

# MODEL PERSEDIAAN *CLOSED-LOOP SUPPLY CHAIN (CLSC)* DENGAN *REMANUFACTURING, REFURBISHING*, DAN MANAJEMEN PRODUK KEDALUWARSA

Alexander Yonathan Christy, Dewi Retno Sari Saputro, dan Wakhid Ahmad Jauhari  
Program Studi Matematika FMIPA UNS

**ABSTRAK.** Dalam memaksimalkan keuntungan, menentukan harga eceran dan kualitas produk adalah hal yang penting. Jika harga produk terlalu mahal atau kualitas produk terlalu rendah, maka tingkat permintaan produk menjadi sedikit. Sebaliknya, harga yang terlalu murah dan kualitas yang terlalu tinggi secara berturut-turut menyebabkan pendapatan yang diterima sedikit dan biaya produksi meningkat. Model persediaan *closed-loop supply chain (CLSC)* dapat digunakan untuk menentukan harga dan kualitas produk dengan memaksimalkan keuntungan gabungan produsen, pengecer, dan pengepul. Penelitian ini menentukan model persediaan *CLSC* dengan mempertimbangkan *remanufacturing, refurbishing*, dan manajemen produk kedaluwarsa.

**Kata Kunci:** *model persediaan, CLSC, keuntungan maksimum, remanufacturing, refurbishing, produk kedaluwarsa*

## 1. PENDAHULUAN

Persediaan adalah produk yang disimpan untuk tujuan tertentu, misalnya diolah dalam proses produksi (*manufacturing*) atau dijual. Model matematika yang mengatur tentang persediaan disebut dengan model persediaan. Kampstra *et al.* [2] memaparkan bahwa sebelum abad ke-18 model persediaan hanya di-gunakan untuk memenuhi satu tujuan saja. Pada pertengahan abad ke-19, model persediaan *supply chain (SC)* yang dapat memenuhi lebih dari satu tujuan mulai ditemukan dan terus dikembangkan sampai pertengahan tahun 1990.

Menurut Kumar dan Kumar [4], *SC* dapat didefinisikan sebagai sistem yang meliputi proses produksi dan pengiriman produk dari produsen sampai kepada konsumen. Jika sistem dilanjutkan dengan pengiriman produk bekas pakai ke produsen untuk diolah kembali, maka terbentuklah siklus yang disebut dengan *closed-loop supply chain (CLSC)*. Thierry *et al.* [7] membagi proses pengolahan produk bekas pakai menjadi dua, yaitu *remanufacturing* dan *refurbishing*.

Maiti dan Giri [5] memaparkan bahwa, *remanufacturing* adalah proses pengolahan produk bekas pakai menjadi produk dengan kualitas yang sama dengan produk baru sehingga dapat dijual dengan harga yang sama. Produk bekas pakai yang dinilai memenuhi kriteria untuk diolah kembali, dikirimkan ke produsen oleh pengepul. Dalam model *CLSC* yang dibuat oleh Maiti dan Giri [5], diasumsikan bahwa semua produk bekas pakai dapat diolah dengan *remanufacturing*. Pada kenyataannya tidak semua produk bekas dapat memperoleh kualitas yang sama dengan produk baru, sehingga diperlukan *refurbishing*.

Proses pengolahan produk bekas pakai menjadi produk dengan kualitas yang lebih rendah dari produk baru disebut dengan *refurbishing*. Produk *refurbishing*

dijual dengan harga yang lebih rendah dari produk baru. Model *CLSC* dengan *re-manufacturing* dan *refurbishing* sudah dikembangkan oleh Konstantaras *et al.* [3], namun model tersebut kurang sesuai dengan kenyataan, karena produsen juga berperan menjual produk ke konsumen dan mengumpulkan produk bekas pakai.

Maiti dan Giri [5], maupun Konstantaras *et al.*[3] mengasumsikan semua produk akan laku terjual. Pada kenyataannya, ada kemungkinan produk tidak terbeli sampai melewati masa kedaluwarsanya sehingga diperlukan manajemen produk kedaluwarsa. Mengacu pada Tanyal *et al.* [6], kerugian yang disebabkan oleh produk yang tidak laku terjual ditanggung oleh pengecer sebagai pihak yang menjual produk kepada konsumen. Produk kedaluwarsa tidak dapat dijual kepada konsumen sehingga pengecer langsung mengirimkan produk kedaluwarsa ke pengepul.

Penelitian ini memaparkan penurunan model persediaan *CLSC* menggunakan model Maiti dan Giri [5] sebagai acuan dengan memperhatikan *remanufacturing*, *refurbishing*, dan manajemen produk kedaluwarsa. Model yang dibuat terdiri atas tiga pihak, yaitu produsen, konsumen, dan pengepul. Ditentukan nilai dari variabel harga eceran dan kualitas produk, sedemikian sehingga diperoleh keuntungan maksimum dalam satu kali siklus *CLSC*. Model yang dibuat diterapkan dan hasil terapannya dianalisis.

## 2. MODEL PERSEDIAAN *SC* SEDERHANA

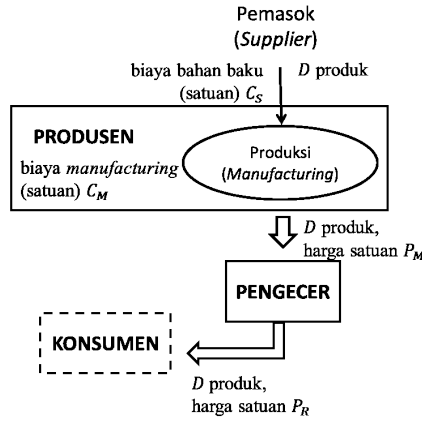
Mengacu pada Maiti dan Giri [5], diasumsikan produsen mengetahui tingkat permintaan produk yaitu sebesar  $D$ . Biaya bahan mentah, produksi dan harga jual grosir produk secara berturut-turut dinotasikan sebagai  $C_S$ ,  $C_M$ , dan  $P_M$ . Pengecer menjual produk ke konsumen dengan harga eceran  $P_R$ . Keuntungan yang didapat oleh produsen dan pengecer dalam satu kali siklus produksi secara berturut-turut adalah

$$\begin{aligned}\Pi_M(P_R) &= DP_M - D(C_M + C_S), \text{ dan} \\ \Pi_R(P_R) &= DP_R - DP_M,\end{aligned}$$

dengan asumsi

- (1) hanya terdapat satu produsen dan satu pengecer,
- (2) produsen mengetahui tingkat permintaan produk yaitu sebesar  $D = d - \alpha P_R + \beta Q$ , dengan  $\alpha$  dan  $\beta$  secara berturut-turut adalah faktor sensitivitas harga eceran dan kualitas terhadap tingkat permintaan produk,
- (3) tingkat permintaan produk tidak dipengaruhi oleh faktor yang lain,
- (4) semua produk laku terjual,
- (5) tidak ada barang yang rusak selama proses produksi, dan
- (6) tidak ada kendala biaya, waktu, dan kapasitas gudang pada model.

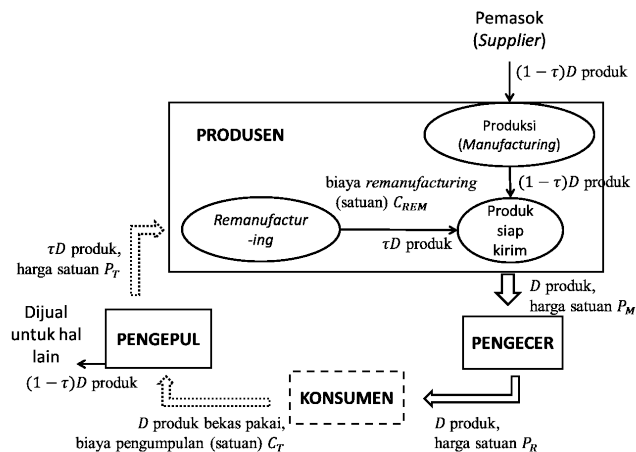
Diagram alur pengiriman produk pada *SC* ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir pengiriman produk pada *SC*

### 3. MODEL PERSEDIAAN *CLSC*

Produsen memproduksi produk baru dan mengolah produk bekas pakai dengan *remanufacturing*. Variabel  $Q$  mulai diperhatikan pada *CLSC* karena kualitas olahan produk bekas pakai harus sama dengan produk baru. Diasumsikan bahwa barang mentah dari pemasok memiliki nilai  $Q = 0$  dan kualitas produk bekas pakai dari pengepul diasumsikan selalu konstan yaitu  $Q_r$ . Biaya yang dibutuhkan untuk membuat suatu produk dengan  $Q = 0$  menjadi  $Q = 1$  adalah  $C_q$ . Semakin tinggi kualitas produk mengakibatkan biaya yang dikeluarkan produsen semakin besar, di sisi lain kualitas yang bagus menambah tingkat permintaan produk sehingga produsen perlu mempertimbangkan nilai  $Q$  yang paling menguntungkan. Diagram alir pengiriman produk pada *CLSC* ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir pengiriman produk pada *CLSC*

Jika terdapat  $\tau D$  produk yang dikembalikan oleh pengepul untuk diolah kembali melalui proses *remanufacturing*, dengan  $0 < \tau < 1$ , maka produsen perlu memproduksi produk baru sebanyak  $(1 - \tau)D$ . Biaya *remanufacturing* per unit produk

( $C_{REM}$ ) kurang dari biaya *manufacturing* ( $C_M$ ), dan produk hasil *remanufacturing* maupun *manufacturing* dijual ke pengecer dengan harga ( $P_M$ ) yang sama karena keduanya memiliki kualitas yang sama. Pengecer tidak mengalami perubahan perilaku, sehingga keuntungannya tidak berubah. Produsen membeli  $\tau D$  produk dari pengepul, dan pengepul mengeluarkan biaya untuk mengumpulkan satu produk dan biaya untuk memilah produk yang layak untuk diolah kembali secara berturut-turut sebesar  $C_T$  dan  $C_{IT}$ . Model *CLSC* untuk satu kali siklus produksi dituliskan sebagai

$$\begin{aligned}\Pi_M(P_R, Q) &= DP_M - (1 - \tau)D(C_M + C_S + C_q Q^2) \\ &\quad - \tau D(C_{REM} + C_q(Q^2 - Q_r^2) - P_T), \\ \Pi_R(P_R, Q) &= DP_R - DP_M, \text{ dan} \\ \Pi_T(P_R, Q) &= \tau DP_T - D(C_T + C_{IT}) + (1 - \tau)DP_{2nd},\end{aligned}\tag{3.1}$$

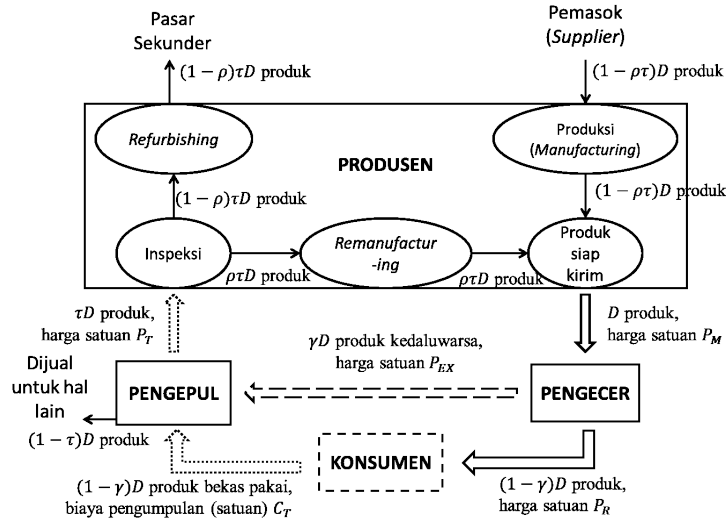
dengan asumsi

- (1) hanya terdapat satu produsen, pengecer, dan pengepul,
- (2) produsen mengetahui tingkat permintaan produk yaitu sebesar  $D = d - \alpha P_R + \beta Q$ , dengan  $\alpha$  dan  $\beta$  secara berturut-turut adalah faktor sensitivitas harga eceran dan kualitas terhadap tingkat permintaan produk,
- (3) tingkat permintaan produk tidak dipengaruhi oleh faktor yang lain,
- (4) semua produk laku terjual,
- (5) pengepul dapat mengumpulkan semua produk bekas pakai,
- (6) semua produk bekas pakai yang dikembalikan ke produsen dapat diolah dengan *remanufacturing*,
- (7) tidak ada barang yang rusak selama proses produksi,
- (8) tidak ada *back order* pada sistem, dan
- (9) tidak ada kendala biaya, waktu, *number of regeneration*, dan kapasitas gudang pada model.

#### 4. MODEL PERSEDIAAN *CLSC* DENGAN REMANUFACTURING, REFURBISHING, DAN MANAJEMEN PRODUK KEDALUWARSA

Tidak semua produk bekas dapat memperoleh kualitas yang sama dengan produk baru, sehingga perlu ditambahkan *refurbishing* yang mengacu pada Konstantaras *et al* [3] pada model (3.1). Pada tingkat permintaan tertentu, terdapat produk yang tidak terbeli sampai melewati masa kedaluwarsa sehingga manajemen produk kedaluwarsa juga perlu ditambahkan pada model (3.1). Jika pengecer langsung mengirimkan produk kedaluwarsa ke pengepul, maka diperoleh diagram alur pengiriman produk yang disajikan pada Gambar 3.

Pada *CLSC* baru, produsen menerima produk bekas pakai sebanyak  $\tau D$ . Produsen memilah produk yang dapat diolah melalui *remanufacturing* dan *refurbishing*,


 Gambar 3. Diagram alur pengiriman produk pada *CLSC* baru

dengan biaya inspeksi per unit produk  $C_{IM}$ . Diasumsikan sebanyak  $\rho\tau D$  produk diolah melalui proses *remanufacturing* dan sisanya diolah melalui *refurbishing* dengan biaya per unit produk  $C_{REF}$ . Produk yang diolah melalui *refurbishing* memiliki kualitas produk  $Q_f$  dan dijual dengan harga  $P_{2nd}$ . Produsen harus mengirimkan produk sebanyak  $D$  ke pengecer, sehingga produk mentah yang harus dipesan produsen adalah sebanyak  $(1 - \rho)\tau D$ . Terdapat  $\gamma D$  produk yang tidak terjual di pengecer dan langsung dikirimkan ke pengepul. Model *CLSC* baru untuk satu kali siklus produksi dituliskan sebagai

$$\begin{aligned} \Pi_M(P_R, Q) = & DP_M - (1 - \rho\tau)D(C_M + C_S + C_q Q^2) - \rho\tau D(C_{REM} \\ & + C_q(Q^2 - Q_r^2)) - (1 - \rho)\tau D(C_{REF} + C_q(Q_f^2 - Q_r^2) - P_{2nd}) \\ & - \tau D(P_T + C_{IM}), \end{aligned} \quad (4.1)$$

$$\Pi_R(P_R, Q) = (1 - \gamma)DP_R - DP_M + \gamma DP_{EX}, \text{ dan}$$

$$\Pi_T(P_R, Q) = \tau DP_T - (1 - \gamma)D(C_T + C_{IT}) + (1 - \tau)DP_{2nd} - \gamma DP_{EX},$$

dengan asumsi

- (1) hanya terdapat satu produsen, pengecer, dan pengepul,
- (2) produsen memproduksi produk sebanyak  $D = d - \alpha P_R + \beta Q$ , dengan  $\alpha$  dan  $\beta$  secara berturut-turut adalah faktor sensitivitas harga eceran dan kualitas terhadap tingkat permintaan produk,
- (3) tingkat permintaan produk kurang dari atau sama dengan banyaknya produk yang diproduksi,
- (4) terdapat produk yang tidak laku terjual sampai melewati masa kedaluwarsanya,

- (5) pengepul dapat mengumpulkan semua produk bekas pakai dari konsumen dan menerima produk kedaluwarsa dari pengecer,
- (6) produk bekas pakai yang dikembalikan ke produsen sebagian diolah dengan *remanufacturing* dan sisanya diolah dengan *refurbishing*,
- (7) tidak ada barang yang rusak selama proses produksi,
- (8) tidak ada *back order* pada sistem, dan
- (9) tidak ada kendala biaya, waktu, *number of regeneration*, dan kapasitas gudang pada model.

Dari model (4.1), diperoleh keuntungan gabungan produsen, pengecer, dan pengepul, yaitu

$$\begin{aligned} \Pi(P_R, Q) = & (1 - \gamma)DP_R + (1 - \tau)DP_{2nd} - (1 - \rho\tau)D(C_M + C_S + C_qQ^2) \\ & - \rho\tau D(C_{REM} + C_q(Q^2 - Q_r^2)) - (1 - \rho)\tau D(C_{REF} + C_q(Q_f^2 - Q_r^2) - P_{2nd}) \\ & - \tau DC_{IM} - (1 - \gamma)DC_T + DC_{IT}. \end{aligned} \quad (4.2)$$

Ditentukan nilai  $Q$  dan  $P_R$ , sedemikian sehingga diperoleh keuntungan gabungan  $\Pi(P_R, Q)$  maksimum.

## 5. PENYELESAIAN OPTIMAL

Pada Persamaan 4.1, dapat dibuktikan bahwa  $\Pi(P_R, Q)$  adalah fungsi konkaf menggunakan *Sylvester Criterion* sehingga penyelesaiannya tunggal. Jika diasumsikan bahwa nilai  $Q$  konstan, maka  $\Pi(P_R, Q)$  maksimum apabila

$$\begin{aligned} P_R = & \frac{1}{2\alpha(1 - \gamma)}((1 - \gamma)(d + \beta Q) + \alpha(C_{IT} + C_M + C_S + C_T - P_{2nd}) \\ & + C_q(Q^2 + \alpha\tau(C_{IM} + C_{REF} - C_q(Q_f^2 - Q_r^2)) - \rho(C_M + C_{REF} \\ & - C_{REM} + C_S - P_{2nd} - P_T + C_qQ_f^2)), \end{aligned} \quad (5.1)$$

dengan  $0 \leq Q \leq 1$ .

## 6. PENERAPAN

Berikut diterapkan model (4.1) dari data yang bersumber pada Asosiasi Perusahaan Air Minum dalam Kemasan Indonesia (ASPADIN) [1], data di lapangan, dan nilai parameter yang diberikan pada Maiti dan Giri [5]. Nilai  $d = 5691$  unit,  $\alpha = 1.37$ ,  $\beta = 914.63$ ,  $Q_r = 0.3$ ,  $Q_f = 0.3$ ,  $\gamma = 0.08$ ,  $\tau = 0.87$ , dan  $\rho = 0.05$ . Data biaya dan harga yang terdapat pada satu kali siklus *CLSC* disajikan pada Tabel 1.

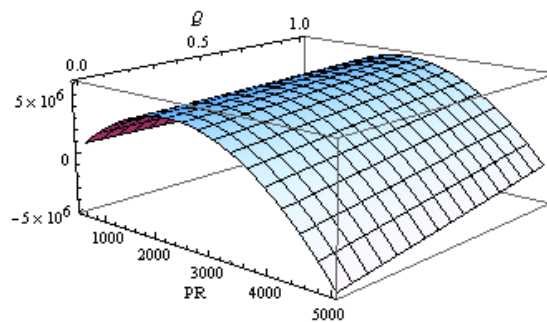
Dari persamaan (4.1), diperoleh keuntungan gabungan yang dituliskan sebagai

$$\begin{aligned} \Pi(P_R, Q) = & -4.44 \times 10^6 + 6305.26P_R - 1.26P_R^2 - 714042Q \\ & + 841.46P_RQ - 284550Q^2 + 68.5P_RQ^2 - 45731Q^3. \end{aligned} \quad (6.1)$$

Tabel 1. Data biaya dan harga pada siklus *CLSC*

Parameter	Penerima	Penanggung	Angka (Rp)
$C_S$	supplier	produsen	200,00
$C_M$	-	produsen	600,00
$C_q$	-	produsen	50,00
$P_M$	produsen	pengecer	1.850,00
$P_{EX}$	pengecer	pengepul	100,00
$C_T$	-	pengepul	100,00
$C_{IT}$	-	pengepul	50,00
$P_T$	pengepul	produsen	350,00
$C_{REM}$	-	produsen	350,00
$C_{REF}$	-	produsen	40,00
$C_{IM}$	-	produsen	10,00
$P_{2nd}$	produsen, pengepul	-	300,00

Grafik keuntungan gabungan terhadap harga eceran dan kualitas produk ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik keuntungan gabungan terhadap harga eceran dan kualitas produk

Secara umum, kualitas produk yang terlalu tinggi menyebabkan bertambahnya biaya penambahan kualitas sehingga keuntungan yang diperoleh berkurang. Dari Gambar 4, dapat dilihat bahwa semakin tinggi nilai kualitas produk menyebabkan keuntungan yang diperoleh semakin tinggi. Hal ini disebabkan oleh biaya penambahan kualitas yang rendah dan tingginya variabel sensitivitas kualitas terhadap permintaan produk.

Nilai keuntungan gabungan maksimum dari persamaan (6.1) adalah  $\Pi(P_R, Q) =$  Rp 4.838.750,00, dengan  $P_R =$  Rp 2862,28 dan  $Q = 1$ . Dilihat dari persentase keuntungan yang diperoleh, produsen mendapat keuntungan terbesar yaitu sebanyak 46.5%. Pengecer dan pengepul berturut-turut memperoleh persentase keuntungan sebesar 44% dan 9.5%. Hal ini sesuai dengan kenyataan karena produsen memiliki peran terbesar pada sistem. Pengecer juga memperoleh keuntungan yang cukup besar karena pengecer dapat memasarkan lebih dari satu jenis produk dan pengepul dapat mengumpulkan lebih dari satu jenis produk bekas pakai.

## 7. KESIMPULAN

- (1) Model Persediaan *CLSC* dengan *remanufacturing*, *refurbishing*, dan manajemen produk kedaluwarsa adalah

$$\begin{aligned} \Pi_M(P_R, Q) = & DP_M - (1 - \rho\tau)D(C_M + C_S + C_qQ) - \rho\tau D(C_{REM} + C_q(Q - Q_r)) \\ & - (1 - \rho)\tau D(C_{REF} + C_q(Q_f - Q_r) - P_{2nd}) - \tau D(P_T + P_{IM}), \end{aligned}$$

$$\Pi_R(P_R, Q) = (1 - \gamma)DP_R - DP_M + \gamma DP_{EX},$$

$$\Pi_T(P_R, Q) = \tau DP_T - (1 - \gamma)DC_T + DC_{IT} + (1 - \tau)DP_{2nd} - \gamma DP_{EX},$$

dengan keuntungan gabungan produsen, pengecer, dan pengepul, yaitu

$$\begin{aligned} \Pi(P_R, Q) = & (1 - \gamma)DP_R + (1 - \tau)DP_{2nd} - (1 - \rho\tau)D(C_M + C_S + C_qQ) \\ & - \rho\tau D(C_{REM} + C_q(Q - Q_r)) - (1 - \rho)\tau D(C_{REF} + C_q(Q_f \\ & - Q_r) - P_{2nd}) - \tau DC_{IM} - (1 - \gamma)DC_T + DC_{IT}. \end{aligned}$$

- (2) Penyelesaian optimum dari  $\Pi(P_R, Q)$  dituliskan sebagai

$$\begin{aligned} P_R = & \frac{1}{2\alpha(1 - \gamma)}((1 - \gamma)(d + \beta Q) + \alpha(C_{IT} + C_M + C_S + C_T - P_{2nd}) \\ & + C_q(Q^2 + \alpha\tau(C_{IM} + C_{REF} - C_q(Q_f^2 - Q_r^2)) - \rho(C_M + C_{REF} \\ & - C_{REM} + C_S - P_{2nd} - P_T + C_qQ_f^2)), \text{ dengan } 0 \leq Q \leq 1. \end{aligned}$$

- (3) Pada penerapan, diperoleh keuntungan gabungan total dalam satu kali siklus produksi sebesar Rp 4.838.750, 00, dengan persentase keuntungan produsen, pengecer, dan pengepul secara berturut-turut adalah 46.5%, 44%, dan 9.5%.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Asosiasi Perusahaan Air Minum dalam Kemasan Indonesia (ASPADIN), Data Tingkat Permintaan dan *Market Share* AMDK tahun 2013 dan 2014, Jakarta, 2014.
- [2] Kampstra, R., J. Ashayeri, and J. Gattorna, *Realities of Supply Chain Collaboration*, Journal Log Management **17** (2006), 312-320.
- [3] Konstantaras, I., K. Skouri, dan Y. Jaber, *Lot Sizing for a Recoverable Product with Inspection and Sorting*, Journal of Computers Industrial Engineering **58** (2010), 452-462.
- [4] Kumar, N. and R. Kumar, *Closed-Loop Supply Chain Management and Reverse Logistics-A Literature Review*, Journal of Engineering Research and Technology **6** (2013), 455-468.
- [5] Maiti, T. and B. Giri, *A Closed-Loop Supply Chain Under Retail Price and Product Quality Dependent Demand*, Journal of Manufacturing **37** (2015), 624-637.
- [6] Tanyal, S., S. Singh, and R. Sharma, *A Multi Item Inventory Model for Deteriorating Items with Expiration Date and Allowable Shortages*, Journal of Science and Tecnology **7** (2014), 114-135.
- [7] Thierry, M., M. Salomon, V. Nunen, and V. Wassenhove, *Strategic Issues in Product Recovery Management*, California Management Review **37** (1995), 114-135.