

Pemodelan Dinamika Sistem untuk Sistem Produksi dan Inventori dalam Remanufacturing Proses Studi Kasus: Perusahaan Kimia di Indonesia

Rr. Afrida Noor¹, Jayson², Ady Akbar³, Fergyanto E. Gunawan⁴

^{1,2,3} Industrial Engineering Department, BINUS Graduate Program - Master of Industrial Engineering, Bina Nusantara University, Jakarta, Indonesia 11480.

¹ Korespondensi: e-mail: rr.noor@binus.ac.id.

Diterima: 08 September 2022 ; Review: 08 September 2022; Disetujui: 16 September 2022

Cara sitasi: Noor RA., Jayson, Akbar A., Gunawan FE. 2022. Pemodelan Dinamika Sistem untuk Sistem Produksi dan Inventori dalam Remanufacturing Proses Studi Kasus: Perusahaan Kimia di Indonesia. Information System for Educators and Professionals. Vol 6(2): 187 – 198.

Abstrak: Pengendalian stok barang retur dengan proses manufaktur ulang merupakan hal penting bagi banyak perusahaan. Seringkali, kompleksitas proses manufaktur ulang seperti dalam industri kimia, membuat stok produk retur meningkat dalam inventori. Penelitian ini mengkaji sejumlah strategi pengendalian stok retur menggunakan kerangka rantai pasokan tertutup dan simulasi sistem dinamik. Pertama-tama, peneliti membuat sebuah model sistem dinamik untuk sistem rantai pasokan tertutup dengan durasi analisis 60 minggu dan satuan waktu minggu. Model ini divalidasi dengan membandingkan stok barang retur hasil simulasi dengan data yang dikumpulkan dari sebuah perusahaan manufaktur cat. Setelah diperoleh kesesuaian yang baik, model digunakan untuk mengkaji empat skenario pengendalian stok barang retur. Skenario 1 mengkaji proses remanufaktur di mana barang retur yang diterima dari konsumen perlu melalui proses inspeksi. Skenario 2 mengkaji proses remanufaktur dengan peningkatan kapasitas remanufaktur. Skenario 3 mengkaji diterapkannya kebijakan jumlah maksimum dari stok remanufaktur. Skenario 4 mengkaji keadaan di mana kapasitas remanufaktur ditingkatkan menurunkan waktu proses remanufaktur. Dari simulasi ke-empat skenario tersebut, dengan meningkatkan kapasitas remanufaktur dan menurunkan waktu proses remanufaktur selain pengendalian stok barang retur yang membaik, total biaya dapat dikurangi.

Kata kunci: inventarisasi kebijakan, perencanaan kapasitas, rantai pasokan terbalik (rantai pasokan tertutup), remanufaktur, sistem dinamis.

Abstract: Controlling the stock of returned goods with the re-manufacturing process is important for many companies. Often, the complexity of the re-manufacturing process, as in the chemical industry, makes the stock of returned products increase in inventory. This study examines a number of stock return control strategies using a closed supply chain framework and dynamic system simulation. First of all, the researcher created a dynamic system model for a closed supply chain system with an analysis duration of 60 weeks and a unit time of week. This model is validated by comparing the simulated stock of returned goods with data collected from a paint manufacturing company. After obtaining a good fit, the model is used to examine four scenarios for controlling the stock of returned goods. Scenario 1 examines the remanufacturing process where returned goods received from consumers need to go through an inspection process. Scenario 2 examines the remanufacturing process by increasing remanufacturing capacity. Scenario 3 examines the implementation of the maximum quantity of remanufactured stock policy. Scenario 4 examines a situation where increased remanufacturing capacity reduces remanufacturing processing time. From the simulations of the four scenarios, by increasing remanufacturing capacity and reducing remanufacturing processing time, in addition to improving stock control, the total cost can be reduced.

Keywords: capacity planning, policies inventory, remanufacturing, reverse supply chain (closed supply chain), system dynamic.

1. Pendahuluan

Stok mati (*dead stock*) didefinisikan sebagai persediaan yang telah lama berada di unit penyimpanan, sehingga menjadi kadaluarsa, dan tidak mempunyai peluang jual dalam durasi waktu tertentu [1]. Durasi ini bervariasi tergantung pada jenis produk, jenis pasar, dan posisi produk dalam rantai pasokan [2]. Kesulitan dalam mendefinisikan durasi waktu ini membuat perusahaan menunda mengklasifikasikan persediaan sebagai persediaan mati. Oleh karena itu, *dead stock* seringkali menumpuk di gudang dari waktu ke waktu sampai menjadi terlalu berat untuk diabaikan oleh manajemen.

Masalah stok mati sering terjadi di semua tingkat sepanjang rantai pasok ketika produk bergerak dari produsen ke distributor, grosir, dan pengecer. Namun, masalah stok mati terjadi lebih signifikan di tingkat ritel karena volume dan keragaman produk yang mereka tangani. Manfaat dan nilai yang diperoleh dari pendekatan berbasis proses untuk manajemen stok mati juga mendukung untuk melihat lebih dekat ke tingkat ritel dari rantai pasokan. Sulit untuk menyesuaikan tingkat penawaran dengan tingkat permintaan di tingkat pengecer karena mereka memperoleh permintaan dari pelanggan yang beragam dengan kebutuhan dan perilaku yang bervariasi. Selain itu, keberadaan beberapa merek pesaing dalam sistem rantai toko ritel menambah kompleksitas proses peramalan permintaan dan membuat manajemen stok mati makin sulit di tingkat ritel [3].

Di samping itu, tingkat pengecer menyerap sebagian besar efek dari perubahan keputusan pelanggan yang mempengaruhi tingkat persediaan di lokasi pengecer yang berbeda. Koordinasi informasi yang tepat waktu di seluruh toko rantai ritel menjadi penting dalam mengendalikan tingkat persediaan pengecer dan rantai pasokan secara umum. Pembagian informasi inventaris yang tepat waktu di antara toko rantai ritel juga mencegah penempatan pesanan yang tidak perlu yang meningkatkan tingkat stok mati di seluruh rantai pasokan karena efek *bullwhip*. Terakhir, kegagalan untuk dengan cepat mengenali stok mati di tingkat ritel menghasilkan kerugian peluang, biaya penyimpanan dan kehabisan stok yang tidak perlu, dan biaya kedaluarsa. Selain itu, nilai limbah meningkat secara signifikan di tingkat pengecer karena biaya meningkat saat produk bergerak ke hilir dalam rantai pasokan [3].

Reverse logistics telah menjadi hal penting bagi organisasi karena meningkatnya kepedulian terhadap lingkungan, peraturan pemerintah, nilai ekonomi, dan daya saing yang berkelanjutan. Ketidakpastian adalah salah satu faktor kunci dalam rantai pasokan terbalik yang harus dikendalikan. Dengan demikian, perusahaan dapat mengoptimalkan fungsi *reverse supply chain* [8].

Daur ulang sumber daya merupakan sarana penting untuk mengembangkan ekonomi sirkular dan ekonomi berbagi, dan juga merupakan langkah efektif untuk melindungi lingkungan. Daur ulang dan remanufaktur produk tidak hanya dapat memperpanjang umur produk dan mewujudkan daur ulang sumber daya yang efisien, tetapi juga menurunkan biaya produksi sebesar kurang-lebih 50% dari produk baru, menghemat energi sebesar 60%, menghemat bahan lebih dari 70%, mengurangi polusi udara dan sumber daya air sebesar hampir 80%, dan menghasilkan rantai pasokan ulang (*Recycle Supply Chain*). Remanufaktur dapat mengurangi pengurangan biaya dan melindungi lingkungan secara bersamaan [4].

Tujuan perusahaan adalah untuk mengoptimalkan sistem rantai pasokan terbalik dan maju yang terintegrasi untuk meminimalkan total biaya dan memaksimalkan manfaat. Secara khusus, tujuan produksi dan manajemen persediaan dalam proses remanufaktur adalah untuk mengontrol pesanan komponen eksternal dan proses pemulihan komponen internal untuk memastikan tingkat layanan tertentu dan untuk meminimalkan total biaya produksi dan persediaan. Selain itu, ada kebutuhan untuk menentukan apakah sebenarnya lebih murah untuk merombak pengembalian daripada memproduksi atau membeli yang baru [6].

Beberapa peneliti sebelumnya telah mengkaji sistem remanufaktur. Mereka fokus terutama pada *lead time* dari proses produksi dan remanufaktur, dan meningkatkan kompleksitas sistem produksi. Oleh karena itu untuk mengetahui hal-hal apa saja yang mempengaruhi sistem produksi serta tingkat persediaan yang terintegrasi dengan aktivitas remanufaktur maka kami melakukan pemodelan sistem. Pemodelan sistem yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan *System Dynamics*. Hal ini bertujuan untuk menyelidiki dan mengevaluasi strategi pengendalian yang efektif.

Inventori merupakan hal yang penting untuk kelancaran aktivitas produksi perusahaan. Inventori merupakan sumber daya yang menganggur (*idle resource*) yang keberadaannya

menunggu proses lebih lanjut. Permasalahan yang umum terjadi dalam pengendalian persediaan diantaranya adalah kemungkinan inventori terlalu banyak ataupun terlalu sedikit untuk memenuhi permintaan konsumen di masa mendatang. Penentuan jumlah persediaan barang harus ditentukan dengan bijak dalam proses produksi, karena tanpa pengelolaan yang baik akan mengakibatkan kerugian bagi perusahaan yang disebabkan oleh biaya yang semestinya tidak dikeluarkan. Oleh karena itu kebijakan inventori perlu ditetapkan dengan tepat agar perusahaan dapat memenuhi permintaan dari konsumen sesuai dengan tingkat pelayanan yang dijanjikan dengan mempertimbangkan ongkos yang minimum [7]. Dalam artikel, Wei, Tang, dan Sundin juga menyebutkan konsekuensi stok barang retur berlebih adalah meningkatnya biaya penyimpanan persediaan karena perusahaan harus menyimpan stok pengembalian ekstra [11].

Pengendalian persediaan remanufaktur dipengaruhi oleh kapasitas remanufaktur. Mereka berpendapat bahwa kapasitas remanufaktur stokastik menyelaraskan model mereka lebih dekat dengan kasus dunia nyata. Dalam hasil mereka, Heydari, Govindan, dan Sadeghi mengungkapkan bahwa ketidakpastian dalam kapasitas remanufaktur menyebabkan perubahan signifikan dalam proses pemodelan dan juga dalam output dari sistem logistik terbalik [10].

Ponte dalam artikelnya berpendapat bahwa dengan mempertimbangkan sistem manufaktur / remanufaktur *hybrid* di mana produk yang dikembalikan (inti) diklasifikasikan ke dalam tingkat kualitas yang berbeda. Setiap *grade* memerlukan operasi remanufaktur yang berbeda dengan *lead time*. memeriksa implikasi skema penilaian kualitas pada perilaku dinamis rantai pasokan *loop* tertutup, membandingkannya dengan sistem tipikal di mana semua pengembalian menjalani proses remanufaktur yang sama. Melalui teknik rekayasa kontrol, kami mengevaluasi kinerja *Bullwhip* dan inventaris rantai pasokan dengan mengamati respons langkah pesanan dan stok bersih (lensa kejut), menganalisis perilaku frekuensi sinyal ini (lensa filter), dan mengukur dinamikanya karena permintaan stokastik [14].

Metodologi *System Dynamics* yang diperkenalkan oleh Forrester pada tahun 1961 menyediakan kerangka pemodelan dan simulasi yang lebih fleksibel dan sederhana untuk membuat keputusan dalam situasi manajemen industri yang dinamis dan rumit. Ini adalah pendekatan yang tepat untuk mempelajari masalah operasi bencana dalam konteks *Closed Loop Supply Chains*, terutama karena dua alasan berikut. Sistem dinamik memiliki kemampuan untuk mengintegrasikan faktor lunak ke dalam analisis operasi. Sistem Dinamik dapat menangani peningkatan kompleksitas yang disebabkan oleh pengaruh kausal antara aktor yang terlibat yang berbeda, perilaku non-linier dan penundaan waktu [5].

Selain itu, Sistem Dinamik memungkinkan studi dan evaluasi berbagai skenario alternatif dan dampaknya pada kinerja sistem. SD dipahami dengan baik oleh banyak manajer dan menjadi instrumen untuk *brainstorming* sehingga ketergantungan pada data dapat dikurangi. Metodologi ini memberikan pemahaman tentang perubahan yang terjadi dalam suatu sistem dengan berfokus pada interaksi antara arus fisik, arus informasi, penundaan dan kebijakan yang menciptakan dinamika variabel yang diminati [5].

Rachma dalam artikelnya berpendapat bahwa pada saat ini dunia perindustrian telah tumbuh dan berkembang dengan sangat pesat. Meningkatnya jumlah permintaan di pasar dan bertambahnya jumlah pesaing industri di dunia menyebabkan perusahaan harus berlomba-lomba untuk menjadi unggul agar dapat dikenal dan diketahui oleh pasar luas. Salah satunya adalah memperbaiki kelangsungan produksi agar dapat memenuhi permintaan konsumen dengan tepat waktu dan biaya produksi seefisien mungkin. Sistem dinamik merupakan teknik matematis yang digunakan untuk pengambilan keputusan yang terdiri dari banyak tahap (*multi-stage*). Program dinamis membagi masalah utama menjadi sub-sub masalah. Kelebihan metode program dinamik dibandingkan dengan metode optimasi lainnya adalah memiliki lebih dari satu rangkaian keputusan [13].

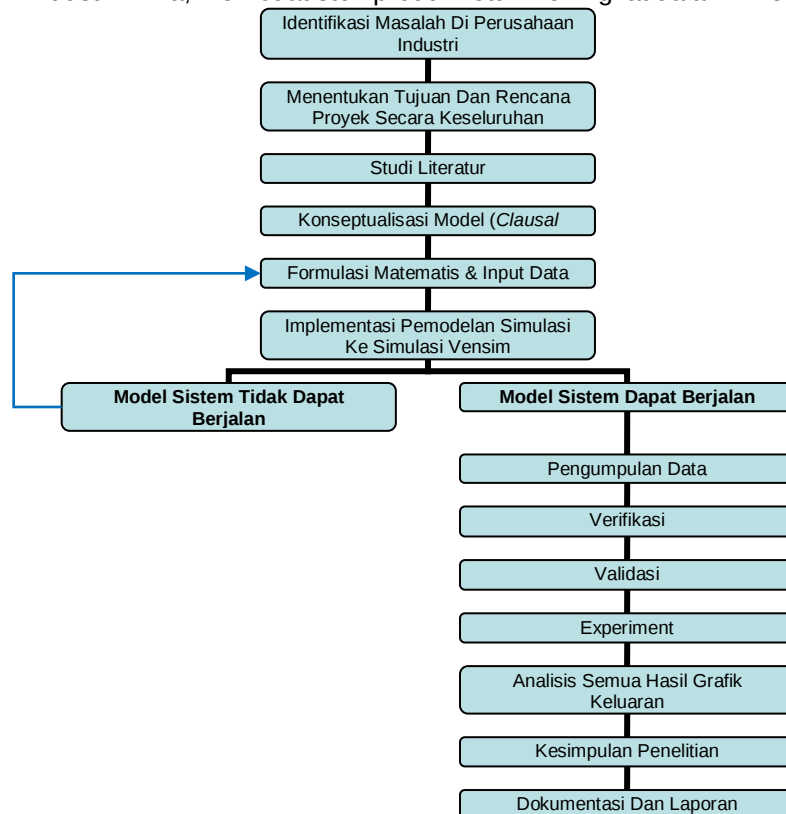
Dengan penerapan program dinamik pada *closed loop supply chain* diharapkan operasi pada sistem produksi ini lancar dan persediaan dikelola dengan baik. Dengan mengembangkan kerangka kerja baru untuk mengukur dinamika rantai pasokan *loop* tertutup, terdapat pengurangan yang signifikan dalam stok bersih, manufaktur, dan varians remanufaktur dapat dicapai, yang memiliki implikasi baik untuk pengurangan stok dan stabilisasi produksi. Dengan demikian, manfaat yang diketahui dari model ekonomi sirkular diperkuat, baik secara ekonomi maupun lingkungan [15].

Dalam penelitian ini, kami melakukan studi kasus pada sebuah perusahaan penghasil cat (*chemical industry*) dimana stok barang retur menumpuk di Gudang Cabang. Proses pemanfaatan produk retur masih belum berjalan lancar, sehingga pada penelitian ini model yang digunakan adalah rantai pasokan tertutup dan menggunakan aplikasi *Software Vensim* untuk mengkaji sejumlah strategi pengendalian stok barang retur, dimana dilihat dari biaya dan jumlah stok barang retur yang dihasilkan.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji sejumlah strategi pengendalian stok retur menggunakan kerangka *closed loop supply-chain remanufacturing* dan simulasi sistem dinamik, Metode penelitian dilakukan dengan langkah-langkah yang digambarkan dalam Gambar 1.

Pengendalian stok barang retur dengan proses manufaktur ulang (*remanufacturing*) merupakan hal penting bagi banyak perusahaan. Seringkali, kompleksitas proses remanufaktur seperti dalam industri kimia, membuat stok produk retur meningkat dalam inventori.



Sumber: Hasil Penelitian (2022)

Gambar 1. Metode Penelitian

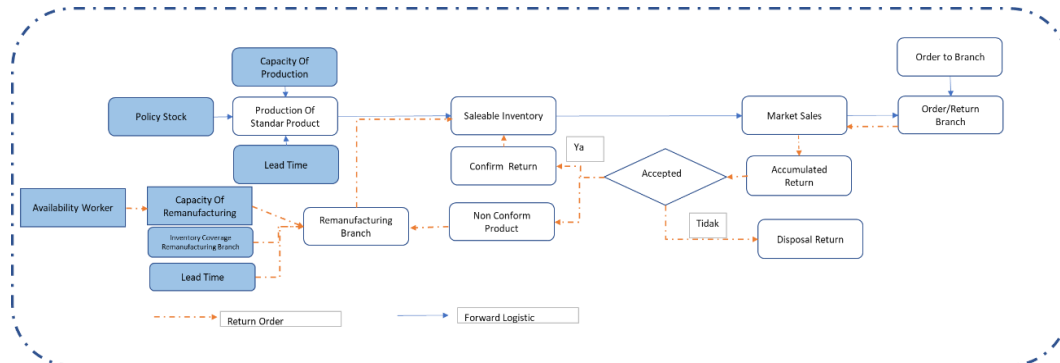
Pada Gambar 1 diatas, menjelaskan langkah-langkah metode penelitian yang dilakukan pada penelitian ini.

Setelah melakukan identifikasi sistem, langkah selanjutnya pada pendekatan simulasi sistem dinamik adalah melakukan konseptualisasi sistem dengan melakukan penggambaran *stock flow* diagram. Tujuan untuk pembuatan *stock flow* diagram adalah menganalisa hubungan antar *variable* dalam sebuah *system*. Gambar 2 dibawah ini menggambarkan aliran *Closed Loop Supply Chain*.

Gambar 2. Diagram Alir *Closed Loop Supply Chain*

Sumber: Hasil Penelitian (2022)

Berdasarkan Gambar 2 diatas, dapat dilihat Diagram Alir *Closed Loop Supply Chain* yang terjadi di salah satu perusahaan penghasil cat di Indonesia.



Dalam diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 2, menggambarkan bahwa terdapat 4 stok, yaitu akumulasi pesanan (*accumulated order*), akumulasi barang retur (*accumulated return*), stok barang retur (*recoverable inventory*) dan stok barang jadi (*serviceable inventory*). Aliran barang retur dalam sistem ini, dalam prosesnya diterima dari logistik (*market sales*), dikumpulkan dalam gudang logistik lalu diserahkan langsung ke gudang retur cabang. Proses inspeksi kualitas (*Inspection Test*) dilakukan sebelum barang retur diterima sebagai stok barang retur. Proses pengolahan barang retur digambarkan dengan proses *remanufacturing* yang ditandai dengan jumlah *remanufacturing order*. Jumlah *remanufacturing order* dipengaruhi dengan jumlah kapasitas *remanufacturing*. Penelitian ini menambahkan variabel orang (*worker*) yang dapat disesuaikan jumlahnya untuk menyesuaikan kapasitas *remanufacturing*. Kapasitas *remanufacturing* pun tergantung dari kapasitas total dari sistem. Kapasitas total menggambarkan kapasitas produksi ditambah dengan kapasitas *remanufacturing*.

Setelah melakukan identifikasi sistem yang terjadi, maka langkah selanjutnya adalah menggambarkan hal ini dalam sebuah model. *Software* yang digunakan adalah *Vensim*. Penelitian dilakukan dengan membuat sebuah model sistem dinamik untuk sistem *closed loop supply-chain remanufacturing* dengan durasi analisis 60 minggu, hal ini bertujuan agar dapat lebih memperlihatkan proses pergerakan laju alir yang terjadi dalam sistem. Adapun persamaan model dapat dilihat pada Tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Persamaan Model

Variabel	Persamaan
Serviceable Inventory	production+remanufacturing-sales
Recoverable Inventory	accepted returns-remanufacturing
Collected Returns	return-accepted returns-failed return
accumulated orders	orders-fulfilled order
remanufacturing	DELAY FIXED(remanufacturing order, REMANUFACTURING LEAD TIME,0)
sales	MIN(accumulated orders, Serviceable Inventory)/DELIVERY TIME
production	DELAY FIXED(production order, PRODUCTION LEAD TIME,0)
accepted returns	(Max(expected accepted return,gap current recoverable))/INSPECTION TIME note menjadi min ketika ingin melakukan setting QTY tertentu di RI
failed return	(Collected Returns*PERCENTAGE DISPOSED)/INSPECTION TIME
return	DELAY FIXED(0.6*sales,6,0)
orders	demand
fulfilled order	sales
REMANUFACTURING LEAD TIME	3
remanufacturing order	IF THEN ELSE(Recoverable Inventory=upper recoverable inventory stock

	level:AND:gap serviceable inventory>0,MIN(gap serviceable inventory,remanufacturing capacity),0)
gap serviceable inventory	(desired serviceable inventory-(Serviceable Inventory-product allocation))/TIME TO ADJUST SERVICABLE INVENTORY
product allocation	sales*ALLOCATION TIME
TIME TO ADJUST SERVICABLE INVENTORY	1
desired serviceable inventory	orders*INVENTORY COVERAGE
INVENTORY COVERAGE	2
ALLOCATION TIME	1
DELIVERY TIME	1
demand	0.2*Time+RANDOM UNIFORM(10,20,2)
production order	IF THEN ELSE(gap serviceable inventory>remanufacturing order, MIN(production capacity,gap serviceable inventory-remanufacturing order),0)
PRODUCTION LEAD TIME	1
production capacity	TOTAL REMANUFACTURING AND PRODUCTION CAPACITY-remanufacturing capacity
TOTAL REMANUFACTURING AND PRODUCTION CAPACITY	30
remanufacturing capacity	REMANUFACTURING CAPACITY REQUIRED*TOTAL REMANUFACTURING AND PRODUCTION CAPACITY
REMANUFACTURING CAPACITY REQUIRED	0.3
upper recoverable inventory stock level	remanufacturing capacity*REVIEW STOCK LEVEL
REVIEW STOCK LEVEL	6
gap current recoverable	upper recoverable inventory stock level-Recoverable Inventory
accepted returns	(MIN(expected accepted return,gap current recoverable))/INSPECTION TIME
expected accepted return	Collected Returns*(1-PERCENTAGE DISPOSED)
INSPECTION TIME	1
PERCENTAGE DISPOSED	0
Working Weeks	1
Average number Produced	2*Working Weeks*number of worker
Number of Worker	1

Sumber: Hasil Penelitian (2022)

Pada Tabel 1 di atas, menunjukkan data-data persamaan model sistem dinamik yang digunakan dalam penelitian ini.

Verifikasi model dilakukan untuk memastikan model berfungsi sesuai dengan logika yang diterapkan dalam sistem. Verifikasi dilakukan dengan memeriksa formulasi apakah sudah sesuai dengan hubungan variabel dengan variabel lainnya dan memeriksa satuan (unit) variabel dalam model. Dalam tahap verifikasi ini, kami melakukan test di *software* vensim. Berdasarkan hasil verifikasi, seperti yang terlihat dalam Gambar 3 di bawah, model sudah dibuat dengan sangat baik, tidak terdapat *error* pada formulasi dan tidak terdapat *error* pada unit yang digunakan dalam permodelan ini.

maksimum dari stok remanufaktur. Skenario 4 mengkaji keadaan di mana kapasitas remanufaktur ditingkatkan dan *remanufacturing* dan menurunkan *lead time remanufacturing*.

Tabel 2. Skenario Pengendalian *Recoverable Inventory*

No	Skenario	Keterangan Skenario
1	Skenario Awal	Kondisi Awal, tidak ada proses inspeksi
2	Skenario 1	Adanya proses inspeksi dengan <i>disposal rate</i> 2%
3	Skenario 2	Meningkatkan kapasitas <i>remanufacturing</i>
4	Skenario 3	Membatasi QTY Max <i>recoverable inventory</i>
5	Skenario 4	Meningkatkan kapasitas <i>remanufacture</i> dan menurunkan <i>lead time remanufaktur</i>

Sumber: Hasil Penelitian (2022)

Pada Tabel 2 diatas, menunjukkan berbagai macam skenario (skenario 1 - skenario 4) dan perubahan variabel pada skenario tersebut yang dilakukan pada penelitian ini.

3. Hasil dan Pembahasan

Simulasi ini dilakukan dengan satuan minggu dan disimulasikan dalam waktu 60 minggu. Simulasi model berkenaan tentang *Stock Barang Retur* dan *Pemanfaatan Barang Retur*, serta pengaruhnya terhadap *total cost*.

3.1 Simulasi Pengendalian *Stock Barang Retur*.

Simulasi ini dilakukan dengan satuan minggu dan disimulasikan dalam waktu 60 minggu. Kondisi dimana kapasitas untuk remanufaktur adalah 11 *batch*/minggu. Adapun *demand* yang diterima adalah berkisar di 10 sampai dengan 20 unit per minggu. Dimana semua barang retur yang diberikan pihak logistik diterima sehingga pada kondisi awal *percentage disposal* adalah 0%, hal ini membuat stock barang *recoverable* akan cenderung naik seiring waktu. Kapasitas sistem ini adalah 30 *batch* per minggu. Hal ini akan disebut sebagai kondisi awal, dapat dilihat pada Gambar 5 dibawah ini.

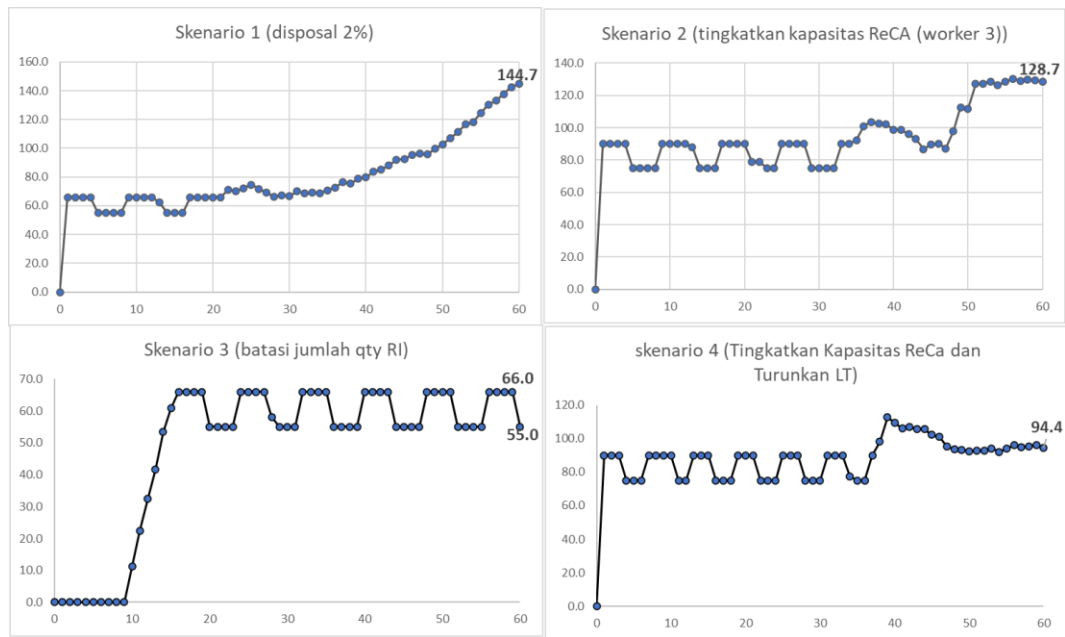


Gambar 5. Kondisi Awal *Recoverable Inventory*

Sumber: Hasil Penelitian (2022)

Pada Gambar 5 diatas, merupakan kondisi awal *Recoverable Inventory* di salah satu perusahaan penghasil cat di Indonesia.

Pada kondisi awal trend jumlah *recoverable inventory* terus meningkat. Jumlah *recoverable inventory* pada minggu ke-60 adalah 176 *batch*.



Gambar 6. Grafik Perbandingan *Recoverable Inventory* Masing-Masing Skenario
Sumber: Hasil Penelitian (2022)

Pada Gambar 6 diatas, menggambarkan grafik perbandingan *Recoverable Inventory* pada masing-masing skenario penelitian ini.

Pada Skenario 1 dilakukan inspeksi untuk barang retur, dengan nilai produk yang di *scrap* adalah 2% (*disposal percentage*), maka *stock* dari *recoverable* pada minggu ke-60 adalah sejumlah 144.7 *batch*, mengalami penurunan kuantiti/perbaikan sebesar 18%. Hal yang dilakukan agar terdapat inspeksi kualitas adalah pengadaan operator kualiti atau peningkatan kompetensi dari pekerja.

Dengan hasil dari skenario 1, selanjutnya menambahkan jumlah orang untuk membantu proses *remanufacturing* (skenario 2). Jumlah orang yang diusulkan dalam simulasi ini adalah 3 orang, dimana per orang mampu mengerjakan 2 *batch*/minggu. Sehingga kapasitas untuk *remanufacturing* adalah 15 *batch* per minggu, sehingga *stock recoverable* akan lebih banyak yang terproses. Jumlah *stock recoverable* minggu ke-60 adalah sejumlah 128.7 *batch*, mengalami penurunan kuantiti/perbaikan sebesar 27%.

Usulan tentang status tenaga kerja, dalam menangani barang retur ini adalah dengan status bukan pekerja tetap, karena pekerjaan ini bersifat *project* dan juga *volumenya* berubah-ubah. Dengan demikian pihak perusahaan harus lebih mempelajari dari segi penerapan Undang-Undang (UU) nomor 13 tentang ketenagakerjaan.

Pada Skenario 3 dilakukan pengendalian *recoverable inventory* dimana dengan kita menerapkan bahwa di gudang maksimal untuk *Review Stock Level* (RSL) adalah 6 minggu, sehingga jumlah retur yang diterima ketika *stock* berkurang dari jumlah *stock* dengan nilai 66 yaitu Total kapasitas * RSL (6*11). Maka dengan ini *stock Recoverable Inventory* akan selalu terjaga di nilai 66. Hal ini disebut dengan skenario 3.

Namun ada hal yang perlu dipertimbangkan dalam penerapan Skenario 3 yaitu ada sejumlah barang retur yang tidak diterima sehingga hal ini perlu penanganan khusus. Adapun penanganan khusus yang diusulkan adanya komunikasi dengan pusat. Hal yang tidak tertangani oleh cabang sebaiknya dilanjutkan ke pusat untuk diselesaikan. Dengan asumsi pusat lebih memiliki sumber daya yang lebih besar. Adapun jumlah barang retur yang tidak tertangani di cabang digambarkan dalam Gambar 7 berikut ini.



Gambar 7. Jumlah Barang Retur Yang Tidak Tertangani

Sumber: Hasil Penelitian (2022)

Berdasarkan Gambar 7 diatas, dapat dilihat perubahan dari minggu-ke-minggu jumlah barang retur yang tidak tertangani.

Pada Skenario 4 dilakukan pengendalian *recoverable inventory* dimana selain menambahkan jumlah orang untuk membantu proses *remanufacturing* dan juga menurunkan *lead time remanufacturing* dari 3 minggu menjadi 2 minggu. Peningkatan kapasitas dan menurunkan *lead time* membuat *recoverable inventory* pada akhir minggu ke-60 adalah 94 *batch*, sehingga dibandingkan *recoverable inventory* minggu ke-60 kondisi awal, perbaikan sebesar 46%. Tabel 3 dibawah ini menunjukkan perbandingan hasil simulasi skenario.

Tabel 3. Perbandingan Hasil Masing-Masing Skenario

No	Perbandingan	Stock RI	Perbaikan	Keterangan Skenario
1	Skenario Awal	176		Kondisi Awal
2	Skenario 1	145	18%	Disposal Rate 2%
3	Skenario 2	129	27%	Tingkatkan Kapasitas, worker = 3
4	Skenario 3	55	69%	Batasi QTY Gudang
5	Skenario 4	94.4	46%	Tingkatkan Kapasitas dan Turunkan RLT (RLT = 2)

Sumber: Hasil Penelitian (2022)

Pada Tabel 3 diatas, menunjukkan perbandingan hasil dari masing-masing skenario yang dilakukan pada penelitian ini.

3.2 Simulasi *Total Cost*.

Setelah Dalam simulasi pengendalian stock retur, dilakukan Analisa terhadap dinamika skenario terhadap *Total Cost*. Adapun *cost* yang dihitung, digambarkan dalam Tabel 4 berikut ini.

Tabel 4. Elemen *Total Cost*

Nama Biaya	Besar Biaya/Batch	Keterangan
<i>Set Up Cost Remanufacturing (R)</i>	156	60% dari <i>Production Cost</i>
<i>Set Up Cost Production (P)</i>	260	FOH (<i>Batch</i>)
<i>Inventory Cost R</i>	1.8	
<i>Inventory Cost P</i>	4.5	
<i>Process Cost R</i>	51	60% dari <i>Production Cost</i>
<i>Process Cost P</i>	85	DL (<i>Batch</i>)
<i>Back Order Cost</i>	103.5	dari 30% <i>Cost P</i>

Sumber: Hasil Penelitian (2022)

Pada Tabel 4 diatas, menunjukkan hasil dari elemen-elemen *Total Cost* pada penelitian ini.

Tabel 5. Perbandingan *Total Cost*

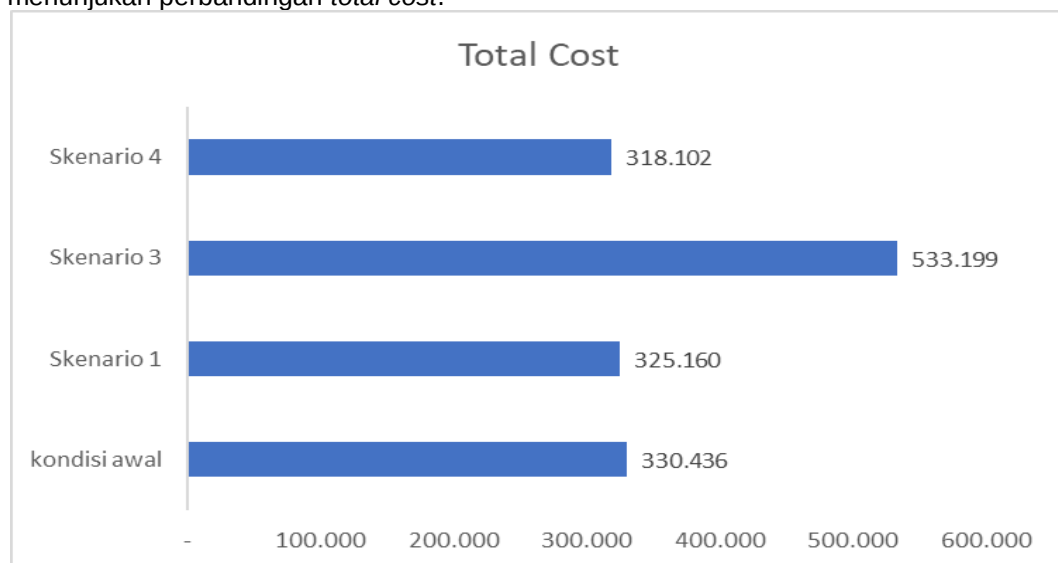
Skenario	IC	TC	RE CA	Worker	LTRLT	Disposal	Backlog Cost	Stock RI Cost	Stock SI Cost	RP Cost	PP Cost	Total Cost	Keterangan
kondisi awal	2	30	30	1	3	0%	13.438	10.211	10.495	72.643	223.650	330.436	
Skenario 1	2	30	30	1	3	2%	13.823	8.753	10.747	79.370	212.466	325.160	Disposal Rate 2%
Skenario 3	1	30	30	1	3	2%	18.090	5.330	8.031	37.752	463.997	533.199	Batasi QTY Barang Retur
Skenario 4	2	30	30	3	2	2%	15.271	9.617	9.315	91.275	192.625	318.102	Tingkatkan Kapasitas dan Turunkan RLT(RLT = 2)

Keterangan: IC = *Inventory Coverage*
 TC = *Total Capacity*
 Re CA = *Kapasitas Remanufacturing*

Sumber: Hasil Penelitian (2022)

Pada Tabel 5 diatas, menunjukkan perbandingan hasil *Total Cost* dari masing-masing skenario pada penelitian ini.

Dari Tabel 5 diatas terlihat bahwa *total cost* kondisi awal adalah 330,436 dengan skenario 1 yaitu terdapatnya kegiatan inspeksi (*disposal rate 2%*) *total cost* menurun menjadi 324,160. Skenario (*scenario 3*) pembatasan kuantiti maximal *recoverable inventory total cost* menurun menjadi 308,671, sedangkan dengan meningkatkan kapasitas dan menurunkan *lead time remanufacturing (scenario 4)* *total cost* pun menurun menjadi 318,102. Gambar 8 dibawah ini menunjukkan perbandingan *total cost*.



Gambar 8. Perbandingan *Total Cost*

Sumber: Hasil Penelitian (2022)

Pada Gambar 8 diatas, menggambarkan hasil dari *Total Cost* pada masing-masing skenario penelitian ini dalam bentuk *bar diagram*.

Dilihat dari simulasi *total cost*, meningkatkan kapasitas dan menurunkan *lead time remanufacturing* menurunkan *total cost*. Dari *scenario* pembatasan jumlah *stock* barang retur (skenario 4) adalah *total cost* yang tertinggi karena pemenuhan order banyak dipenuhi oleh *production process* produk standar.

4. Kesimpulan

Pada penelitian ini, model dinamika system berfokus pada hal-hal apa saja yang mempengaruhi sistem produksi serta tingkat persediaan yang terintegrasi dengan aktivitas remanufaktur. Pemodelan system yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan *System*

Dynamics dengan software Vensim. Hal ini bertujuan untuk menyelidiki dan mengevaluasi strategi pengendalian persediaan yang efektif dilihat dari jumlah persediaan dan total cost.

Faktor utama yang dipertimbangkan untuk simulasi model ini adalah: 1. kebijakan penerimaan barang retur, 2. kapasitas remanufaktur, 3. kapasitas penyimpanan, 4. waktu proses. Hal ini mempengaruhi sistem dimana kebijakan penerimaan barang retur serta kebijakan jumlah persediaan mempengaruhi jumlah stok barang retur, dimana pengendalian ini sangat dipengaruhi oleh kemampuan sistem untuk memanfaatkannya. Hal ini dipengaruhi oleh kapasitas remanufaktur serta kecepatan dalam pemanfaatannya.

Melalui analisis simulasi ini, meningkatkan kapasitas remanufaktur dan menurunkan waktu proses remanufaktur selain pengendalian stok barang retur yang membaik, total biaya dapat dikurangi. Adapun penelitian selanjutnya dapat dikembangkan Kembali untuk melakukan strategi pengendalian ini, faktor-faktor dalam system apalagi yang harus dikendalikan agar strategi ini tepat guna.

Referensi

- [1] P. Sugumaran and V. Sukumaran, "Recommendations to improve dead stock management in garment industry using data analytics", *Mathematical Biosciences and Engineering*, vol. 16, no. 6, pp. 8121-8133, 2019.
- [2] T. Wild, *Best practice in inventory management*, Routledge, 2017.
- [3] R. Li, A. Chiu, and R. Seva, "A Process-Based Dead Stock Management Framework for Retail Chain Store Systems", *RSF Conference Series: Business, Management and Social Sciences*, vol. 2, no. 1, pp. 122-128, 2022.
- [4] X. Zhang, J. Hu, S. Sun, and G. Qi, "Extended Warranty Strategy and Its Environment Impact of Remanufactured Supply Chain", *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 19, no. 3, pp. 1526, 2022.
- [5] E. Katsoras and P. Georgiadis, "A Dynamic Analysis for Mitigating Disaster Effects in Closed Loop Supply Chains", *Sustainability*, vol. 14, no. 9, pp. 4948, 2022.
- [6] R. Poles, "System Dynamics modelling of a production and inventory system for remanufacturing to evaluate system improvement strategies", *International Journal of Production Economics*, vol. 144, no. 1, pp. 189-199, 2013.
- [7] Rini, M. Wandita, and N. Ananda, "Analisis kebijakan inventori probabilistik dengan model P-backorder dan Q-backorder", *Journal of Industrial Services*, vol. 7 no. 1, pp. 1-7, 2021.
- [8] Paduloh, et al, "Uncertainty models in reverse supply chain: A review", *International Journal of Supply Chain Management*, vol. 9, no. 2, pp. 139-149, 2020.
- [9] S. Miao, D. Chen, and T. Wang, "Modelling and Research on Manufacturer's Capacity of Remanufacturing and Recycling in Closed-loop Supply Chain", *Journal of Statistical Computation and Simulation*, vol. 87, no. 17, pp. 3325–3335, 2017.
- [10] J. Heydari, K. Govindan, and R. Sadeghi, "Reverse supply chain coordination under stochastic remanufacturing capacity", *International Journal of Production Economics*, vol. 202, no. 3, pp. 1-11, 2018.
- [11] S. Wei, O. Tang, and E. Sundin, "Core (product) Acquisition Management for remanufacturing: a review", *Journal of Remanufacturing*, vol. 5, no. 4, pp. 1-24, 2015.
- [12] G.S. San, D. Wahjudi, and Y.Y. Tanoto, "Remanufacturing: Strategi dan Desain dalam Rantai Pasok Lingkaran Tertutup", *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 18, no. 2, pp. 51-59, 2021.
- [13] E.A. Rachma, "Optimasi Perencanaan Produksi dengan Menggunakan Model Sistem Dinamik di PT X", *Jurnal Optimasi Teknik Industri (JOTI)*, vol. 2, no. 1, pp. 36-42, 2020.
- [14] B. Ponte, S. Cannella, R. Dominguez, M.M. Naim, and A.A. Syntetos, "Quality grading of returns and the dynamics of remanufacturing", *International Journal of Production Economics*, vol. 236, no. 108129, 2021.
- [15] B. Ponte, M.M. Naim, and A.A. Syntetos, "The value of regulating returns for enhancing the dynamic behaviour of hybrid manufacturing-remanufacturing systems", *European Journal of Operational Research*, vol. 278, no. 2, pp. 629-645, 2019.