

Strategi Pengendalian Persediaan pada Rantai Pasok *Multi-Echelon* untuk *Fast Moving Products* dengan Pendekatan Sistem Dinamik

Almira Shabna Syafira dan Niniet Indah Arvitrida

Departemen Teknik Sistem dan Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: niniet@ie.its.ac.id

Abstrak—Pengendalian persediaan merupakan aktivitas penting dalam memastikan ketersediaan persediaan dan pemenuhan permintaan yang dapat memengaruhi kinerja rantai pasok. Dalam pemenuhan permintaannya, PT X sebuah perusahaan produsen fast moving products dengan produk kurang lebih berjumlah 1600 SKU dalam group product memiliki tiga tahap distribusi yakni National Distribution Center (NDC), Regional Distribution Center (RDC), dan Distribution Center (DC), dimana antar DC dapat melakukan order dan supply satu sama lain (transshipment). Permasalahan terkait pengendalian persediaan dialami oleh PT X, dimana mekanisme pengendalian persediaan yang saat ini dilakukan PT X masih memiliki kelemahan yang menyebabkan kinerja rantai pasok dari segi responsivitas yang direpresentasikan oleh fill rate yang masih jauh dari target yang disebabkan karena ketidakmampuan DC dalam pemenuhan permintaan akibat dari permasalahan ketidakseimbangan stock, understock, dan overstock di beberapa DC serta pengendalian persediaan yang saat ini dilakukan masih belum mempertimbangkan efisiensi biaya dari masing-masing fasilitas. Pendekatan simulasi sistem dinamik digunakan pada tugas akhir ini bertujuan untuk mengetahui strategi pengendalian persediaan pada rantai pasok multi-echelon perusahaan fast moving goods di Indonesia. Terdapat tiga skenario perbaikan kebijakan pengendalian yang dikembangkan. Skenario perbaikan kebijakan pengendalian persediaan yang dikembangkan akan diimplementasikan di masing-masing fasilitas. Skenario pertama menerapkan kebijakan min-max inventory dan skema transshipment. Skenario kedua adalah skenario dengan penerapan min-max inventory dan skema transshipment yang terdiri dari 3 sub skenario dengan variasi penambahan safety stock sebesar 10%, 20% dan 30%. Skenario ketiga adalah skenario penerapan kebijakan min-max inventory tanpa skema transshipment. Masing-masing skenario dibandingkan hasil fill rate dan total cost. Skenario yang memberikan hasil fill rate dengan tetap meminimalkan total cost akan dipilih sebagai rekomendasi untuk PT X. Berdasarkan hasil simulasi, skenario yang memberikan hasil terbaik adalah skenario penerapan kebijakan min-max inventory dengan penambahan safety stock sebesar 20% dan dengan skema transshipment. Skenario tersebut menghasilkan rata-rata fill rate sebesar 97,55% dengan total cost sebesar Rp95.730.419.

Kata Kunci—*Continuous Review Model, Multi-Echelon, Pengendalian Persediaan, Rantai Pasok, Simulasi Sistem Dinamik.*

I. PENDAHULUAN

PERSEDIAAN menjadi aset penting bagi perusahaan dimana persediaan menyumbang 20% hingga 60% dari total aset perusahaan [1]. Perlu dilakukan proses untuk memastikan persediaan barang dipertahankan pada tingkat yang sesuai dengan kebutuhan dan permintaan. Pengendalian persediaan merupakan proses manajemen yang bertujuan untuk melakukan pengoptimalan jumlah persediaan dan

Tabel 1.

Klasifikasi ABC Group Product

Group Product	Avg Net Value (Rp)	% Kontiribusi	Cumulative % Kontribusi	Kelas
FMU-01	247.217.512.966	26,890%	26,889%	A
FMS-02	231.294.967.235	25,158%	52,047%	A
LMU-03	208.757.786.693	22,706%	74,753%	A
FCL-04	132.252.078.530	14,385%	89,138%	B
EMU-05	72.837.520.823	7,922%	97,061%	B
SHM-06	11.988.652.584	1,304%	98,007%	B
BDW-07	6.006.989.170	0,653%	99,018%	C
EDT-08	4.687.279.263	0,510%	99,528%	C
CLG-09	2.765.622.013	0,301%	99,829%	C
BLT-10	1.569.106.571	0,171%	100,000%	C

mengurangi biaya yang terkait dengan penyimpanan dan pengelolaan persediaan [2]. Pengendalian persediaan dalam rantai pasok memegang peran penting dalam menjaga kelancaran proses rantai pasok secara keseluruhan [3]. Ketika perusahaan memutuskan untuk melakukan pengadaan persediaan, maka perusahaan akan dihadapkan dengan risiko *overstock* atau *understock*. Jumlah persediaan barang yang terlalu banyak (*overstock*) akan berdampak pada risiko biaya penyimpanan yang tinggi dan juga risiko kepemilikan barang yang tidak terjual. Namun sebaliknya, jika persediaan terlalu sedikit (*understock*), perusahaan akan mengalami kesulitan dalam memenuhi permintaan konsumen sehingga akan menyebabkan risiko produsen dapat kehilangan pelanggan dan pangsa pasar. Oleh karena itu, perusahaan perlu melakukan perencanaan persediaan barang yang tepat melalui pengendalian persediaan.

PT. X, yang merupakan perusahaan produsen dan distribusi produk kosmetik yang ada di Indonesia yang telah memproduksi dan mendistribusikan produknya dengan jumlah total kurang lebih 1600 SKU *Product* dalam 10 *group products* dimana permasalahan yang sering terjadi adalah adanya ketidak seimbangan *stock* yang tersebar yang menyebabkan beberapa DC mengalami *stockout* yang menimbulkan *lost sales* sehingga indikator *fill rate* tidak tercapai. *Fill rate* mengacu pada presentase pesanan pelanggan yang berhasil dipenuhi oleh perusahaan dalam jangka waktu tertentu [4]. Dalam melakukan pemenuhan permintaan konsumen, PT X memiliki tiga tingkat atau *echelon* kategori Gudang Produk Jadi yakni *National Distribution Center* (NDC), *Regional Distribution Center* (RDC), dan *Distribution Center* (DC). Untuk mengatasi

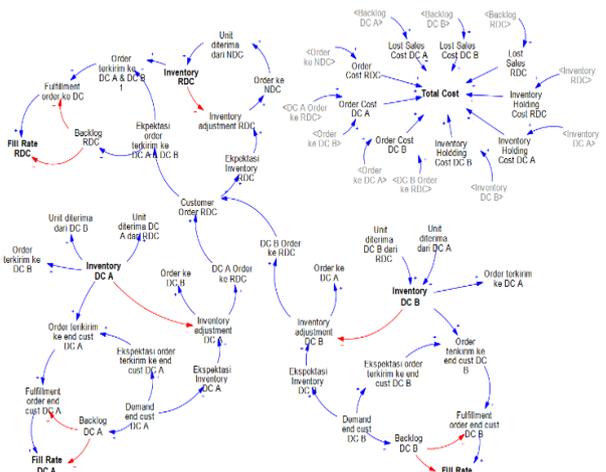
Tabel 2. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Parameter

Group Product	Q	SS	Min (s)	Max (S)
RDC	FMU-01	3.860	405	14.761
	FMS-02	8.437	796	32.704
	LMU-03	4.509	394	12.816
	FCL-04	9.455	693	27.960
	EMU-05	1.861	100	2.506
	SHM-06	1.156	39	1.003
	BDW-07	1.283	122	665
	EDT-08	626	8	252
	CLG-09	673	6	233
	BLT-10	942	16	373
DC A	FMU-01	3.786	736	14.546
	FMS-02	8.691	1.621	35.471
	LMU-03	4.353	640	12.217
	FCL-04	8.954	1.100	25.553
	EMU-05	2.147	181	3.385
	SHM-06	1.154	64	1.025
	BDW-07	1.397	166	810
	EDT-08	942	25	578
	CLG-09	641	8	214
	BLT-10	1.196	49	625
DC B	FMU-01	2.783	542	8.006
	FMS-02	6.765	1.188	21.699
	LMU-03	3.435	470	7.679
	FCL-04	7.740	1.017	19.290
	EMU-05	1.373	113	1.424
	SHM-06	749	27	432
	BDW-07	1.148	128	563
	EDT-08	591	13	231
	CLG-09	622	13	207
	BLT-10	838	26	309

Tabel 3.

Rata-Rata Output Simulasi Current Model VS Model Min-Max Policy

Variabel	Model Saat Ini	Skenario Perbaikan	Model
Fill Rate DC A	86,55%	95,84%	
Fill Rate DC B	89,37%	97,69%	
Fill Rate RDC	88,84%	98,60%	
Total Order Cost Supply Chain	Rp 1.585.050	Rp 1.408.632	
Total Holding Cost Supply Chain	Rp 49.902.510	Rp 57.299.954	
Total Lost Sales Cost Supply Chain	Rp 220.833.086	Rp 39.120.889	
Total Cost Supply Chain	Rp 272.320.613	Rp 97.829.489	



Gambar 1. Causal loop diagram.

permasalahan *overstock* dan *understoc*, PT X melakukan proses yang bertujuan untuk menyeimbangkan *stock* melalui *transshipment* dari satu lokasi (DC) ke lokasi (DC) lain [5]. Mekanisme persediaan yang diterapkan saat ini masih kurang responsif terhadap permintaan dan tidak mempertimbangkan efisiensi biaya.

Adanya kompleksitas dalam pengendalian persediaan ditambah dengan skema *transshipment* membuat permasalahan ini sulit diselesaikan oleh model matematis biasa. Pada penelitian ini diusulkan metode *continuous review model* yang akan diimplementasikan pada masing-masing fasilitas disetiap jaring distribusi dengan mempertimbangkan keterkaitan antar DC. Penerapan usulan kebijakan pengendalian persediaan ini perlu dievaluasi dari segi rantai pasok secara keseluruhan. Digunakan simulasi sistem dinamik yang mampu menangkap kompleksitas dan keteraitan antar variabel sistem, sehingga melalui simulasi skenario alternatif yang dirancang, dapat mengevaluasi dampak perubahan pada satu tahap jaringan distribusi terhadap keseluruhan rantai pasok, dan memilih strategi terbaik untuk mengoptimalkan pengendalian persediaan yang meminimalkan biaya dan risiko *lost sales* serta meningkatkan *fill rate*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Persediaan pada Rantai Pasok

Rantai pasok atau *supply chain* merupakan semua aktivitas dan pihak yang terlibat secara langsung maupun tidak langsung dalam aliran dan transformasi barang untuk memenuhi permintaan pelanggan [4].

B. Konsep Rantai Pasok Multi-Echelon

Rantai pasok *multi-echelon* dapat diartikan sebagai rangkaian saluran aliran barang dan jasa dari pemasok hingga pelanggan yang melibatkan beberapa lapisan atau tahap persediaan (berjenjang). Dalam pemenuhan permintaan pelanggan, dibutuhkan proses panjang dari alokasi bahan baku menjadi produk jadi melalui distribusi sederhana hingga ke beberapa tahap proses distribusi yang disebut dengan distribusi *multi-echelon* [6].

C. Konsep Transshipment Inventory dalam Distribusi

Transshipment pada *inventory* merujuk pada suatu proses distribusi atau pemindahan barang dari lokasi satu ke lokasi yang berbeda. Konsep *transshipment* dalam persediaan dapat digunakan untuk mengatasi keadaan darurat apabila suatu lokasi distribusi mengalami *out of stock*. Ketika suatu lokasi distribusi mengalami kehabisan persediaan dan berada dalam suatu kondisi darurat, maka permintaan pesanan darurat (*emergency order*) akan ditempatkan dan proses *transshipment* akan dilakukan.

D. Model Pengendalian Persediaan

Model pengendalian persediaan merupakan suatu sistem atau metode yang digunakan oleh perusahaan untuk mengelola dan mengontrol persediaan barang dengan efektif. Terdapat dua jenis sistem pengendalian persediaan probabilistik yakni:

1) Continuous Review Model

Model pengendalian persediaan *continuous review* merupakan metode pengendalian persediaan dimana kuantitas persediaan dipantau secara terus menerus atau

Tabel 4.
Total Cost Keseluruhan Rantai Pasok setiap Skenario

	Total Order Supply Chain	Cost	Total Holding Supply Chain	Cost	Total Lost Sales Supply Chain	Cost	Total Cost Supply Chain	Fill Rate Supply Chain
Skenario 1	Rp1.408.632		Rp57.299.954		Rp39.120.889		Rp97.829.489	97,38%
Skenario 2.1	Rp1.409.470		Rp57.262.780		Rp35.515.253		Rp95.730.419	97,55%
Skenario 2.2	Rp1.419.588		Rp57.647.463		Rp36.623.685		Rp95.690.741	97,49%
Skenario 2.3	Rp1.425.369		Rp55.947.439		Rp47.902.859		Rp105.275.674	97,01%
Skenario 3	Rp1.409.871		Rp54.321.024		Rp74.888.529		Rp130.619.476	95,54%

kontinyu [3]. Dalam metode ini, persediaan dipantau secara konstan dan pesanan dilakukan secara periodik. Terdapat dua klasifikasi sistem yaitu:

a. Sistem (s,Q)

Sistem (s,Q) merupakan sistem dimana waktu pemesanan dilakukan pada titik waktu tertentu atau *reorder point* (ROP). Pada sistem (s,Q) kuantiti pemesanan persediaan bersifat konstan.

b. Sistem (s,S)

Sistem (s,S) merupakan sistem persediaan dimana pemesanan dilakukan ketika posisi persediaan sama atau kurang dari *reorder point* atau titik s. Pemesanan ulang dalam sistem ini ditempatkan hingga jumlah persediaan mencapai titik maksimal S, dimana $S=s+Q$.

2) *Periodic Review Model*

Periodic review model merupakan metode pengendalian persediaan dimana persediaan diperiksa pada interval waktu yang sama setiap kali dan jumlah pesanan ulang ditentukan oleh selisih antara level persediaan aktual dengan level persediaan yang diinginkan [4]. Terdapat dua klasifikasi sistem yaitu:

c. Sistem (R,S)

Sistem (R,S) merupakan salah satu metode pengendalian persediaan dimana jumlah persediaan diperiksa pada interval waktu tertentu dan pesanan ulang ditempatkan hingga jumlah persediaan mencapai titik *reorder* atau R.

d. Sistem (R,s,S)

Sistem (R,s,S) merupakan kombinasi dari sistem (s,S) dan (R,S). Pada sistem ini pemesanan akan dilakukan ketika posisi persediaan berada pada titik minimum atau titik s, apabila pada titik *review* R, posisi persediaan masih belum mencapai titik s maka tidak dilakukan pemesanan. Namun, jika titik persediaan berada dibawah s, maka akan dilakukan pemesanan hingga persediaan mencapai titik maksimal S.

E. Analisis Klasifikasi ABC

Klasifikasi ABC merupakan metode penggolongan jenis barang atau *inventory* menjadi tiga kategori berdasarkan peringkat nilai, dari nilai tertinggi hingga terendah dimana klasifikasi ini mengaplikasikan prinsip Pareto [2]. Kategori A merupakan *inventory* dengan jumlah 20% dari keseluruhan item namun memiliki nilai investasi 80%. Kategori B merupakan *inventory* dengan jumlah 30% dari keseluruhan item namun memiliki nilai investasi 15% dari total nilai investasi. Kategori C merupakan *inventory* dengan jumlah 50% dari item namun memiliki nilai investasi 5% dari total inventstasi.

F. Simulasi Sistem Dinamik

Simulasi merupakan proses perancangan model atau pemodelan dari suatu sistem nyata yang bertujuan untuk memahami tingkah laku sistem menggunakan model matematis. Simulasi bertujuan untuk melakukan analisis

variabel dalam sistem yang bersifat *uncertainty*, *interconnected*, dan *complexity* dengan cara membuat tiruan model dari suatu sistem yang ingin dianalisis [7]. Simulasi sistem dinamik merupakan pendekatan yang digunakan untuk menggambarkan perilaku sistem yang kompleks dan dinamis dengan penggabungan pendekatan model matematis dan pengolahan data komputer [8].

III. METODOLOGI

A. Pembuatan Model Konseptual

Tahapan awal yang dilakukan adalah pembuatan model konseptual yang dilakukan berdasarkan permasalahan yang telah dipaparkan. Model konseptual merupakan gambaran deskriptif atau visual mengenai model simulasi yang akan dikembangkan yang menggambarkan tujuan, masukan, luaran, konten, dan asumsi dari model. Pembuatan model konseptual bertujuan untuk memahami serta menganalisis permasalahan secara lebih sistematis dan terstruktur.

B. Tahap Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan memperhatikan model konseptual yang telah disusun sebelumnya. Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini akan berperan sebagai *input* penyelesaian permasalahan.

C. Tahap Pengolahan Data

Data yang telah dikumpulkan akan dilakukan pengolahan data. Pada penelitian ini pengolahan data terbagi menjadi beberapa tahapan yakni tahap klasifikasi produk dan perhitungan parameter persediaan menggunakan pendekatan *continuous review model*.

1) Klasifikasi Produk

Penentuan klasifikasi produk menggunakan klasifikasi ABC dilakukan berdasarkan presentase penjualan (*sales*) relatif dari setiap *group product*. Kelas A merupakan produk dengan kontribusi penjualan terbesar >70% dari total penjualan, kelas B merupakan produk dengan kontribusi penjualan menengah 15-20% dari total penjualan, dan kelas C merupakan produk dengan kontribusi penjualan terkecil 5-10% dari total penjualan. Berikut ini merupakan rumus perhitungan presentase kontribusi produk.

$$\% \text{ Kontribusi produk } X = \frac{\text{Average Customer Order produk } X}{\text{Sum Customer Order}} \tag{1}$$

2) Perhitungan Parameter Persediaan

Pada tugas akhir ini, *continuous review* model yang digunakan adalah sistem *min-max* (s,S). Berikut ini merupakan formula dan langkah dalam perhitungan sistem *min-max* (s,S) [3].

Notasi:

Q = Order quantity

- r = Jumlah permintaan
- K = Biaya pemesanan/order
- F(K) = Demand probability
- π = Biaya backorder
- r = Jumlah permintaan
- q = Order quantity
- h = Biaya simpan
- SS = Safety stock
- k = Safety factor
- σ = Standar deviasi demand
- σ_L = Standar deviasi demand selama lead time
- LT = Lead time
- s = Minimum stock
- SS = Safety stock
- μ = Rata-rata demand
- S = Maximum stock
- Q = Order quantity
- s = Minimum stock

a. Menentukan order quantity (Q)

$$Q = \sqrt{\frac{2 \cdot K \cdot r}{h}} \dots\dots\dots (2)$$

b. Menghitung demand probability

$$F(K) = \frac{\pi \cdot r - h \cdot q}{\pi \cdot r} \dots\dots\dots (3)$$

c. Menghitung safety stock (SS)

$$SS = k \cdot \sigma_L \dots\dots\dots (4)$$

$$\sigma_L = \sigma \cdot \sqrt{LT} \dots\dots\dots (5)$$

d. Menghitung minimum stock (s)

$$s = \mu + SS \dots\dots\dots (6)$$

e. Menghitung maximum stock (S)

$$S = Q + s \dots\dots\dots (7)$$

D. Tahap Pengembangan Model Simulasi

Dalam mengembangkan model simulasi, model konseptual yang telah dibuat sebelumnya di konversi menjadi model komputer. Konversi model konseptual menjadi model komputer dilakukan menggunakan software Vensim PLE 9.4.1. Pemodelan dilakukan dengan membuat skenario yang menggambarkan sistem pengendalian persediaan pada rantai pasok multi-echelon.

E. Verifikasi Model

Verifikasi model merupakan proses yang bertujuan untuk memastikan bahwa model computer yang dibuat telah sesuai dengan model konseptual yang dibuat. Pada penelitian ini verifikasi model dilakukan dengan menggunakan tiga metode verifikasi model yakni memeriksa kode model, memeriksa tampilan visual model, dan memeriksa output report.

F. Validasi Model

Validasi model merupakan proses yang bertujuan untuk memastikan bahwa model simulasi telah representative dengan sistem yang diuji. Terdapat dua validasi model yang dilakukan yakni uji validitas struktural dan uji validitas perilaku model. Uji validitas struktural merupakan uji yang berfungsi untuk memeriksa kesamaan struktur model dengan struktur sistem yang diamati. Uji perilaku model merupakan proses validasi model simulasi secara black box. Uji ini dilakukan dengan dengan membandingkan output simulasi

dengan output data aktual. Berikut ini merupakan rumus yang digunakan untuk mengetahui error [9].

a. Mean Comparison (E1)

$$E1 = \frac{|\bar{s} - \bar{A}|}{|\bar{A}|} \dots\dots\dots (8)$$

Keterangan:

E1 = Error rate antara data aktual dan data simulasi

\bar{s} = Nilai rata-rata data simulasi

\bar{A} = Nilai rata-rata data aktual

b. Amplitude Variation Comparison (E2)

$$E2 = \frac{|s_s - s_A|}{s_A} \dots\dots\dots (9)$$

Keterangan:

E1 = Error rate antara data aktual dan data simulasi

s_s = Standar deviasi data simulasi

s_A = Standar deviasi data aktual

Model simulasi dianggap valid apabila memiliki nilai E1 ≤ 5% dan nilai E2 ≤ 30%.

G. Tahap Eksperimen

Tahap eksperimen merupakan tahap yang bertujuan untuk memperoleh pemahaman yang lebih baik tentang sistem nyata untuk menemukan solusi dari permasalahan yang sedang dimodelkan. Eksperimen dibangun dengan melakukan perubahan pada variable decision. Terdapat tiga skenario perbaikan kebijakan pengendalian persediaan yang dikembangkan. Skenario 1 merupakan skenario yang menerapkan kebijakan min-max inventory dan skema transshipment. Skenario kedua adalah skenario min-max inventory dan skema transshipment yang terdiri dari tiga subskenario dengan variasi penambahan safety stock yakni skenario 2.1 dengan penambahan safety stock sebesar 10%, skenario 2.2 dengan penambahan safety stock sebesar 20%, skenario 2.3 dengan penambahan safety stock sebesar 30%. Skenario 3 merupakan skenario perbaikan tanpa adanya skema transshipment. Ketiga skenario tersebut dilakukan untuk melihat pengaruhnya terhadap kinerja rantai pasok secara holistik.

H. Tahap Analisa

Analisis hasil meliputi evaluasi performa sistem, pengidentifikasian perbandingan hasil antar skenario dan identifikasi skenario optimal untuk mengelola persediaan dengan efisien. Proses analisis dilakukan terhadap total biaya dan fill rate pada skenario pengendalian persediaan saat ini dan skenario pengendalian persediaan dengan model continuous review sistem min-max (s,S). Selain itu, analisis dilakukan untuk mengetahui informasi skenario mana yang memberikan inerja rantai pasok dari segi responsivitas yang paling baik.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengembangan Model Simulasi

Model rantai pasok yang diamati pada penelitian ini adalah model rantai pasok multi-echelon dimana fasilitas yang terlibat yang diamati untuk pemodelan adalah RDC, DC A, dan DC B. Berdasarkan situasi permasalahan yang

dipaparkan tujuan organisasi yang ingin dicapai oleh PT X adalah mencapai target *fill rate* yang telah ditetapkan sembari meminimalkan total biaya.

Penelitian ini, model simulasi yang akan dikembangkan memiliki tujuan yakni menentukan ukuran pemesanan dimana terdiri dari penentuan jumlah minimum dan maksimum persediaan optimal yang harus disimpan untuk mencegah *overstock* dan *understock* dengan tetap meminimalkan total biaya, menentukan persediaan tambahan di setiap fasilitas rantai pasok sehingga dapat menekan total biaya, dan menemukan strategi pengendalian persediaan yang dapat meningkatkan kinerja rantai pasok yakni mencapai target *fill rate* yang ditetapkan sembari menekan *total cost*.

B. Pengumpulan dan Pengolahan Data

Pengumpulan data yang dilakukan antara lain data identifikasi produk, komponen biaya, jumlah demand DC A, DC B, dan RDC. Data yang telah dikumpulkan akan dilakukan pengolahan data. Pengolahan data pertama yang dilakukan adalah klasifikasi *group product* (Tabel 1).

Setelah dilakukan klasifikasi *group product*, selanjutnya dilakukan perhitungan parameter persediaan meliputi *quantity order*, *safety stock*, *minimum stock* dan *maksimum stock*. Tabel 2 adalah hasil perhitungan parameter persediaan.

C. Pengembangan Model Simulasi

Pengembangan model simulasi meliputi *causal loop diagram* dan *stock and flow diagram*. *Causal loop diagram* dibuat untuk mengetahui hubungan sebab akibat antara variabel yang ditunjukkan dengan tanda polaritas positif dan negatif (Gambar 1).

Stock and flow diagram merupakan perwujudan lebih lanjut dari penyusunan *Causal Loop Diagram* yang telah disusun sebelumnya dimana menggambarkan pengaruh waktu terhadap keterkaitan antar variabel. Pembuatan *stock and flow diagram* dilakukan pada *software PLE 9.4.1*. Perancangan *stock and flow diagram* dibagi menjadi beberapa submodel yakni submodel RDC, submodel DC A, submodel DC B, submodel *total cost*, dan submodel *fill rate*. Submodel DC A, DC B, dan RDC merupakan submodel yang menggambarkan pengelolaan persediaan yang dilakukan oleh DC A, DC B, dan RDC.

Submodel *total cost* merupakan submodel yang menggambarkan biaya masing-masing *echelon* dalam rantai pasok. Submodel *fill rate* menggambarkan tingkat pemenuhan permintaan yang dilakukan masing-masing *echelon*.

D. Verifikasi Model

Verifikasi model simulasi dilakukan dengan menggunakan *software Vensim PLE 9.4.1* dengan melakukan beberapa pengecekan. Verifikasi pertama yaitu memeriksa kode model menggunakan fitur *Check* menggunakan fitur *Check Syntax* pada masing-masing variabel, selain itu dilakukan pengecekan menggunakan fitur *Check Unit*. Verifikasi kedua adalah memeriksa *running model* dan memeriksa struktur model menggunakan fitur *Check Model*. Verifikasi ketiga adalah memeriksa *output model*. Berdasarkan hasil ketiga verifikasi didapatkan hasil tidak ada *error* pada masing-masing verifikasi sehingga model simulasi dapat dikatakan telah sesuai dengan model konseptual.

E. Validasi Model

Validasi model dilakukan untuk memastikan model simulasi telah sesuai dan representatif terhadap model yang diuji. Validasi pertama yang dilakukan adalah uji validitas struktural dimana pengembangan model dilakukan berdasarkan literatur dan diskusi dan *brainstorming* bersama pihak PT X. Validasi kedua adalah uji perilaku model menggunakan validasi *mean comparison* dan *amplitude variation comparison*. Pengujian validasi ini dilakukan pada *output delivery order* dimana dibandingkan hasil *output simulasi* dengan data aktual. Didapatkan hasil bahwa variabel *delivery order* menunjukkan nilai $E1 \leq 5\%$ dan $E2 \leq 30\%$ yang berarti telah memenuhi standar dan dapat dinyatakan bahwa model simulasi valid.

F. Analisis Hasil Simulasi dan Eksperimen

Running model dijalankan untuk mengetahui perilaku variabel dan proyeksi *output* dari sistem amatan. Dilakukan *running* pada *current model* yang merupakan model pengendalian persediaan saat ini yang dilakukan PT X dimana tidak menerapkan *continuous review model* dan tidak terdapat *input safety stock*. Pada *current model*, persediaan hanya cukup untuk memenuhi permintaan yang diharapkan dan tidak mempertimbangkan *buffer* untuk mengantisipasi fluktuasi permintaan. Selanjutnya dilakukan *running model* perbaikan yang diterapkan kebijakan *min-max inventory* dimana terdapat input parameter *safety stock*, *minimum stock*, dan *maksimum stock*.

Berikut ini merupakan perbandingan hasil simulasi model saat ini dan skenario model perbaikan. Berdasarkan Tabel 3 diketahui *total cost supply chain* yang dihasilkan pada *current model* sebesar Rp 272.320.613, sedangkan *total cost supply chain* pada model perbaikan adalah Rp 97.829.489. Dapat diketahui bahwa terdapat penurunan sebesar 64% pada *total cost supply chain* setelah diterapkannya kebijakan pengendalian persediaan *min-max inventory*. Dalam hal *fill rate*, dapat dilihat bahwa *fill rate* yang dihasilkan oleh DC A, DC B, dan RDC setelah menerapkan kebijakan pengendalian persediaan *min-max* menjadi lebih baik dan telah mencapai target yang ditetapkan perusahaan yaitu 95%. Sehingga dapat dikatakan bahwa penerapan kebijakan pengendalian persediaan *min-max inventory* cukup efektif dalam meningkatkan *fill rate* dan menurunkan *total cost supply chain*.

Karena kinerja rantai pasok sangat dipengaruhi oleh hubungan antara berbagai bagian dalam sistem, perubahan di satu titik dapat berdampak pada kinerja keseluruhan. Skenario yang menghasilkan *total cost* rendah pada masing-masing fasilitas belum tentu *memberikan total cost* terendah pada keseluruhan *supply chain*, begitu pula sebaliknya *total cost* tinggi pada masing-masing *echelon* belum tentu akan memberikan hasil *total cost* tertinggi pada keseluruhan *supply chain* pula. Oleh karena itu dilakukan analisis hasil skenario terhadap kinerja rantai pasok secara keseluruhan. Tabel 4 menunjukkan rata-rata hasil *total cost* dan *fill rate* masing-masing skenario.

Berdasarkan Tabel 4 dapat diketahui skenario yang memberikan rata-rata *total cost supply chain* terendah dihasilkan oleh skenario 2.2. Namun dari segi *fill rate* skenario yang memberikan *fill rate* terbaik adalah skenario 2.1. *Trade-off* antara *total cost* dan *fill rate* merupakan hal

umum yang terjadi dalam pengendalian persediaan. Apabila perusahaan menginginkan pencapaian *fill rate* yang tinggi dan menghindari kekurangan *stock* (*lost sales*) maka perusahaan memerlukan persediaan yang lebih besar. Dengan adanya persediaan yang besar ini, perusahaan akan lebih responsif terhadap permintaan dan pemenuhan permintaan akan dilakukan dengan baik. Namun, hal ini akan menyebabkan biaya penyimpanan yang lebih tinggi karena harus menyimpan persediaan yang lebih banyak. Sebaliknya, jika perusahaan ingin mengurangi *total cost*, perusahaan dapat mengurangi tingkat persediaan dan memesan dalam jumlah yang lebih kecil dan lebih sering. Hal ini akan dapat mengurangi biaya penyimpanan, namun berarti *fill rate* mungkin akan terpengaruh karena persediaan tidak selalu tersedia untuk memenuhi permintaan pelanggan.

Pemilihan skenario bergantung pada preferensi dan prioritas perusahaan, ada beberapa faktor yang perlu perusahaan pertimbangkan. PT X yang merupakan perusahaan dengan *fast moving products*, dimana permintaan dan rotasi persediaan tinggi, maka meminimalkan *lost sales cost* menjadi faktor penting yang perlu dipertimbangkan. *Products fast moving* cenderung memiliki tingkat permintaan yang tinggi, sehingga kehilangan penjualan karena *stock* yang tidak mencukupi bisa berdampak besar pada kepuasan pelanggan. Dalam hal ini, preferensi dan fokus utama PT X adalah memastikan ketersediaan produk yang memadai sehingga *fill rate* lebih diutamakan dibanding *total cost supply chain*, oleh karena itu penulis menyarankan skenario 2.1 yakni skenario dengan penambahan *safety stock* sebesar 10% menjadi pilihan yang bisa diberikan perusahaan. Skenario 2.1 yaitu skenario perbaikan dengan penambahan *safety stock* sebesar 10% mampu memberikan rata-rata *fill rate supply chain* terbaik sebesar 97,55% dengan *total cost* sebesar Rp95.730.419.

V. KESIMPULAN/RINGKASAN

Berdasarkan penelitian tugas akhir ini dapat diambil kesimpulan antara lain: (1) Telah dibuat dua model mengenai strategi pengendalian persediaan pada rantai pasok *multi-echelon* untuk *fast moving products* yaitu model konseptual yang digambarkan melalui *rich picture diagram*, *diagram input output*, *influence diagram*, dan *causal loop diagram* serta model simulasi yang digambarkan melalui *stock and flow diagram* yang dijalankan dengan bantuan *software Vensim PLE 9.4.1*. (2) Pada penelitian ini dilakukan eksperimen skenario untuk melihat pengaruhnya terhadap kinerja rantai pasok secara holistik dimana terdapat tiga skenario kebijakan pengendalian persediaan yang

dikembangkan yaitu skenario pertama menerapkan kebijakan *min-max inventory* dengan skema *transshipment*, skenario kedua menerapkan kebijakan *min-max inventory* dan skema *transshipment* dengan peningkatan *safety stock* dimana terdapat tiga subskenario yaitu skenario 2.1 dengan penambahan *safety stock* sebesar 10%, skenario 2.2 dengan penambahan *safety stock* sebesar 20%, dan skenario 2.3 dengan penambahan *safety stock* 30%, skenario ketiga menerapkan *min-max inventory* tanpa skema *transshipment*. (3) Berdasarkan hasil simulasi yang telah dijalankan, skenario 2.2 memberikan hasil *total cost* terendah sebesar Rp95.690.741 disusul dengan skenario 2.1 sebesar Rp95.730.419. Namun pada komponen *lost sales cost*, skenario 2.2 lebih tinggi dibanding dengan *lost sales cost* skenario 2.1 yakni sebesar Rp36.623.685 pada skenario 2.2 dan sebesar Rp35.515.253 pada skenario 2.1. sehingga *fill rate* terbaik dihasilkan oleh skenario 2.1 sebesar 97,55%. PT X sebagai perusahaan *fast moving products* yang memiliki permintaan tinggi dan rotasi persediaan yang cepat maka pemilihan skenario yang tepat adalah untuk memaksimalkan tingkat pemenuhan permintaan dan mengurangi risiko *lost sales*. Sehingga, skenario 2.1 yaitu skenario kebijakan *min-max inventory* dengan penambahan *safety stock* 10% dan skema *transshipment* dapat menjadi pertimbangan untuk diimplementasikan di PT X.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Chapman, A. K. Gatewood, T. K. Arnold, and L. M. Clive, *Introduction to Materials Management*, 9th ed. London: Pearson Education Limited, 2022, ISSN: 9780137565764.
- [2] N. Slack, A. Brandon-Jones, and R. Johnston, *Operations Management*, 10th ed. London: Pearson Education Limited, 2022, ISSN: 9781292408224.
- [3] C. A. Garcia Salcedo, A. Ibeas Hernandez, R. Vilanova, and J. Herrera Cuartas, "Inventory control of supply chains: Mitigating the bullwhip effect by centralized and decentralized Internal Model Control approaches," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 224, no. 2, pp. 261–272, 2013, doi: 10.1016/j.ejor.2012.07.029.
- [4] I. N. Pujawan, *Supply Chain Management*, 1st ed. Surabaya: Guna Widya, 2005, ISSN: 2012305352.
- [5] H. Halbe and J. Je, "Inventory Rebalancing through Lateral Transshipments," Department of Supply Chain Management, Massachusetts Institute of Technology, 2022.
- [6] N. Sbai and A. Berrado, "Simulation-based approach for multi-echelon inventory system selection: Case of distribution systems," *Processes*, vol. 11, no. 3, 2023, doi: 10.3390/pr11030796.
- [7] A. Profita, I. Vanany, and N. Siswanto, "Managing Risk in Supply Chain: A Framework for Supply Chain Risk Mitigation Decision-Making," in *Proceeding of 6th International Conference on Operations and Supply Chain Management*, 2014, pp. 10–12.
- [8] J. W. Forrester, *Principle of Systems*, 2nd ed. United States of America: Wright-Allen Press, Inc, 1968, ISSN: 0915299879.
- [9] Y. Barlas, "Multiple tests for validation of system dynamics type of simulation models," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 42, no. 1, pp. 59–87, 1989, doi: 10.1016/0377-2217(89)90059-3.