkan mampu untuk mengurangi limbah dan penggunaan sumber daya alam sebagai bahan baku. Selain itu perusahaan mampu menghasilkan produk dengan kualitas yang hampir sama dengan produk baru karena dapat memilih dan mengetahui sendiri barang habis pakai yang akan diolah kembali menjadi produk hasil produksi ulang. Pada penelitian yang dilakukan oleh Hasanov, Jaber, dan Zolfaghari (2012) dengan asumsi tingkat permintaan untuk produksi ulang dan produksi menjadi variabel acak menjadi pengembangan yang sangat menarik dan mengisi celah dalam literaturnya.

Pada *paper* ini pengembangan lebih difokuskan pada pengembangan persediaan pihak ketiga sehingga dihasilkan model baru dari model Hasanov, Jaber, dan Zolfaghari (2012). Perubahan biaya simpan memungkinkan perubahan pada biaya total selain itu juga mampu membatasi jumlah produk habis yang akan diproduksi ulang. Hal ini dapat menyebabkan meningkatnya persepsi konsumen mengenai kualitas barang produksi ulang karena perusahaan dapat memilih bahan yang terkumpul pada persediaannya sendiri. Banyak batasan yang diberikan sehingga dapat dikembangkan lebih rinci di penelitian mendatang.

APPENDIX A

Mencari *holding cost* pada persediaan pihak ketiga :

$$\left(\frac{(2q_r + Y) T_r}{2} \right) + \left(\frac{(Y + 2q_r) T_r + T_p}{2} \right) \text{ dimana } T_r = \frac{mq_r}{D_r}, T_p = \frac{mq_p}{D_p}, \text{ dan } \frac{q_r}{q_p} = \left(\frac{m}{n} \right) \frac{1 - \gamma_r \beta_r}{\gamma_p \beta_p}, \text{ maka}$$
$$\left(\frac{(5q_r)}{4} \left(\frac{mq_r}{2D_r} \right) \right) + \left(\frac{(5q_r)}{4} \left(\frac{mq_r}{2D_r} + \frac{mq_r (1 - \gamma_r \beta_r)}{\gamma_p \beta_p D_p} \right) \right)$$
$$\left(\frac{(5q_r^2 m)}{8D_r} \right) + \left(\frac{(5q_r^2 m)}{4} \left(\frac{\gamma_p \beta_p D_p + 2D_r - 2\gamma_r \beta_r D_r}{2D_r \gamma_p \beta_p D_p} \right) \right)$$

PUSTAKA

- Chung, S.L., Wee, H.M., and Yang, P.C. (2007). Optimal Policy for a Closed-Loop Supply Chain Inventory System with Remanufacturing. *Mathematical and Computer Modelling*, 48 (2008) 867-881.
- Hasanov, P., Jaber, M.Y., and Zolfaghari, S. (2011). Production, Remanufacturing and Waste Disposal Models for the Cases of pure and Partial Backordering. *Applied Mathematical Modelling*, 36 (2012) 5249-5261.
- Jaber, M.Y., El Saadany, A.M.A. (2009). The Production, Remanufacture and Waste Disposal with Lost Sale. *Int. J. Prod. Econ.* 120 (1) 115-124.
- Richter, K. (1996). The Extended EOQ Repair and Waste Disposal Model. *Int. J. Prod. Econ.* 45 (1-3) 443-447.