

## MODEL DESENTRALISASI *DUAL CHANNEL CLOSED-LOOP SUPPLY CHAIN* DENGAN PROSES DAUR ULANG PIHAK KETIGA DAN WAKTU TUNGGU PENGIRIMAN

### *Decentralization Models of Dual Channel Closed-Loop Supply Chain with Third-Party Recycling Process and Delivery Lead Time*

Ririn Setiyowati<sup>1\*</sup>, Sutanto<sup>2</sup>, Bowo Winarno<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Program Studi Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret  
Jl. Ir. Sutami 36A, Kentingan, Surakarta

e-mail: <sup>1\*</sup> [ririnsetiyowati@staff.uns.ac.id](mailto:ririnsetiyowati@staff.uns.ac.id) ; <sup>2</sup> [sutanto71@staff.uns.ac.id](mailto:sutanto71@staff.uns.ac.id) ;

<sup>3</sup> [bowowinarno@staff.uns.ac.id](mailto:bowowinarno@staff.uns.ac.id)

Corresponding author\*

#### Abstrak

*Dual channel closed loop supply chain (DC-CLSC)* merupakan model matematika yang menggambarkan serangkaian aktivitas *supply chain* yang menggunakan dua media penjualan serta produk bekas pakai yang telah digunakan konsumen di daur ulang kembali. Pada penelitian ini dikembangkan model DC-CLSC dengan proses daur ulang dilakukan oleh pihak ketiga dan diperhatikan waktu tunggu pengiriman pada skenario desentralisasi. Model yang diperoleh digunakan untuk menentukan variabel keputusan optimal yang terdiri dari harga grosir, harga pada media *online*, harga dari retailer, imbalan yang diberikan kepada pihak ketiga, dan tingkat pemulihan produk bekas. Berdasarkan solusi optimal, hasil penerapan, dan simulasi numerik diperoleh bahwa jika waktu tunggu pengiriman pada media *online* semakin lama maka keuntungan pamanufaktur dan pihak ketiga mengalami penurunan, sedangkan keuntungan pengecer mengalami kenaikan. Nilai total keuntungan sistem yang terdiri dari keuntungan pamanufaktur, pengecer dan pihak ketiga semakin rendah jika waktu tunggu pengiriman semakin lama.

**Kata Kunci :** *Dual channel, closed loop, pihak ketiga, daur ulang, waktu tunggu pengiriman.*

#### Abstract

*Dual channel closed loop supply chain (DC-CLSC)* is a mathematical model that describes a set of supply chain activities that use two sales channel and used products that have been used by consumers back to manufacturer. In this research, the DC-CLSC model was developed with third-party recycling process and delivery lead time. The model obtained is used to determine the optimal decision variables consisting of wholesale prices, price in the online channel, price from retailers, rewards given to third parties, and the recovery rate. Based on the results of optimal solution and numerical simulation he model obtained is used to determine the optimal decision variables consisting of wholesale prices, prices in the online channel, prices from retailers, rewards given to third parties, and the recovery rate.

**Keywords:** *Dual channel, closed loop, third-party, recycling, delivery lead time .*

Submitted: 10<sup>th</sup> January 2020

Accepted: 11<sup>th</sup> April 2020

This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license



## 1. PENDAHULUAN

*Supply chain* (SC) merupakan serangkaian aktivitas yang mencakup pembelian, manufaktur, distribusi, logistik, dan pemasaran yang melakukan fungsi memberikan suatu nilai kepada konsumen [2,7,9,14]. Pada awalnya, penjualan produk dari pamanufaktur sampai ke konsumen baik secara langsung dari pamanufaktur maupun melalui pengecer hanya menggunakan media *offline* dimana penjual dan pembeli bertatap muka secara langsung sehingga terjadi akad jual-beli. Namun, pesatnya perkembangan teknologi informasi dalam beberapa dekade terakhir mengakibatkan pertumbuhan pengguna internet terus meningkat setiap tahunnya. Hal ini menyebabkan para pamanufaktur, maupun pengecer, menambah strategi penjualan melalui media *online* dimana penjual dan pembeli melakukan akad jual-beli melalui media internet. Chiang *et al.*[3], Hua *et al.* [6] dan Qi *et al.* [10] menyatakan bahwa SC yang menggunakan media penjualan secara *offline* dan *online* disebut dengan *dual channel supply chain* (DCSC).

Produk yang telah sampai kepada konsumen pada DCSC akan menjadi produk bekas (*used products*). Jika terjadi pengiriman produk bekas kepada pamanufaktur untuk didaur ulang, maka terbentuklah siklus yang disebut dengan *dual channel closed-loop supply chain* (DC-CLSC)[4][5][11][12]. Contoh 3 produk yang menggunakan siklus DC-CLSC adalah EPSON, ASUS, dan Canon. Perkembangan teknologi mengakibatkan produk bekas dapat didaur ulang untuk meningkatkan kualitas produk bekas menjadi setara dengan kualitas produk baru. Selain itu, kesadaran lingkungan yang berkembang membuat pamanufaktur menganggap daur ulang sebagai strategi baru dalam memluas jangkauan pasar.

Penelitian terkait DC-CLSC telah banyak dilakukan diantaranya Saha *et al.*[11] meneliti terkait koordinasi DC-CLSC dengan adanya imbalan untuk proses remanufaktur. Arshad *et al.* menghasilkan pendekatan yang efisien untuk koordinasi DC-CLSC. Setiyowati *et al.*[13] menginvestigasi terkait DC-CLSC untuk satu pamanufaktur dan dua pengecer dengan mempertimbangkan kontrak harga diskon dan waktu tunggu pengiriman. Pada penelitian tersebut proses daur ulang dilakukan oleh pamanufaktur.

Berfokus pada penelitian Setiyowati *et al.*[13] dan Arshad *et al.*[1], penelitian ini dikembangkan model desentralisasi DC-CLSC dengan proses daur ulang dilakukan oleh pihak ketiga. Selain itu, dalam model ini juga diperhatikan tentang waktu tunggu pengiriman produk pada media *online*. Selanjutnya ditentukan harga optimal dari pamanufaktur dan pengecer baik pada media *offline* maupun media *online* dari model yang diperoleh menggunakan metode induksi invers. Selain itu, dilakukan analisis sensitivitas untuk melihat pengaruh setiap parameter terhadap keuntungan pamanufaktur dan pengecer.

## 2. METODE PENELITIAN

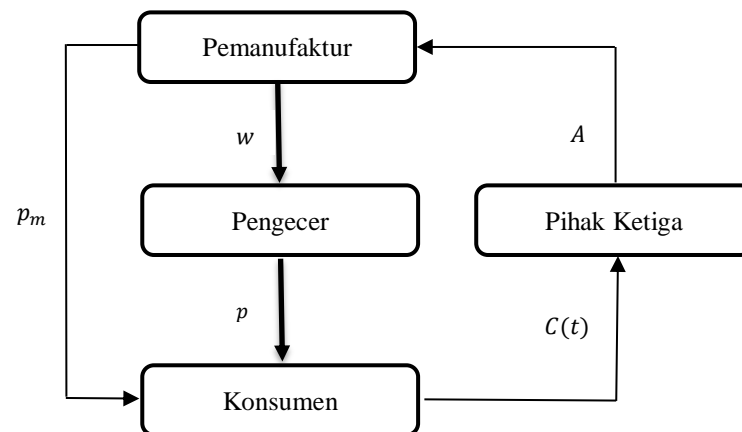
Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi literatur dan penerapan menggunakan data sekunder. Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan bahan referensi dari jurnal maupun prosiding mengenai model SC, DCSC dan DC-CLSC, kemudian dikonstruksi pengembangan model DC-CLSC dengan proses daur ulang pada pihak ketiga, ditentukan solusi optimal menggunakan metode induksi invers, dan dilakukan analisis sensitivitas dengan mensimulasi parameter-parameternya. Berikut diberikan daftar parameter dan variabel keputusan yang digunakan dalam penelitian ini pada Tabel 1.

**Tabel 1. Daftar variabel keputusan dan parameter yang digunakan dalam DC-CLSC**

Variabel Keputusan	Keterangan
$w$	Harga grosir produk per unit dari pamanufaktur ke pengecer
$p_m$	Harga produk per unit pada media <i>online</i> dari pamanufaktur
$p$	Harga produk per unit pada media <i>offline</i> dari pengecer
$t$	Tingkat pemulihan produk bekas
Parameter	Keterangan
$h$	Biaya operasional pengecer per unit produk
$a_p$	Kapasitas potensi pasar pada pengecer
$a_m$	Kapasitas potensi pasar pada pamanufaktur
$b_p$	Elastisitas permintaan pada pengecer
$b_m$	Elastisitas permintaan pada pamanufaktur
$c_m$	Biaya manufaktur per unit produk
$c_r$	Biaya daur ulang per unit produk
$s_p$	Sensitivitas harga silang antara media <i>offline</i> dan media <i>online</i>
$A$	Harga beli produk hasil daur ulang dari pamanufaktur ke pihak ketiga
$h$	Biaya operasional yang dikeluarkan oleh pengecer

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada subbab ini diuraikan terkait deskripsi dari *dual channel closed-loop supply chain* yang terdiri dari satu pamanufaktur, satu pengecer, dan satu pihak ketiga. Pemanufaktur diasumsikan hanya memproduksi satu jenis produk, yang selanjutnya dijual kepada pengecer melalui media *offline* dan dijual secara langsung kepada konsumen melalui media *online*. Produk yang telah digunakan oleh konsumen namun masih mempunyai nilai disebut dengan produk bekas pakai. Pemanufaktur mengoleksi hasil daur ulang produk bekas pakai dari konsumen melalui pihak ketiga. Representasi dari struktur *dual channel closed-loop supply chain* diberikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur *dual channel closed-loop supply chain* dengan pihak ketiga

Selanjutnya, diberikan asumsi-asumsi yang digunakan dalam mengkonstruksi model sebagai berikut.

1. Pemanufaktur mengoleksi hasil daur ulang produk bekas pakai melalui pihak ketiga dengan biaya yang dikeluarkan karena proses daur ulang dibebankan kepada pamanufaktur.
2. Biaya manufaktur lebih besar dari biaya daur ulang produk bekas yang dikeluarkan oleh pihak ketiga,  $c_m > c_r$  dan  $\delta = c_m - c_r$  merupakan penghematan biaya satuan dari proses daur ulang.
3. Mengacu pada asumsi dari Savaskan et al.[12], tidak ada perbedaan pada kualitas dan fungsi antara produk hasil daur ulang dengan produk baru.
4. Nilai dari tingkat pemulihan produk bekas  $t$  berada pada interval  $(0,1)$  dan semua produk bekas digunakan dalam proses daur ulang. Produksi unit rata-rata dari pamanufaktur dapat dituliskan sebagai

$$\bar{c} = (1 - t)c_m + tc_r = c_m - \delta t.$$

5. Biaya daur ulang dari produk limbah sebesar  $C(t) = kt^2$ , dengan  $k$  adalah parameter skala ( $k > 0$ ) dikeluarkan oleh pihak ketiga.
6. Diasumsikan nilai  $b_p > s_p$ , dan  $b_m > s_p$  sehingga  $b_p - s_p > 0$  dan  $b_m - s_p > 0$ .
7. Diperhatikan waktu tunggu pengiriman pada media *online* dari pamanufaktur ke pengecer dan waktu tunggu pengiriman dari pengecer ke konsumen diasumsikan sama dengan nol.
8. Semua parameter yang digunakan dalam model ini bernilai positif.

Dalam pengembangan model ini, terdapat 4 empat variabel keputusan yaitu harga grosir dari pamanufaktur ke pengecer ( $w$ ), harga produk per unit dari pamanufaktur langsung ke konsumen melalui media *online* ( $p_m$ ), harga produk per unit dari pengecer ke konsumen ( $p$ ), dan tingkat pemulihan produk bekas ( $t$ ). Model DC-CLSC dikembangkan menggunakan skenario desentralisasi. Langkah pertama yang dilakukan untuk mengkonstruksi model DC-CLSC adalah dengan mengkonstruksi fungsi permintaan.

#### 3.1. Fungsi Permintaan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Hua et al.[6], Moon et al.[8], Saha et al.[11], dan Setiyowati et al.[13], fungsi permintaan diasumsikan sebagai fungsi linear dari masing-masing pelaku dengan elastisitas permintaan  $b$  dan kapasitas potensi pemasaran  $a$ . Secara berturut-turut elastisitas permintaan pada media *online* dari pamanufaktur dan elastisitas permintaan pada media *offline* dari pengecer dinyatakan dengan  $b_m$  dan  $b_p$ , sedangkan kapasitas potensi pemasaran pada pamanufaktur dan pengecer dituliskan sebagai  $a_m$  dan  $a_p$ . Selain itu, fungsi permintaan juga linear terhadap efek harga silang antara media *online* dan media *offline* dengan sensitivitas sebesar  $s_p$ . Diasumsikan juga bahwa fungsi permintaan berhubungan

secara linear dengan waktu tunggu pengiriman  $l$ . Jika waktu tunggu pengiriman produk dari pamanufaktur ke konsumen melalui media *online* semakin lama, maka konsumen akan mengubah prioritas pembelian produk dari media *online* ke media *offline* melalui pengecer dengan sensitivitas waktu tunggu sebesar  $s_l$ . Fungsi permintaan pada media *offline* dari pengecer dinotasikan dengan  $D_f$  dan fungsi permintaan pada media *online* langsung dari pamanufaktur dinotasikan dengan  $D_n$ . Dengan demikian, fungsi permintaan pada media *offline* dan media *online* yang bergantung linear dengan  $p$  dan  $p_m$  dapat diformulasikan sebagai

$$D_f = a_p - b_p p + s_p p_m + s_l l \quad (1)$$

$$D_n = a_m - b_m p_m + s_p p - s_l l \quad (2)$$

dengan  $p$  menyatakan harga per unit produk dari pengecer ke konsumen melalui media *offline* dan  $p_m$  menyatakan harga per unit produk dari pamanufaktur ke konsumen melalui media *online*.

Harga per unit produk dari pamanufaktur ke konsumen melalui media *online* ( $p_m$ ) memuat biaya pengemasan dan biaya pengiriman. Oleh karena itu, harga per unit produk pada media *online* lebih besar daripada harga grosir per unit produk dan dituliskan sebagai  $p_m > w$ . Sampai tahap ini telah diperoleh fungsi permintaan pada media *online* dan *offline*. Selanjutnya, dikonstruksi model DC-CLSC.

### 3.2. Model DC-CLSC

Pertama, diasumsikan bahwa pamanufaktur dalam model ini bertindak sebagai pemimpin di dalam proses jual beli produk. Pamanufaktur menjual produk dengan harga grosir  $w$  melalui media *offline* ke pengecer dan dengan harga  $p_m$  melalui media *online* langsung kepada konsumen. Setelah pamanufaktur mendeklarasikan harga grosir dan harga pada media *online*, pengecer membuat keputusan terkait harga jual produk ke konsumen  $p$  dan jumlah permintaan sebesar  $D_f$  untuk dipesan kepada pamanufaktur.

Misalkan bahwa untuk menjual produk kepada konsumen, pengecer mengeluarkan biaya operasional sebesar  $h$  per unit produk, maka total biaya operasional yang dikeluarkan oleh pengecer adalah  $hD_f$ . Selain itu, pengecer juga mengeluarkan biaya pembelian atas produk yang dipesan kepada pamanufaktur sebesar  $wD_f$  sehingga total biaya yang dikeluarkan pengecer sebesar  $(h + w)D_f$ . Sedangkan total pendapatan yang diperoleh pengecer atas penjualan produk ke konsumen sebesar  $pD_f$ . Dengan demikian, fungsi keuntungan pengecer yang bergantung pada variabel keputusan  $p$  dapat dituliskan sebagai

$$\Pi_r(p) = (p - w - h)D_f. \quad (3)$$

Selanjutnya dikonstruksikan fungsi keuntungan pamanufaktur. Berdasarkan asumsi 2 dan 4, biaya yang dikeluarkan oleh pamanufaktur terdiri dari biaya manufaktur  $c_m$  per unit produk, biaya daur ulang  $c_r$  per unit produk, dan imbalan yang diberikan kepada pihak ketiga atas proses daur ulang produk bekas pakai sebesar  $A$ . Sedangkan pendapatan pamanufaktur diperoleh dari penjualan produk melalui media *offline* dengan harga  $w$  per unit produk dan penjualan melalui media *online* dengan harga  $p_m$  per unit produk. Dengan demikian, fungsi keuntungan pamanufaktur yang bergantung pada variabel keputusan  $w$ ,  $p_m$ , dan  $t$  dapat dituliskan sebagai

$$\Pi_m(w, p_m, A) = (w - c_m)D_f + (p_m - c_m)D_n + (\delta - A)t(D_f + D_n). \quad (4)$$

Pihak ketiga melakukan kegiatan mengoleksi barang bekas pakai, mengolah produk limbah, dan mendaur ulang menjadi produk baru dengan kualitas yang sama dengan produk baru yang dihasilkan oleh pamanufaktur. Berdasarkan asumsi 1, biaya yang dikeluarkan untuk proses daur ulang dibebankan kepada pamanufaktur dan pihak ketiga mendapat imbalan sebesar  $A$ . Namun berdasarkan asumsi (5), pihak ketiga mengeluarkan biaya untuk mengolah produk limbah sebesar  $C(t) = kt^2$ . Fungsi keuntungan pihak ketiga dapat diformulasikan sebagai

$$\Pi_\tau(t) = At(D_f + D_n) - kt^2. \quad (5)$$

Sampai pada tahap ini telah diperoleh model DC-CLSC dengan proses daur ulang pada pihak ketiga yang memperhatikan waktu tunggu pengiriman pada media *online* adalah memaksimalkan fungsi keuntungan pengecer, pamanufaktur, dan pihak ketiga seperti yang dituliskan pada persamaan (3), (4), dan (5). Selanjutnya, ditentukan apakah fungsi keuntungan pengecer, pihak ketiga, dan pamanufaktur merupakan fungsi konkaf tegas untuk menjamin bahwa fungsi tersebut mempunyai penyelesaian tunggal dan ditentukan solusi optimal menggunakan metode induksi invers.

### 3.3. Solusi Optimal Model DC-CLSC

Berdasarkan Persamaan (5) diperoleh turunan kedua fungsi  $\Pi_\tau$  terhadap  $t$  adalah

$$\frac{d^2\Pi_\tau}{dt^2} = -2k < 0,$$

dengan  $k > 0$  sesuai pada asumsi 8. Berakibat fungsi  $\Pi_\tau$  merupakan fungsi konkaf tegas dan dijamin mempunyai penyelesaian tunggal yaitu

$$t = \frac{A(D_f + D_n)}{2k}. \tag{6}$$

Dengan cara yang sama turunan kedua fungsi  $\Pi_r$  terhadap  $p$  pada persamaan (3) adalah

$$\frac{d^2\Pi_r}{dp^2} = -2 b_p$$

Oleh karena  $b_p$  selalu bernilai positif maka  $\frac{d^2\Pi_r}{dp^2} < 0$ . Dengan demikian, fungsi keuntungan pengecer merupakan fungsi konkaf tegas. Dengan demikian, terdapat penyelesaian tunggal dari masalah memaksimumkan fungsi keuntungan pengecer. Selanjutnya dengan menggunakan metode induksi invers, penyelesaian dari model (3) ditentukan dari

$$\frac{d\Pi_r}{dp} = a_p - pb_p + s_p p_m + s_l l - b_p(p - w - h) = 0$$

dan diperoleh

$$p = \frac{a_p + wb_p + s_p p_m + s_l l + b_p h}{2b_p}. \tag{7}$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (6) dan (7) ke dalam fungsi keuntungan pamanufaktur pada persamaan (4) diperoleh principal minor determinant dari matriks Hessian fungsi keuntungan pamanufaktur adalah

$$H_{11} = -b_p + \frac{A(-A + \delta) \left(-\frac{b_p}{2} + \frac{s_p}{2}\right)^2}{k}$$

$$H_{22} = \frac{1}{2kb_p} (b_p b_m - s_p^2) \left(A(A - \delta)b_p^2 + 2b_p (2k + A(A - \delta)(b_m - s_p)) + A(-A + \delta)s_p^2\right)$$

$$H_{33} = \frac{1}{8k^2 b_p^3} (b_p b_m - s_p^2) (b_p (-4k + (3A^2 - 3A\delta + \delta^2)(b_p + 2b_m)) - 2(3A^2 - 3A\delta + \delta^2)b_p s_p - (3A^2 - 3A\delta + \delta^2)s_p^2)(2a_m b_p - wb_p^2 - 2p_m b_p b_m + p_m b_p s_p + wb_p s_p + p_m s_p^2 + a_p(b_p + s_p) - lb_p s_l + ls_p s_l + b_p(-b_p + s_p)h)^2$$

Berdasarkan asumsi 6 dan 8 diperoleh  $b_p b_m - s_p^2 > 0$ , sehingga  $H_{11} < 0$ ,  $H_{22} > 0$ , dan  $H_{33} < 0$ . Dengan demikian, fungsi keuntungan pamanufaktur merupakan fungsi konkaf tegas sehingga dijamin mempunyai penyelesaian tunggal. Penyelesaian dari model (4) diperoleh dari sistem persamaan linear dari turunan parsial pertama model (4) terhadap variabel-variabel bebasnya dan dituliskan

$$\frac{\partial \Pi_m}{\partial w} = 0, \frac{\partial \Pi_m}{\partial p_m} = 0, \frac{\partial \Pi_m}{\partial A} = 0. \tag{8}$$

Penyelesaian dari sistem (8) adalah

$$w^* = (a_p(2b_p b_m(-8k + \delta^2(b_p + b_m)) - \delta^2 b_p b_m s_p - \delta^2(b_p + b_m)s_p^2 - \delta^2 s_p^3) + a_m (2b_p(-8k + \delta^2(b_m - 2s_p))s_p - \delta^2 s_p^3 + \delta^2 b_p^2(2b_m + s_p)) - 16kb_p^2 b_m c_m + 16kb_p s_p^2 c_m - 16klb_p b_m + 2l\delta^2 b_p b_m^2 s_l + 16klb_p s_p s_l - l\delta^2 b_p^2 s_p s_l - 3l\delta^2 b_p b_m s_p s_l + 3l\delta^2 b_p s_p^2 s_l - l\delta^2 b_3 s_p^2 s_l + (b_p b_m - s_p^2)(-2b_p(-8k + \delta^2(b_p + b_m)) + 3\delta^2 b_p s_l + \delta^2 s_p^2)h)/(2(b_p b_m - s_p^2)(\delta^2(b_p^2 - s_p^2) - 2b_p(8k + \delta^2(-b_m + s_p))))$$

$$p_m^* = (a_p (b_p (-16k + 3\delta^2(b_m - s_p))s_p - 2\delta^2 s_p^3 + \delta^2 b_p^2(b_m + s_p)) + a_m b_p (\delta^2 b_p^2 - 3\delta^2 s_p^2 - 2b_p(8k + \delta^2(-2b_m + s_p))) - 16kb_p^2 b_m c_m + 16kb_p s_p^2 c_m + 16klb_p^2 s_l - l\delta^2 b_p^3 s_l - 3l\delta^2 b_p^2 b_m s_l - 8klb_p s_p s_l + 3l\delta^2 b_p^2 s_p s_l + 3l\delta^2 b_p b_m s_p s_l - 2l\delta^2 s_p^3 s_l - \delta^2 b_p(b_p - s_p)(b_p b_m - s_p^2)h)/(2(b_p b_m - s_p^2)(\delta^2 b_p^2 - \delta^2 s_p^2 - 2b_p(8k + \delta^2(-b_m + s_p))))$$

$$A^* = \frac{\delta}{2}.$$

Selanjutnya, dengan mensubstitusikan  $w^*$  dan  $p_m^*$  ke persamaan (5) diperoleh solusi optimal untuk  $p$  yaitu

$$p^* = \frac{a_p + w^*b_p + s_p p_m^* + s_l l + b_p h}{2b_p}.$$

Jumlah permintaan yang optimal untuk pengecer pada media *offline* dan pamanufaktur pada media *online* adalah

$$\begin{aligned} D_f^* &= a_p - b_p p^* + s_p p_m^* + s_l l \\ D_n^* &= a_m - b_m p_m^* + s_p p^* - s_l l. \end{aligned}$$

Nilai  $A^*$ ,  $D_f^*$  dan  $D_n^*$  disubstitusikan ke dalam persamaan (6) sehingga diperoleh nilai  $t$  yang optimal yaitu

$$t^* = \frac{A^*(D_f^* + D_n^*)}{2k}.$$

Sedangkan, fungsi keuntungan yang optimal untuk pengecer, pamanufaktur, dan pihak ketiga secara berturut-turut dituliskan sebagai

$$\begin{aligned} \Pi_r^* &= (p^* - w^* - h)D_f^* \\ \Pi_m^* &= (w^* - c_m)D_f^* + (p_m^* - c_m)D_n^* + \delta t^*(D_f^* + D_n^*) - k(t^*)^2. \\ \Pi_t^* &= A^* t^*(D_f^* + D_n^*) - k(t^*)^2. \end{aligned}$$

### 3.4. Simulasi Numerik

Simulasi numerik digunakan untuk mengilustrasikan perilaku model DC-CLSC. Simulasi ini bertujuan untuk menentukan strategi harga jual dan jumlah permintaan optimal pada media *offline* dan *online* baik untuk pamanufaktur, pengecer, maupun pihak ketiga. Selain itu, dianalisis terkait pengaruh waktu tunggu pengiriman pada media *online* terhadap keuntungan masing-masing pelaku dan total keuntungan sistem pada skenario desentralisasi. Berikut diberikan daftar parameter yang digunakan untuk simulasi numerik yang diambil dari penelitian Setiyowati [13] pada Tabel 2.

**Tabel 2. Nilai parameter yang digunakan dalam simulasi numerik model DC-CLSC**

Parameter	Nilai	Satuan	Parameter	Nilai	Satuan
$a_p$	200	Unit/tahun	$k$	500	\$/tahun
$a_m$	130	Unit/tahun	$l$	8	hari
$b_p$	0.5	Unit <sup>2</sup> /\$/tahun	$h$	0.5	\$/unit
$b_m$	0.3	Unit <sup>2</sup> /\$/tahun	$s_p$	0.1	(-)
$c_m$	20	\$/unit	$s_l$	0.2	(-)
$c_r$	12	\$/unit	$\delta$	8	\$/unit

Solusi optimal dari model desentralisasi DC-CLSC engan proses daur ulang pada pihak ketiga dan memperhatikan waktu tunggu pengiriman pada media *online* dirangkum pada Tabel 3.

**Tabel 3. Nilai dari variabel keputusan dan keuntungan optimal model desentralisasi DC-CLSC**

Variabel keputusan	Nilai				
	$l = 2$	$l = 6$	$l = 10$	$l = 14$	$l = 15$
Harga grosir dari pamanufaktur	268.81	269.38	269.96	270.53	270.67
Harga produk pada media <i>online</i>	311.06	309.92	308.78	307.64	307.35
Harga produk dari retailer	303.95	305.15	306.35	307.55	307.82
Imbalan yang diterima pihak ketiga	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Tingkat pemulihan produk bekas	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58
<b>Keuntungan Optimal</b>					
Keuntungan pamanufaktur	39537.20	39429.00	39321.70	39215.20	39188.80
Keuntungan pengecer	2754.95	2807.83	2860.82.83	2913.92	2927.21
Keuntungan pihak ketiga	171.02	170.43	169.84	169.25	169.10
Total keuntungan sistem	42463.17	42407.26	42352.37	42298.37	42285.11

Berdasarkan hasil simulasi pada Tabel 3, tampak bahwa harga produk pada media *online* dari pamanufaktur selalu lebih tinggi daripada harga produk dari pengecer untuk waktu tunggu pengiriman produk dalam rentan 2-14 hari. Namun, ketika waktu tunggu pengiriman produk mencapai 15 hari, harga produk pada media *online* lebih rendah harga produk dari pengecer. Jika waktu tunggu pengiriman produk semakin lama, maka harga grosir dari pamanufaktur dan harga produk dari pengecer semakin tinggi, namun harga produk pada media *online* dari pamanufaktur semakin turun dengan nilai imbalan yang diberikan pamanufaktur dan tingkat pemulihan produk bekas tetap pada kasus ini.

Tabel 3 menunjukkan pula bahwa semakin lama waktu tunggu pengiriman, keuntungan pamanufaktur dan pihak ketiga semakin turun, sedangkan keuntungan pengecer mengalami kenaikan. Semakin lama waktu tunggu pengiriman pada media *online* menguntungkan pihak pengecer, namun total keuntungan sistem semakin rendah.

Misalkan  $\lambda$  menyatakan rasio antara harga grosir dengan harga pada media *online* dari pamanufaktur dan dituliskan sebagai

$$\lambda = \frac{w^*}{p_m^*}.$$

Nilai  $\lambda$  untuk waktu tunggu pengiriman 2,6,10,14, dan 15 hari secara berturut-turut adalah 0.8642, 0.8711, 0.8743, 0.8794, dan 0.88065. Sedangkan untuk waktu tunggu pengiriman produk pada media *online* untuk sampai ke tangan konsumen adalah nol hari maka diperoleh harga grosir dan harga pada media *online* adalah 268.52 dan 311.63 sehingga diperoleh nilai  $\lambda$  sama dengan 0.8617. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa pamanufaktur dan pihak ketiga akan memperoleh keuntungan optimal jika rasio antara harga grosir dengan harga pada media *online* pada kasus ini adalah [0.8617, 0.8794].

#### 4. KESIMPULAN

Dalam penelitian ini telah dikembangkan model desentralisasi *dual channel closed-loop supply chain* dimana koleksi produk bekas pakai dan proses daur ulang dilakukan oleh pihak ketiga. Dalam model yang dikembangkan juga dipertimbangkan terkait waktu tunggu pengiriman pada media *online*. Model yang diperoleh merupakan masalah memaksimalkan fungsi keuntungan pamanufaktur, pengecer, dan pihak ketiga dengan lima variabel keputusan yaitu harga grosir, harga pada media *online* dan imbalan yang diberikan oleh pihak ketiga dari pamanufaktur, harga produk dari pengecer dan tingkat pemulihan produk bekas pakai. Dari model yang diperoleh dianalisis terkait pengaruh waktu tunggu pengiriman terhadap keuntungan optimal pamanufaktur, pengecer dan pihak ketiga. Berdasarkan hasil simulasi pada kasus dapat diperoleh kesimpulan bahwa jika waktu tunggu pengiriman pada media *online* semakin lama maka keuntungan pamanufaktur dan pihak ketiga mengalami penurunan, sedangkan keuntungan pengecer mengalami kenaikan. Nilai total keuntungan sistem yang terdiri dari keuntungan pamanufaktur, pengecer dan pihak ketiga semakin rendah jika waktu tunggu pengiriman semakin lama.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Arshad, Q.S. Khalid, J. Lioret, and A. Leon, "An Ecient Approach for Coordination of Dual Channel Closed-Loop Supply Chain Management," *Sustainability*, vol. 10, pp. 1-20, 2018.
- [2] R. Batarfi, M.Y. Jaber, and Z. Simone, "Dual Channel Supply Chain: A Strategy to Maximize Profit", *Applied Mathematical Modelling*, vol. 40 pp. 9454-9473, 2016.
- [3] W.Y.K. Chiang, D. Chhaged, and J.D. Hess, "Direct Marketing, Indirect Profits: A Strategic Analysis of Dual Channel Supply-Chain Design", *Management Science*, vol. 49, pp. 1-20, 2003.
- [4] D. Dai, F. Si, and J. Wang, "Complexity Analysis of a Dual-Channel Closed-Loop Supply Chain with Delayed Decision under Government Intervention", *Entropy*, vol. 19, no. 577, 2017.
- [5] K. Govindan, H. Soleimani, and D. Kannan, "Reverse Logistics and Closed Loop Supply Chain : A Comprehensive Review to Explore The Future", *European Journal of Operational Research*, vol. 240 , pp. 603-626,2015.
- [6] G.Hua, S.Wang, and T.C.E. Cheng, "Price and Lead Time Decisions in Dual Channel Supply Chain", *European Journal of Operational Research*, vol. 205, pp. 113-126, 2010.
- [7] N. Kumar and R. Kumar, "Closed Loop Supply Chain Management and Reverse Logistics-A Literature Review", *Journal of Engineering Research and Technology*, vol. 6, pp. 455-468, 2016.
- [8] I. Moon, S.P. Sarmah, and S. Saha, "The Impact of *Online* Sales on Centralised and Decentralised Dual Channel Supply Chains", *European J. Industrial Engineering*, vol. 12, pp.67-92, 2018.
- [9] Q. Qi, J. Wang, and Q. Bai, "Pricing Decision of a Two Echelon Supply Chain with One Supplier and Two Retailers Under a Carbon Cap Regulation", *Journal of Cleaner Production*, vol. 151, pp. 286-302, 2017.
- [10] Q. Qi, J. Wang, and Q. Bai, "Coordinating A Dual Channel Supply Chain with Price Discount Contracts Under Carbon Emission Capacity Regulation", *Applied Mathematical Modelling*, vol. 56, pp. 449-468, 2018.
- [11] S. Saha, S.P. Sarmah, and M. Ilkyeong, "Dual Channel Closed-Loop Supply Chain Coordination with a Reward Driven Remanufacturing Policy", *International Journal of Production Research*, vol. 54, pp. 1503-1517, 2016.

- [12] R.C. Savaskan, S. bhattacharya, and V. Wassenhove, "Closed Loop Supply Chain Models with Product Remanufacturing", *Management Science*, vol. 50, pp. 239-252, 2004.
- [13] R. Setiyowati, Sutanto, S.N.P. Ramadhani, and P. Widyaningsih, "Dual Channel Closed Loop Supply Chain Model under Price Discount Contract and Delivery Lead Time ," in *AIP Conference Proceedings 2192.*, pp. 060019-1-060019-10, Dec. 19, 2019.
- [14] Y.C. Tsao and Y.S. Po, "Dual Channel Supply Chain Model Under price and Warranty Competition", *International Journal of Innovative Computing, Information, and Control (ICIC)*, vol. 8, pp. 2125-2135, 2012.