



Review Bidang Kajian Model Persediaan pada *Reverse Logistics* dan Sistem Rantai Pasok Siklus Tertutup

Anindya Rachma Dwicahyani¹, Firda Ayu Sabda Rifa²

^{1,2}Jurusan Teknik Industri, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Jl. Arif Rahman Hakim No. 100 Surabaya, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Halaman:
46 – 55

Tanggal penyerahan:
23 September 2021

Tanggal diterima:
28 September 2021

Tanggal terbit:
30 September 2021

EMAIL

¹anindya.dwicahyani@itats.ac.id

ABSTRACT

This research outlines about the after use product stock in the reverse logistics which run into significant development in these recent years. Some issues become a new challenge for researcher to keep developing model stock on the related field, so that the research are able to solve the demand from industrial. This paper discussed about the developments of research roadmap about modelling the stocks in reverse logistics and closed loop supply chain (CLSC)/ The aims of this research is to outlines about the developments of modelling stocks in the RL and CLSC so It is able to identify the chance for a new research in the field of lot sizing stock modelling to implement in the practical industrial.

Keywords: Reverse Logistiscs, Closed Loop Supply Chain, Stocks, Remanufacture, after used product

ABSTRAK

Penelitian terkait pengelolaan persediaan barang bekas pakai pada logistik terbalik atau *reverse logistics* (RL) mengalami perkembangan yang cukup signifikan beberapa tahun terakhir. Beberapa isu kemudian menjadi tantangan baru bagi para peneliti untuk terus mengembangkan model persediaan pada bidang kajian terkait sehingga dapat menjawab kebutuhan dari industri yang riil. Pada penelitian ini, dilakukan pembahasan terkait perkembangan pada ranah penelitian pemodelan persediaan pada RL dan sistem rantai pasok siklus tertutup atau *closed-loop supply chain* (CLSC). Tujuan dari penelitian ini adalah memberikan gambaran terkait perkembangan model persediaan pada bidang RL dan CLSC, sehingga dapat diidentifikasi peluang penelitian baru dalam hal model persediaan *lot sizing* untuk dapat diimplementasikan secara praktis pada industri yang riil.

Kata kunci: *reverse logistics, closed-loop supply chain, persediaan, remanufaktur, barang bekas pakai.*

PENDAHULUAN

Semakin meningkatnya kebutuhan pasar, tingginya persaingan ekonomi, ketatnya peraturan pemerintah, serta tuntutan pertanggungjawaban sosial dan lingkungan menyebabkan banyak industri manufaktur menerapkan konsep pemulihan produk bekas pakai sebagai salah satu alternatif dalam memenuhi permintaan konsumen [1]. Prinsip tersebut dikenal sebagai *reverse logistics* (RL) yang pertama kali didefinisikan oleh [2] sebagai aliran material mundur (*reverse*) dalam bentuk barang bekas pakai dengan arah berlawanan dari rantai pasok (kembali barang bekas pakai dari konsumen ke produsen).

Dalam serangkaian tahapan penyusunan strategi dan perancangan jaringan logistik, salah satu tahap yang cukup krusial dan merupakan kunci sukses terciptanya *logistic management* yang optimal adalah perencanaan dan pengelolaan persediaan (*inventory planning and management*) di dalam sistem itu sendiri. Persediaan yang dimiliki oleh suatu perusahaan harus dikendalikan

sedemikian rupa sehingga mampu menghasilkan biaya persediaan yang minimum. Pengelolaan persediaan baik persediaan bahan baku (*raw material*), suku cadang (*spare part*), peralatan (*equipment*), barang jadi (*serviceable product*), hingga barang bekas pakai (*used item*) harus direncanakan dan dikelola seoptimal mungkin sehingga dapat meminimumkan total biaya yang harus dibayarkan dan dapat memenuhi permintaan dengan baik.

Hingga saat ini, penelitian terkait model persediaan pada sistem RL masih terus mengalami perkembangan. Pada mulanya, investigasi hanya berfokus pada manajemen persediaan satu pihak saja, dengan banyak asumsi. Seiring berkembangnya kondisi lingkungan dan meningkatnya kompleksitas sistem produksi, semakin berkembang pula penelitian mengenai model persediaan yang dapat mengakomodir perubahan kompleksitas sistem produksi tersebut. Penelitian mengenai model persediaan pada bidang kajian RL telah berkembang dan meluas pada tingkat *Supply Chain* (SC) yang melibatkan pihak-pihak pada jaringan rantai pasok. Sistem rantai pasok yang telah menerapkan adanya pengelolaan logistik terbalik disebut sebagai *Closed-Loop Supply Chain* (CLSC) atau sistem rantai pasok siklus tertutup. Investigasi dilakukan pada tingkat *multi-echelon* yang mengakomodir integrasi antara berbagai pihak dalam CLSC yang umumnya meliputi pemasok, pamanufaktur, pengecer, dan pihak ketiga. Dalam hal ini, pihak ketiga yang dimaksud adalah pihak kolektor atau pihak pengumpul untuk barang bekas pakai.

Pada artikel ini akan dibahas perkembangan penelitian pada bidang pemodelan persediaan untuk sistem RL dan CLSC. Artikel ini terbagi menjadi lima bagian, di mana bagian pertama berisi pendahuluan yang menjelaskan secara ringkas latar belakang penelitian. Pada bagian kedua dan ketiga, diberikan penjelasan mengenai fundamental dari konsep RL dan CLSC. Pada bagian keempat, diberikan review singkat terkait perkembangan penelitian pemodelan persediaan pada bidang kajian sistem RL dan CLSC mulai dari tahun 1960 hingga saat ini. Pada bagian terakhir, disajikan kesimpulan yang dapat diperoleh dari penelitian yang dilakukan.

KONSEP DASAR REVERSE LOGISTICS (RL)

Menurut Brito [3] Reverse Logistics (RL) atau logistik terbalik merupakan logistik yang berfokus pada aktivitas-aktivitas terkait pengelolaan dan manajemen dari peralatan, produk, komponen, dan atau material yang akan diperbaiki. Perbaikan yang dilakukan dapat berupa penjualan kembali (*reselling*) atau terdiri dari serangkaian aktivitas seperti pengumpulan barang (*collection*), inspeksi, pemisahan (*separation*), dan seterusnya hingga mencapai proses remanufaktur atau *recycle*.

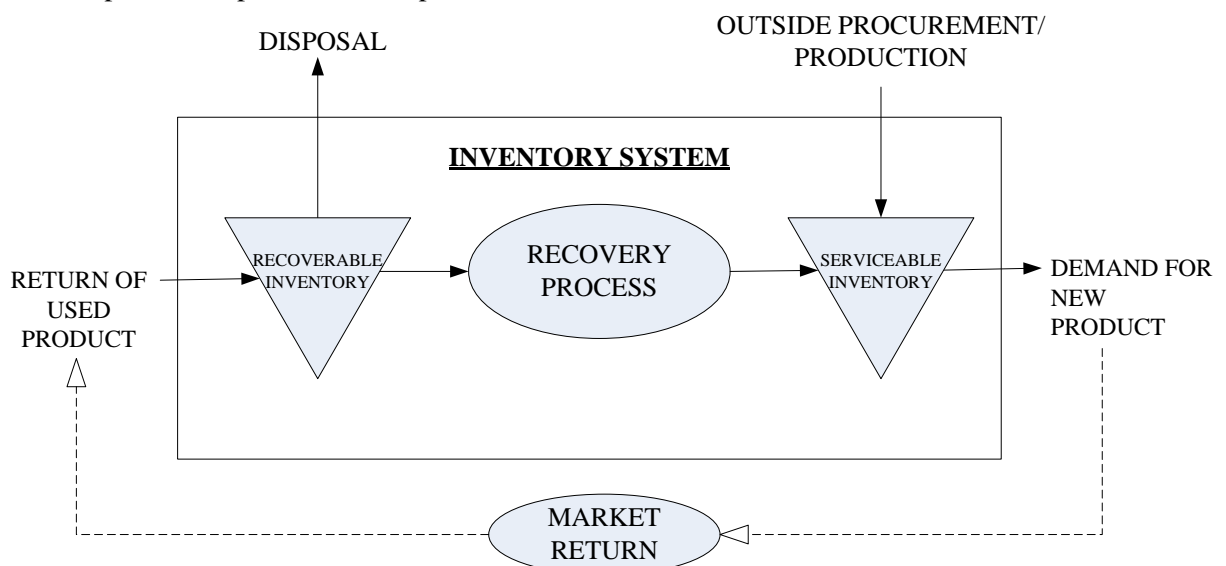
Ide RL pertama kali muncul pada tahun 1865 yang merupakan akhir dari *American Civil War*. Pada saat itu, para prajurit mengalami kendala untuk membawa seluruh suplai perang dikarenakan cuaca yang kurang mendukung. Para prajurit kemudian memutuskan untuk membuang sebagian persediaan yang berlebih dan sudah tidak lagi digunakan. Pada tahun 1894, Montgomery Ward's mencetuskan suatu ide jaminan pelayanan konsumen berupa *customer warranty service*. Perusahaan tersebut menjamin adanya garansi produk di mana konsumen dapat menerima pelayanan berupa perbaikan produk apabila ditemukan kerusakan pada produk yang telah dibeli. Pada tahun 1920, industri di dunia mulai menerapkan prinsip remanufaktur untuk part otomotif yang dikelola oleh pihak ketiga. Pada tahun 1990, UK dan negara-negara Uni Eropa mulai memberlakukan beberapa peraturan dan kebijakan terkait ukuran dan pembatasan limbah pengemasan serta pengiriman untuk industri manufaktur. Penerapan serta regulasi terkait RL di dunia industri pun berkembang sampai pada era industri saat ini.

Menurut Brito [3] penerapan RL pada perusahaan manufaktur bersumber dari beberapa penyebab dilihat dari perspektif konsumen maupun perspektif produsen. Dilihat dari pandangan konsumen, penerapan RL disebabkan oleh tiga hal yakni faktor ekonomi (*economics*), regulasi pemerintah (*legislation*), dan tanggungjawab sosial dan lingkungan (*extended responsibility*).

Sedangkan dari pandangan produsen, produk akan mengalami retur atau pembuangan apabila tidak dapat berfungsi kembali dengan baik atau fungsinya tidak lagi dibutuhkan oleh pengguna akhir. Umumnya disebabkan oleh tiga hal, yakni:

1. Pengembalian proses manufaktur (*manufacturing returns*), umumnya berupa *raw material surplus*, *quality-control returns*, dan *production leftovers*.
2. Pengembalian distribusi (*distribution returns*), umumnya berupa *product recalls*, *commercial returns*, *stock adjustment*, dan *functional returns*.
3. Pengembalian konsumen (*customer/user returns*), umumnya berupa *reimbursement guarantees*, *warranty returns*, *service returns*, *End-of-Use (EoU)*, dan *End-of-Life (EoL)*.

Beberapa contoh industri manufaktur yang menerapkan prinsip RL dalam serangkaian proses produksinya adalah industri elektronik, perangkat keras komputer, roda dan ban (*tires*), suku cadang mesin otomotif, *cardtridg printer*, hingga industri telepon genggam [1]. Industri-industri tersebut umumnya menerapkan RL dalam hal pengembalian produk/barang bekas pakai (*return item*) dari konsumen akhir kepada produsen yang kemudian dipulihkan melalui serangkaian proses menjadi produk yang dapat dijual kembali. Berikut merupakan diagram blok sederhana dari sistem pengendalian persediaan pada RL untuk produk EoL.



Gambar 1. Diagram aliran barang pada sistem pengendalian persediaan dengan RL.

Salah satu pertimbangan yang digunakan oleh sebagian perusahaan untuk kebijakan pemilihan proses pemulihan adalah biaya, di mana umumnya biaya yang dibutuhkan untuk memperbaiki barang bekas pakai lebih rendah jika dibandingkan dengan biaya untuk melakukan produksi baru. Menurut Thierry [4] proses pemulihan yang dilakukan oleh pemanufaktur dapat dibagi menjadi beberapa tipe yakni sebagai berikut.

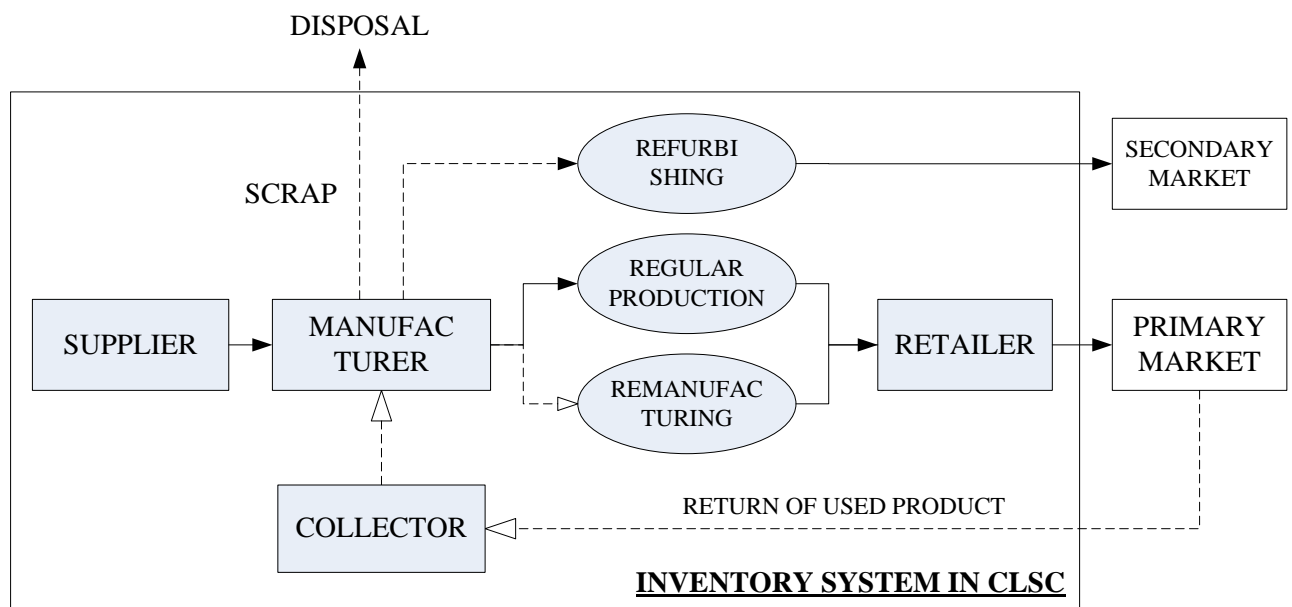
1. *Repair*, merupakan aktivitas memperbaiki produk rusak pada status kerja.
2. *Refurbishing*, merupakan aktivitas memperbaiki kualitas dari barang bekas pakai serta memperpanjang masa pakai dari produk tersebut.
3. *Remanufacturing*, merupakan aktivitas memperbaiki barang bekas pakai dan mengembalikan kualitas dari produk pada kondisi semula (*as good as new one*).
4. *Cannibalization*, merupakan aktivitas memperbaiki sebagian part dari suatu barang bekas pakai.
5. *Recycling*, merupakan aktivitas disassembly barang bekas pakai menjadi beberapa part dan komponen untuk kemudian digunakan kembali.

Pemilihan tipe proses perbaikan yang akan diterapkan oleh pemanufaktur telah disesuaikan terlebih dahulu terhadap ketersediaan equipment yang dimiliki serta karakteristik dari barang bekas pakai yang hendak diperbaiki. Pemanufaktur dapat menerapkan lebih dari satu tipe proses perbaikan, sebagai contoh kombinasi proses *remanufacturing* dengan proses *refurbishing*, atau kombinasi proses *remanufacturing* dengan proses *cannibalization* dan sebagainya. Hal ini tentunya telah disesuaikan dengan kondisi yang dimiliki oleh pemanufaktur tersebut. Prinsip RL tersebut kemudian terus berkembang hingga mencapai konteks sistem rantai pasok. Sistem rantai pasok yang menerapkan RL umumnya disebut sebagai *Closed-loop Supply Chain (CLSC)*.

KONSEP DASAR CLOSED-LOOP SUPPLY CHAIN (CLSC)

Closed-loop Supply Chain (CLSC) merupakan suatu sistem rantai pasok yang melibatkan adanya pengelolaan persediaan untuk barang/item yang dikumpulkan dari konsumen akhir (*end consumer*), mengembalikan fungsi (*added-value*) dari barang tersebut melalui berbagai tahapan proses perbaikan, kemudian mendistribusikan kembali barang yang telah diperbaiki [5]. Penerapan CLSC yang optimal dapat membantu perusahaan untuk memperoleh *competitive advantage* guna memenangkan persaingan industri. Selain itu, hal ini juga sangat erat kaitannya dengan praktik *sustainable supply chain* yang saat ini tengah digalakkan oleh berbagai industri di dunia.

Dalam *closed-loop supply chain*, umumnya para industri manufaktur melakukan sejumlah aktivitas antara lain pengumpulan (*collection*) barang yang telah habis masa pakainya (*end-of-life products*), pemulihan (*recovery*), serta penjualan kembali barang yang telah dipulihkan tersebut [6]. Selain itu, beberapa industri manufaktur juga melakukan aktivitas pembuangan barang buruk (*waste disposal*) dari barang bekas pakai yang terkumpul. Pertimbangan dilakukannya aktivitas *waste disposal* adalah tidak seluruh barang bekas pakai memiliki kualifikasi yang cukup untuk dapat melalui proses pemulihan kembali, sehingga tidak seluruhnya dapat dijual kembali ke pasar. Berikut merupakan model pengendalian persediaan pada sistem CLSC dengan dua proses pemulihan yakni *remanufacturing* dan *refurbishing*.



Gambar 2. Model pengendalian persediaan pada sistem *closed-loop supply chain (CLSC)*.

Barang yang kembali (*return item*) ke dalam sistem dapat berasal dari distribusi, berupa persediaan berlebih, maupun dari *reseller* atau *end-customer*, yang berupa barang bekas pakai (*used item*). Umumnya, *return item* akan mengalami inspeksi awal guna mengelompokkan ke

dalam kategori *scrap*, *refurbishable*, atau *remanufacturable*. *Scrap* berarti membuang, dalam hal ini disebut sebagai *waste disposal*, karena kualitas dari *return item* tidak memungkinkan untuk diperbaiki. *Refurbishable* berarti dapat diperbaiki namun tidak dapat mencapai kualitas yang sama seperti sedia kala, yang nantinya akan dijual ke pasar sekunder. *Remanufacturable* berarti dapat diperbaiki seperti sediakala (*as-good-as-new-ones*) yang nantinya akan digunakan kembali untuk memenuhi permintaan pada pasar utama.

Selain dianggap lebih ekonomis, prinsip CLSC juga bertujuan untuk mencapai suatu sistem logistik berkelanjutan atau biasa disebut sebagai *green logistics*. Pada industri manufaktur, *green logistics* umumnya berfokus pada minimasi gas efek rumah kaca seperti karbondioksida (CO_2), metana (CH_4), dan dinitrogen oksida (N_2O) yang dapat timbul dari aktivitas produksi dan transportasi, penggunaan kembali (*re-use*) dan pendaur-ulangan material, pembuangan limbah (*waste disposal*) serta optimasi penggunaan energi [5].

Menurut Guide dan Wassenhove [6] perkembangan kajian CLSC secara umum dapat dikelompokkan menjadi lima fase yakni sebagai berikut.

Fase 1 – The Golden Age of Remanufacturing

Pada tahap pertama, penelitian mengenai bidang kajian ini masih terbatas dalam hal teknis terkait *reverse-logistic*, *product disposition*, dan *remanufacturing*. Penelitian-penelitian yang berkembang berfokus pada dua hal yakni *cost minimization* dan *activity-oriented* yang meliputi disassembly, pengendalian rantai produksi, dan perancangan jaringan produksi-distribusi. Penelitian mengenai konsep *reverse-logistic* berkembang hingga diperoleh pemahaman tentang karakteristik *remanufacturing* dan *reverse logistics* serta perbedaannya dengan pengendalian logistik tradisional [6], karakterisasi aktivitas dalam *reverse supply chain* [6] dan identifikasi berbagai tipe *return item* serta pengaruhnya terhadap *reverse supply chain* [4][6].

Fase 2 – From Remanufacturing to Valuing Reverse-Logistic Process

Pada tahap kedua, penelitian mulai berkembang ke arah optimasi menggunakan metode *operation research* (OR) klasik yang berfokus pada beberapa hal diantaranya: sistem pengendalian persediaan, perancangan jaringan *reverse-logistic*, *hybrid manufacturing/remanufacturing*, sistem informasi, *lot sizing* untuk proses remanufaktur, dan perancangan rantai produksi remanufaktur. Pendekatan dari segi perspektif bisnis dan ekonomi juga mulai dilakukan. Diantaranya mengaitkan berbagai subproses yang ada (*product returns management*, *remanufacturing operational issues*, dan *remanufactured products market development*) dan menyelidikinya dari perspektif bisnis [6].

Fase 3 – Coordinating the Reverse Supply Chain

Pada tahap ini, perspektif bisnis dan ekonomi mulai terkait dengan pendekatan lain dalam penelitian manajemen operasi modern (*game theory*). *Game theory model* membantu untuk memahami implikasi strategis dari pemulihan barang. Pada tahap ini peningkatan jumlah pelaku dalam CLSC juga mulai dipertimbangkan, seperti pihak ketiga (3P) yang menyediakan *reverse logistics*, *product disposition*, *remanufacturing*, dan *remarketing*. Penelitian yang berkembang pada tahap 3 memberikan pemahaman yang lebih luas terkait masalah perancangan *downstream channel*, *upstream durability decisions*, peran dari *trade-ins*, interaksi antara produk baru dan daur ulang, serta bagaimana mengurangi tingkat pengembalian *reseller* [6].

Fase 4 – Closing the Loop

Beberapa *stream* penelitian baru mulai muncul pada tahap keempat. Pada tahap ini, juga diperoleh berbagai wawasan antara lain, terdapat berbagai jenis pengembalian selama siklus hidup produk, dan produk memiliki kepekaan waktu yang berbeda-beda. Selain itu, meminimalkan biaya pengembalian bukan selalu menjadi suatu perspektif yang tepat. Tahap ini merupakan tahap mengenai ketepatan perspektif pada awal perancangan sistem dilakukan, yang sangat menentukan keberhasilan bisnis dari suatu sistem itu sendiri. Hal ini merupakan suatu jalur fundamental baru dalam penelitian dan mulai kembali mempertanyakan asumsi-asumsi yang digunakan sebelumnya

terkait sentralisasi fasilitas, daya tahan, serta siklus hidup produk. Pada tahap ini diketahui bahwa minimisasi biaya bukan selalu menjadi tujuan utama dari bisnis, bahkan terkadang perusahaan harus mengeluarkan biaya lebih demi memperoleh keuntungan yang lebih pula.

Fase 5 – Prices and Markets

Pada tahap ini, penelitian-penelitian yang berkembang mulai menghubungkan CLSC dengan disiplin ilmu yang lain, seperti pemasaran dan akuntansi. Pada fase pertama hingga keempat, para peneliti umumnya masih mengabaikan tahap difusi pada siklus hidup produk. Pola difusi produk baru tentu akan menentukan waktu dan kuantitas dari produk yang kembali. Hal ini memberikan suatu pertanyaan yang cukup menarik yakni kapan waktu yang tepat bagi suatu produk untuk mulai dikenalkan ke pasar. Pada tahap ini juga ditemukan pemahaman bahwa jika harga dan pasar tidak sepenuhnya dipahami, kedua hal tersebut bisa menjadi hambatan bagi sistem, tidak peduli seberapa baik sistem operasional tersebut telah dirancang.

PEMODELAN PERSEDIAAN DALAM RL DAN CLSC

Penelitian terkait pemodelan persediaan dan pengambilan keputusan persediaan pada sistem RL dan CLSC telah mengalami perkembangan yang cukup pesat selama beberapa tahun terakhir. Pada dasarnya, pemodelan persediaan terbagi menjadi dua model yakni model deterministik dan model stokastik. Model deterministik mengasumsikan bahwa tingkat permintaan diketahui secara pasti dan bersifat tetap dari waktu ke waktu. Sedangkan model persediaan stokastik adalah model dengan tingkat permintaan yang bersifat probabilistik/stokastik yang bersifat tidak pasti namun dapat didekati melalui distribusi probabilitas tertentu (probabilistik). Pada umumnya tingkat persediaan dipantau melalui dua teknik teknik *continuous review* dan *periodic review*. Pada *continuous review*, tingkat persediaan dipantau secara kontinu sepanjang periode perencanaan. Sedangkan pada *periodic review*, tingkat persediaan dipantau pada waktu diskret (periodik) yang telah ditentukan [8].

Model persediaan pertama yang menerapkan prinsip proses pemulihan terhadap produk bekas pakai adalah model yang dikembangkan oleh [9]. Dalam model tersebut, ia mengadopsi kebijakan $(1, R)$ di mana terdapat satu siklus produksi dengan R siklus remanufaktur. Kemudian ditentukan ukuran lot produksi dan remanufaktur yang optimal pada tingkat permintaan deterministik, *return rate* konstan, serta tidak dilakukan aktivitas *waste disposal*. Model tersebut kemudian dikembangkan oleh [10] sehingga diwujudkan suatu model persediaan deterministik dengan tingkat perbaikan yang terbatas. Model milik Schrady [9] juga dikembangkan kembali oleh Mabini [11] dengan menambahkan pertimbangan baru yakni adanya *shortage (backorder)*. Richter [12] [13] pertama kali mengakomodir aktivitas *waste disposal* dalam model persediaan untuk *reverse logistic system*. Model yang dibangun adalah model persediaan EOQ dengan tingkat permintaan deterministik yang dipenuhi melalui produksi baru dan proses remanufaktur barang bekas pakai.

Pengembangan juga dilakukan oleh [14] yang membangun suatu model dengan asumsi bahwa biaya simpan untuk produk hasil remanufaktur dan produk hasil produksi reguler adalah berbeda dengan adanya aktivitas *waste disposal*. Model tersebut merupakan model pertama yang mengadopsi kebijakan *multiple production cycle- multiple remanufacturing cycle* atau disebut juga kebijakan (P, R) . Dari hasil optimasi, diketahui bahwa kebijakan (P, R) memberikan solusi yang lebih baik daripada kebijakan $(1, R)$ dan $(P, 1)$. Koh [15] kemudian melakukan pengembangan dari model persediaan milih [14] dengan asumsi bahwa kecepatan remanufaktur mungkin dapat lebih tinggi atau lebih rendah daripada kecepatan produksi reguler. Pengembangan dari model Teunter kembali dilakukan oleh Choi [16] di mana asumsi adanya aktivitas *waste disposal* dihilangkan, namun dilakukan pencarian urutan siklus remanufaktur dan produksi reguler yang optimal. Dari hasil optimasi, diketahui bahwa kebijakan (P, R) justru memberikan solusi yang lebih buruk dari

kebijakan $(1, R)$ atau $(P, 1)$. Oleh karena itu kemudian ditarik kesimpulan bahwa kebijakan $(1, R)$ dan $(P, 1)$ adalah lebih baik daripada kebijakan (P, R) .

Penelitian mengenai model persediaan pada sistem RL kemudian berkembang pada tingkat *supply chain* yang melibatkan pihak-pihak pada jaringan rantai pasok. Investigasi dilakukan pada tingkat *multi-echelon* yang mengakomodir integrasi antara pihak-pihak dalam sistem. Salah satu model yang mengawali adanya integrasi antar pihak dalam sistem RL adalah model persediaan yang dikembangkan oleh Mitra [17]. Pada penelitian tersebut, ia mengembangkan model persediaan dua pihak yakni depot-distributor dengan tingkat permintaan dan pengembalian yang bersifat deterministik dan stokastik. Selain itu, juga ditambahkan asumsi adanya *shortage* untuk model stokastik. Selanjutnya, model tersebut dikembangkan untuk kondisi di mana tingkat permintaan dan pengembalian bersifat saling berkorelasi [17]. Pengembangan model persediaan pada *reverse logistics system* yang telah mengakomodir integrasi antar pihak dalam *supply chain* juga dilakukan oleh [18], [1], serta [19]. Model persediaan yang dikembangkan oleh Chung, dkk (2008) adalah model pertama yang melibatkan adanya integrasi empat pihak dalam sistem CLSC. Model tersebut menerapkan kebijakan $(1, 1)$ yakni *single remanufacturing cycle* dan *single production cycle*. Model tersebut kemudian dikembangkan oleh [1] untuk kebijakan $(1, R)$ dan $(P, 1)$. Kemudian, pengembangan kembali dilakukan oleh [19] untuk kebijakan (P, R) serta penambahan asumsi yakni tingkat pengembalian yang bergantung pada kualitas produk serta adanya produk cacat (*defect*) dan proses *rework* pada proses produksi.

Pengembangan model persediaan pada bidang kajian RL kemudian semakin meluas. Konstantaras [20] mengembangkan suatu model dengan mempertimbangkan lebih dari satu tipe proses pemulihan untuk produk bekas pakai. Sistem yang dikaji dalam penelitian tersebut adalah *single-echelon* dengan mempertimbangkan adanya inspeksi dan *sorting* untuk tipe proses pemulihan remanufaktur dan *refurbishing*. Penelitian tersebut mengadopsi kebijakan $(1, P)$ dan $(R, 1)$ juga melakukan pengembangan model persediaan *single-echelon* pada bidang yang sama dengan melibatkan *return rate* yang bergantung pada kualitas dan harga beli *return item*. Model yang dibangun juga telah melibatkan adanya aktivitas *waste disposal* dengan dua kebijakan yakni $(1, 1)$ dan (P, R) .

Pengembangan model persediaan pada ranah RL dan CLSC semakin berkembang sampai pada model yang melibatkan adanya emisi karbon dan efek energi dari proses remanufaktur, produksi, serta transportasi. Salah satu model persediaan RL yang telah mempertimbangkan adanya hal tersebut adalah model yang dikembangkan oleh Bahzan. Model yang dibangun adalah model persediaan *single echelon* dengan satu proses pemulihan *return item* yakni remanufaktur. Model ini menerapkan kebijakan (P, R) dengan melibatkan adanya efek energi dan emisi karbon yang kemudian harus diminimalkan. Tujuan dari model tersebut adalah menentukan ukuran batch produksi dan remanufaktur yang optimal yang dapat meminimumkan biaya.

Tabel 1. Penelitian mengenai pemodelan persediaan pada sistem *reverse logistics* dan *closed-loop supply chain*

Model	Objective	Variabel Keputusan	Parameter	Jumlah siklus	Jumlah pihak	Energy Effects	Pertimbangan
Schrady (1967)	Minimasi biaya	Ukuran lot produksi dan remanufaktur	Deterministik	(1, R)	Satu pihak	Tidak	Finite production rate Constant return rate
Nahmias dan Rivera (1979)	Minimasi biaya	Ukuran lot produksi dan remanufaktur	Deterministik	(1, R)	Satu pihak	Tidak	Finite recovery rate
Mabini, dkk (1992)	Minimasi biaya	Ukuran lot produksi dan remanufaktur	Deterministik	(1, R)	Satu pihak	Tidak	Shortage (<i>backorder</i>)
Richter (1996a, 1996b)	Minimasi biaya	Ukuran lot produksi dan remanufaktur	Deterministik	(1, R) (P, 1)	Satu pihak	Tidak	Waste disposal
Teunter (2001)	Minimasi biaya	Ukuran lot produksi dan remanufaktur	Deterministik	(P, R)	Satu pihak	Tidak	Waste disposal Biaya simpan remanufaktur ≠ biaya simpan manufaktur
Koh, dkk (2002)	Minimasi biaya	Ukuran lot produksi dan remanufaktur	Deterministik	(P, R)	Satu pihak	Tidak	Pengembangan Model Teunter. Kecepatan remanufaktur dapat lebih dari atau kurang dari kecepatan produksi
Choi, dkk (2007)	Minimasi biaya	Ukuran lot produksi dan remanufaktur. Pencarian urutan siklus remanufaktur – produksi yang optimal.	Deterministik	(P, R)	Satu pihak	Tidak	Pengembangan Model Teunter. Waste disposal dihilangkan.

Tabel 1b. Penelitian mengenai pemodelan persediaan pada sistem *reverse logistics* dan *closed-loop supply chain*

Model	Objective	Variabel Keputusan	Parameter	Jumlah siklus	Jumlah pihak	Energy Effects	Pertimbangan
Mitra, S. (2006)	Minimasi biaya	Ukuran lot pengiriman, jumlah pengiriman, pemesanan, reorder point.	Deterministik dan Stokastik	(1, 1)	Dua pihak	Tidak	Integrasi depot dan distributor Demand dan return rate bersifat deterministik dan stokastik Kebijakan remanufaktur-outside supplier
Mitra, S. (2012)	Minimasi biaya	Ukuran lot pengiriman, jumlah pengiriman, pemesanan, reorder point.	Deterministik dan Stokastik	(1, 1)	Dua pihak	Tidak	Pengembangan model Mitra, S. (2006) Demand dan return rate saling berkorelasi (berhubungan)
Chung, dkk (2008)	Maksimasi profit	Jumlah pengiriman antar pihak, waktu siklus pengecer	Deterministik	(1, 1)	Empat pihak	Tidak	Integrasi pemasok, pamanufaktur, pengecer, 3 rd party collector.
Yuan dan gao (2009)	Maksimasi profit	Jumlah pengiriman antar pihak, waktu siklus pengecer	Deterministik	(1, P) dan (R, 1)	Empat pihak	Tidak	Pengembangan model Chung, dkk (2008) Single-multiple dan multiple-single cycle
Konstan taras, dkk (2010)	Maksimasi profit	Jumlah siklus yang optimal, ukuran lot remanufaktur dan pemesanan ke outside supplier	Deterministik	(1, dan 1)	P), (R, Satu pihak	Tidak	Inspeksi dan sorting pada recoverable item Proses perbaikan remanufaktur dan refurbish Single-multiple dan multiple-single cycle

Tabel 1c. Penelitian mengenai pemodelan persediaan pada sistem *reverse logistics* dan *closed-loop supply chain*.

Model	Objective	Variabel Keputusan	Parameter	Jumlah siklus	Jumlah pihak	Energy Effects	Pertimbangan
El Saadany dan Jaber (2010)	Minimasi biaya	Proporsi harga beli used item terhadap harga raw material Proporsi <i>acceptable quality level</i> Jumlah siklus remanufaktur dan produksi	Deterministik	(1, 1) dan (R, P)	Satu pihak	Tidak	Quality dan price dependant return rate Multiple remanufacturing dan production cycle
Bahzan, dkk (2015)	Minimasi biaya	Jumlah siklus remanufaktur dan produksi Jumlah generasi remanufaktur	Deterministik	(R, P)	Satu pihak	Ya	Emisi GHG transportasi, produksi, dan remanufaktur Penggunaan energi untuk produksi dan remanufaktur Penentuan jumlah generasi remanufaktur ($\zeta=1, 2, \dots, n$) Multiple remanufacturing dan production cycle
Giri Dan Sharma (2015)	Maksimasi profit	Jumlah pengiriman antar pihak, waktu siklus pengecer, <i>acceptable quality level</i>	Deterministik	(R, P)	Empat pihak	Tidak	Pengembangan model Yuan dan Gao (2009) Multiple remanufacturing dan production cycle Quality dependant return rate

KESIMPULAN

Berdasarkan tinjauan pustaka terkait perkembangan penelitian pada bidang kajian pemodelan persediaan untuk sistem RL yang telah dipaparkan, dapat diketahui bahwa penelitian semakin berkembang dan meluas tak hanya pada tingkat *single-echelon* namun pada tingkat *multi-echelon* yang melibatkan adanya integrasi antar pihak dalam CLSC. Ke depannya, hal yang menjadi tantangan baru bagi para peneliti terkait bidang kajian tersebut adalah tingkat permintaan untuk produk hasil remanufaktur dan produk hasil produksi reguler yang berbeda (bukan produk substitusi), multi-item atau jenis produk yang lebih dari satu, struktur biaya dan pendapatan yang lebih realistis (seperti adanya lead-time, deteriorasi item, dan sebagainya), interaksi antara tingkat permintaan dan tingkat pengembalian, serta adanya ketidakpastian baik ketidakpastian waktu ketersediaan, kualitas, maupun kuantitas dari *return item*.

Praktik pengelolaan RL secara riil kemudian menjadi hal yang penting dan harus dipertimbangkan oleh berbagai industri di dunia. Karena selain dapat meningkatkan *competitive advantage* perusahaan, praktik pengelolaan RL juga memberikan dampak yang baik bagi lingkungan yakni dengan mengurangi *waste* dari produk-produk yang sudah tidak terpakai kembali. Hal ini dilakukan untuk dapat mewujudkan sistem rantai pasok dan pengelolaan logistik yang berkelanjutan. Mengingat salah satu elemen kunci dalam suatu sistem rantai pasok adalah *sustainability* atau tingkat keberlanjutan yang dapat dicapai oleh sistem rantai pasok itu sendiri

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Yuan, K. F. dan Gao, Y. 2010. Inventory Decision-Making Models for a Closed-Loop Supply Chain System. *International Journal of Production Research*. Vol. 48, No. 20, Hal. 6155-6187.
- [2] Lambert, D. M. dan Stock, J. R. 1981. *Strategic Physical Distribution Management*. Irwin: Homewood, IL.
- [3] Brito, M. P., dan Dekker, R. 2002. Reverse Logistics – A Framework. *Econometric Institute Report EI 2002-38*. Erasmus University Rotterdam.

-
- [4] Thierry, M., Salomon, M., Nunen, J. V., dan Wassenhove, L. V. 1995. Strategic Issues in Product Recovery Management. *California Management Review*. Vol. 37, No. 2, Hal. 114-135.
- [5] Abduaziz, O., Cheng, J. K., Tahar, R. M., dan Varma, R. 2015. A Hybrid Simulation Model for Green Logistics Assessment in Automotive Industry. *Procedia Engineering*. Vol. 100, Hal. 960-969.
- [6] Guide, V. Daniel R., Jr. 2000. Production Planning and Control for Remanufacturing: Industry Practice and Research Needs. *Journal of Operation Management*. Vol. 18, Hal. 467-483.
- [7] Sasikumar, P. dan Gannan, K. 2008. Issues in Reverse Supply Chains, Part I: End-of-life Product Recovery and Inventory Management – An Overview. *International Journal of Sustainable Engineering*. Vol. 1, No. 3, Hal. 154-172.
- [8] Akçah, E. dan Çetinkaya, S. 2011. Quantitative Models for Inventory and Production Planning in Closed-loop Supply Chains. *International Journal of Production Research*. Vol. 49, No. 8, Hal. 2373-2407.
- [9] Schrady, D. A. 1967. A Deterministic Model for Repairable Items. *Naval Research Logistics Quarterly*. Vol. 14, No. 3, Hal. 391-398.
- [10] Nahmias, N. dan Rivera, H. 1979. A Deterministic Model for Repairable Item Inventory System with a Finite Repair Rate. *International Journal of Production Research*. Vol. 17, No. 3, Hal. 215-221.
- [11] Mabini, M. C., Pintelon, L. M., dan Gelders, L. F. 1992. EOQ Type Formulation for Controlling Repairable Inventories. *International Journal of Production Economics*. Vol. 28, No. 1, Hal. 21-33.
- [12] Richter, K. 1996b. The extended EOQ repair and waste disposal model. *International Journal of Production Economics*. Vol. 45, No. 1-3, Hal. 443-447.
- [13] Richter, K. 1997. Pure and mixed strategies for the EOQ repair and waste problem. *OR Spektrum*, Vol. 19, No. 2, Hal. 123-129.
- [14] Teunter, Ruud. 2001. A reverse logistics evaluation method for inventory control. *International Journal of Production Research*. Vol. 39
- [15] Koh, S., Hwang, H., Sohn, K., dan Ko, C. 2002. An Optimal Ordering and Recovery Policy for Reusable Items. *Journal of Computers & Industrial Engineering*. Vol. 43, Hal. 59-73.
- [16] Choi, D.W., Hwang, H., dan Koh, S.G. 2007. A Generalized Ordering and Recovery Policy for Reusable Items. *European Journal of Operational Research*. Vol. 182, No. 2, Hal. 764-774.
- [17] Mitra, S. 2006. Analysis of a Two-chelon Inventory System with Returns. *International Journal of Management Science*. Vol. 37, Hal. 106-115.
- [18] Chung, S., Wee, H., dan Yang, P. 2008. Optimal Policy for a Closed-Loop Supply Chain Inventory System with Remanufacturing. *Jurnal of Mathematical & Computer Modelling*. Vol 48, Hal. 867-881.
- [19] Giri, B. C. and Sharma, S. 2015. Optimizing a Closed-Loop Supply Chain with Manufacturing Effects and Quality Dependant Return Rate. *Journal of Manufacturing Systems*. Vol. 35, Hal. 92-111.
- [20] Konstantaras I., Skouri, K., dan Jaber, M. Y. 2010. Lot Sizing for a Recoverable Product with Inspection and Sorting. *Journal of Computers & Industrial Engineering*. Vol. 58, Hal. 452-462.