

Safety Stock Placement Pada Perusahaan Farmasi Menggunakan Pendekatan *Guaranteed-Service* Dalam Jaringan Fasilitas Produksi

Kumara Pinasthika Dharaka^{1*}, Ega Rizkiyah², Nathania Angella Pranoto¹

¹Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Bina Nusantara, Jakarta 11480, INDONESIA

²Departemen Teknik Sistem dan Industri, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111, INDONESIA.

Article Info

Abstract

Article history:

Received
18 Juli 2023

Accepted
01 Agustus 2023

Keywords:
safety stock,
optimization, supply
chain, guaranteed service

This study aims to understand the supply chain strategy of pharmaceutical companies, logistics drivers (facilities, inventory, and transportation), and cross-functional drivers (information, sources, and prices), as well as the problem of placing safety stock for assembly, using an integer linear approximation program using CPLEX to get the results and perform a sensitivity analysis. In this way, the effect of various parameters on total safety stock and service time can be estimated. Pharmaceutical companies can find strategic ways to align their goals with this method. The company already has an optimal supply chain focused on product quality, short response times, and product availability. In addition, it can minimize the total cost of safety inventory by using a piecewise linearization approach with a total assembly cost of Rp. 6,161,120,000, where safety stock is stored in stages 2-4, 7-14, 16, and 22, where 22 has the highest stage costs. Then a sensitivity analysis is carried out by allowing the parameters to vary, the more segments' total cost becomes stable. Furthermore, the relationship between the factor of safety, storage costs, and standard deviation is linear.

1. PENDAHULUAN

Banyak perusahaan dan rantai pasokan dituntut untuk menawarkan tingkat layanan pelanggan yang tinggi dan beroperasi secara efisien dengan tingkat persediaan yang rendah. Pada saat yang sama, rantai pasokan dihadapkan pada berbagai jenis risiko, seperti ketidakpastian permintaan pelanggan, pasokan, *lead time*, bencana alam serta kesalahan yang dilakukan setiap individu yang terlibat (Tang, 2006). Pertanyaan sentral dalam manajemen rantai pasokan adalah bagaimana melakukan koordinasi pada setiap aktivitas dan inventaris di beberapa tahapan dan lokasi dengan tetap memberikan layanan tingkat tinggi kepada pelanggan akhir. Tahapan individu dalam rantai pasokan sistem serial beroperasi sesuai dengan kebijakan persediaan dasar dengan jaminan layanan, maka strategi *safety stock* yang optimal adalah memusatkan persediaan di beberapa lokasi utama, sehingga bisa secara efektif memisahkan rantai pasokan menjadi segmen mandiri (Simpson, 1958). Setelah strategi *safety stock* yang optimal telah ditentukan, pada setiap segmen rantai pasokan yang terdiri dari serangkaian

tahapan yang berdekatan dapat beroperasi dengan kebijakan persediaan dasar yang sederhana, dengan kebutuhan minimum untuk komunikasi dan koordinasi antara segmen pasokan yang berbeda rantai. Kerja ini untuk manajemen rantai pasokan sebagai model layanan terjamin (Graves *dkk.*, 2008).

Persediaan obat di perusahaan farmasi memiliki peran yang sangat penting karena persediaan obat adalah salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas pelayanan farmasi. Maka dari itu, dibutuhkan pengendalian secara mendalam untuk melindungi persediaan obat-obatan, selain itu informasi mengenai persediaan dapat diketahui dengan pasti. Persediaan pengaman (*Safety Stock*) digunakan untuk mengantisipasi dari risiko kekosongan obat (*stock out*) selama *lead time* atau waktu tunggu pemesanan obat (Baybo *dkk.*, 2022).

Kerangka *Guaranteed-Service* (GS) telah berhasil diterapkan di berbagai industri (Billington *dkk.*, 2004; Graves *dkk.*, 2008; Graves & Willems, 2000) hingga beberapa ekstensi terbaru termasuk pengobatan permintaan non-stasioner (Graves *dkk.*, 2008), perkiraan yang berkembang (Schoenmeyer

*Corresponding author. Kumara Pinasthika Dharaka
Email address: kumara.pinasthika@binus.ac.id

dkk, 2009) dan sumber ganda (Klosterhalfen dkk, 2014). Untuk mendapatkan keunggulan kompetitif, perusahaan berada di bawah tekanan terus-menerus untuk meningkatkan kinerja mereka dengan mengirimkan produk dengan biaya lebih rendah dan layanan pelanggan yang lebih tinggi, dalam hal ini adalah pengiriman tepat waktu dan waktu tunggu. Kinerja perusahaan manufaktur sangat dipengaruhi oleh keputusan operasional yang diperlukan untuk merencanakan dan mengendalikan jaringan produksi atau rantai pasokan yang kompleks (Kunal dan Tarik, 2018). Berbagai keputusan perlu dioptimalkan bersama, antara lain strategis dengan taktis dan lokal dengan global. Dalam penelitian ini mencoba mengintegrasikan penempatan *safety stock* yang strategis di tingkat jaringan dan ukuran lot taktis di tingkat fasilitas. Berkaitan dengan jaringan distribusi, peningkatan ketersediaan produk dapat dilakukan dengan mengadakan penyimpanan di pabrik baik pengiriman langsung, penggabungan transit maupun penjemputan. Biaya transportasi *inbound* menjadi rendah karena jaringan transportasi saat ini yang melalui *distribution center* pusat. Biaya inventaris dan transportasi berkurang, tetapi kompleksitas koordinasi akan meningkat.

Ketika dioptimalkan secara lokal, dihasilkan ukuran lot seimbang antara biaya *setup* dan biaya penyimpanan barang yang masih *work in progress* (Karmarkar, 1987). Namun, ketika penempatan *safety stock* yang strategis dipertimbangkan, ukuran lot perlu mempertimbangkan biaya penyimpanan *safety stock* selain biaya lokal ini. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis nilai pengintegrasian dua keputusan dan faktor-faktor yang mempengaruhi integrasi tersebut, serta memecahkan masalah integrasi untuk meminimalkan biaya produksi dan inventaris di seluruh sistem untuk memenuhi persyaratan tingkat layanan pelanggan eksternal.

Penggunaan jaringan pasokan fasilitas produksi berkapasitas dengan struktur pohon dipertimbangkan. Permintaan terjadi secara kontinyu pada *end-node*, diketahui semua fasilitas secara *realtime*, dan waktu antar kedatangan bersifat independen dan terdistribusi secara identik dengan distribusi umum. Setiap fasilitas diwakili oleh persediaan bahan baku, stasiun kerja yang memproses barang-barang homogen dan persediaan barang jadi. Persediaan barang jadi dikoordinasikan melalui waktu layanan yang dijamin, beroperasi di bawah kebijakan stok dasar tinjauan berkala dengan periode tinjauan umum di antara tahapan. *Safety stock* hanya diadakan di persediaan barang jadi. Kebijakan stok dasar mengontrol pelepasan dari inventaris bahan mentah ke antrean *workstation* ketika permintaan untuk item akhir tiba, permintaan tersebut dikirimkan ke setiap tahap untuk mengesahkan pelepasan suku cadang baru.

Sementara sebagian besar model *Guaranteed Service Approach* (GSA) menganggap simpul dalam jaringan pasokan sebagai "kotak hitam" dengan waktu tunggu eksogen, kami memodelkan efek keputusan operasional pada *net replenishment time* (NRT). Secara khusus, penentu utama NRT di fasilitas antrean adalah kebijakan ukuran lot. Saat ini, penelitian yang menyelidiki hubungan antara kebijakan ukuran lot dan penempatan *safety stock* strategis belum dilakukan secara luas. Selain itu, model ukuran lot ekonomis menyeimbangkan biaya persiapan dan biaya penyimpanan persediaan untuk menentukan ukuran lot yang optimal, sedangkan model ukuran lot dengan antrian meminimalkan rata-rata pada NRT. Dalam penelitian ini mempertimbangkan pengaturan umum *workstation* produksi G/G/1 dan menganalisis tiga permasalahan yaitu biaya pengaturan *batch*, waktu pengaturan *batch*, serta waktu dan biaya pengaturan *batch*. G/G/1 mewakili panjang antrian dalam sistem dengan satu server di mana waktu antar kedatangan memiliki distribusi umum. Barros dan Cortez (2021) memberikan gagasan bahwa batas permintaan ditentukan berdasarkan tingkat layanan yang mencerminkan probabilitas *non-stock-out* selama periode waktu tertentu. Adanya batas-batas permintaan tidak berarti bahwa permintaan tidak pernah dapat melampaui batas-batas ini. Sebaliknya, itu mencerminkan jumlah maksimum permintaan yang dipenuhi oleh *safety stock*. Ketika permintaan melebihi batas, kelebihan permintaan dapat ditangani dengan berbagai tindakan seperti subkontrak, produksi lembur dan/atau pengiriman ekspres. Namun, GSA asli tidak secara eksplisit memodelkan apa yang terjadi dalam kasus permintaan yang berlebihan. Kemudian model GSA sebelumnya sebagian besar mengasumsikan kapasitas tak terhingga dari tahapan produksi atau kapasitas terhingga dengan *lead time* tetap. Dengan memodelkan efek antrian dari ukuran lot, NRT memanjang karena kapasitas.

2. TINJAUAN PUSTAKA

GSA telah diterapkan secara luas untuk mengatasi masalah penempatan stok pengaman di jaringan rantai pasokan. Penelitian GSA berasal dari kerangka kerja yang dikembangkan oleh Simpson Jr (1958) untuk rangkaian rantai pasokan yang beroperasi di bawah kebijakan stok dasar periodik. Simpson memperkenalkan asumsi permintaan wajar maksimum dan waktu layanan tetap. Tahapan dikoordinasikan melalui waktu layanan yang dijamin dan menahan stok untuk memenuhi 100% permintaan terbatas dalam waktu layanan yang dijamin. Graves dan Willems (2000) meresmikan asumsi GSA, dan memperluas pekerjaan sebelumnya untuk memasok rantai dengan struktur *spanning tree*. Mereka mempertimbangkan waktu tunggu deterministik dan eksogen atau waktu

pemrosesan. Mereka menyoroti, bagaimanapun, tidak adanya kendala kapasitas keterbatasan model mereka. Kontribusi penting dari pekerjaan mereka adalah algoritma pemrograman dinamis (DP) pseudo-polinomial yang telah berhasil diimplementasikan dalam pengaturan industri: Eastman Kodak (Graves dan Willems, 2000), Hewlett-Packard (Billington *dkk*, 2004), Intel (Wieland *dkk*, 2012). Algoritme diperluas ke kasus jaringan dengan kelompok kesamaan (Humair dan Willems, 2006) dan jaringan asiklik umum (Humair dan Willems, 2011). Algoritme solusi yang diusulkan dalam makalah ini adalah ekstensi lain yang mengoptimalkan ukuran lot selain waktu layanan.

Hua dan Willems (2016) menggunakan model GSA dalam rantai pasokan serial dua tahap untuk memberikan wawasan analitis tentang kebijakan penempatan persediaan pengaman yang optimal sehubungan dengan biaya rantai pasokan dan waktu tunggu. Daripada mengoptimalkan penempatan stok pengaman, Chen dan Li (2015) menggunakan pendekatan layanan terjamin untuk mengoptimalkan kebijakan inventaris (R,Q) untuk rantai pasokan serial dengan permintaan Poisson dan biaya pesanan tetap.

Asumsi mendasar yang penting dalam model GSA saat ini adalah kapasitas pemrosesan tak terbatas. Graves dan Schoenmeyr (2016) menggabungkan pembatasan kapasitas dengan menyensor kuantitas pesanan dari kebijakan stok dasar ke kapasitas minimum dan pesanan yang dibutuhkan. Mereka memodifikasi algoritma DP dari Graves dan Willems (2000) untuk memperhitungkan batasan kapasitas dan kebijakan pemesanan yang disensor. Perbedaan utama antara Graves dan Schoenmeyr (2016) dengan pekerjaan saat ini adalah perlakuan terhadap kapasitas dan waktu siklus produksi. Sementara yang pertama menganggap kapasitas sebagai kendala keras dan waktu siklus produksi harus tetap dan deterministik, kami memodelkan waktu siklus produksi sebagai jumlah stokastik yang bergantung pada kebijakan ukuran lot, yang kami optimalkan. Hal ini sejalan dengan temuan Karmarkar (1987) yang menjadi tulang punggung penelitian mengenai keputusan *lot sizing* dalam fasilitas yang mengalami antrian.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian ini, pertama-tama kami melihat rantai pasokan pada perusahaan melalui visualisasi terperinci dari kinerja rantai pasokan, faktor rantai pasokan, dan saran untuk perbaikan. Penelitian ini menyimpulkan bahwa pada perusahaan farmasi terdapat kesesuaian pada strategisnya dengan menyelaraskan tujuannya selama proses berlangsung. Perusahaan tersebut sudah memiliki rantai pasokan optimal yang

berfokus terutama pada kualitas produk, waktu respons yang singkat, dan ketersediaan produk. Namun, beberapa kendala memaksa perusahaan untuk mengambil keputusan yang mengakibatkan tingginya stok, transportasi, dan lain-lain. Solusi lain yang mungkin dapat diterapkan setelah verifikasi kelayakan. Setiap solusi memiliki kelebihan dan kekurangan yang harus dipertimbangkan untuk menentukan solusi yang tepat.

Penelitian ini menganalisis stok pengaman atau *safety stock* untuk rantai pasokan manufaktur yang bertujuan untuk menentukan persediaan pengaman yang optimal di semua rantai pasokan yang berbeda untuk meminimalkan biaya persediaan dan memuaskan layanan pelanggan. Penelitian ini menerapkan adanya pendekatan *Guaranteed Service Approach* (GSA). Pendekatan ini mendefinisikan fungsi tujuan (*objective function*) dan beberapa batasan (*constraint*).

Formulasi permasalahan stok pengaman Ruang sampel (sets)

J Ruang sampel dari tahapan = {1,...,22}

Parameter

μ_j	Rata – rata jumlah permintaan tahapan j	($\forall j \in J$)
σ_j	Standar deviasi tahapan j	($\forall j \in J$)
k_j	Faktor keamanan pada tahap j	($\forall j \in J$)
h_j	Biaya penyimpanan unit pada tahapan j	($\forall j \in J$)
L_j	Waktu jeda pada tahapan j	($\forall j \in J$)
c_j^S	Biaya pertumbuhan kumulatif pada tahapan j	($\forall j \in J$)

Variabel keputusan

S_j^{in}	Waktu layanan <i>outbound</i> tahapan j	($\forall j \in J$)
S_j^{out}	Waktu layanan <i>inbound</i> tahapan j	($\forall j \in J$)
NRT_j	Penentuan net waktu <i>replenishment</i> tahapan j	($\forall j \in J$)
$I_j(t)$	Inventory keamanan pada waktu (t) tahapan j	($\forall j \in J$)
B_j	Base stok pada tahapan j	($\forall j \in J$)
$d_j(t)$	Permintaan pada waktu (t) tahapan j	($\forall j \in J$)

Fungsi Objektif

$$Min \sum_{j=1}^J h_j C_j^s k_j \sigma_j \sqrt{S_j^{in} L_j - S_j^{out}} \dots\dots\dots (1)$$

Fungsi objektif sama dengan produk dari fungsi akar kuadrat, biaya kumulatif, konstanta inventaris keselamatan dan standar deviasi harian rata-rata yang dijumlahkan pada setiap tahap j.

Batasan

$$S_j^{in} = \max_{j:(j,j) \in A} \{S_i^{out}\} \quad (\forall j, j' \in J) \dots (2)$$

Tahap j tidak dapat memulai aktivitas pemrosesannya kecuali menerima semua input yang diperlukan. Oleh karena itu, waktu layanan masuk pada tahap j dalam hal waktu layanan keluar untuk pemasoknya.

$$\tau_j = S_j^{in} + L_j \quad (\forall j \in J) \dots (3)$$

Waktu *replenishment* pada tahap j sama dengan waktu servis masuk pada tahap j ditambah waktu tunggu pada tahap j.

$$NRT_j = \tau_j - S_j^{out} \quad (\forall j \in J) \dots (4)$$

Net waktu *replenishment* pada tahap j adalah waktu *replenishment* dikurangi waktu layanan *outbound*.

$$I_j(t) = B_j - \sum_{v=t-L_j-S_j^{in}}^{t-S_j^{out}} d_j(v) \quad (\forall j \in J) \dots (5)$$

Pada periode t, tahap j menyelesaikan ke dalam inventarisnya pesanan *replenishment* yang ditempatkan pada periode $t - L_j - S_j^{in}$. Sejalan dengan itu, pada periode t, tahap j harus melayani pesanan *replenishment*.

μ_j	Rata – rata jumlah permintaan tahapan j	$(\forall j \in J)$
σ_j	Standar deviasi tahapan j	$(\forall j \in J)$
k_j	Faktor keamanan pada tahap j	$(\forall j \in J)$
h_j	Biaya penyimpanan unit pada tahapan j	$(\forall j \in J)$
c_j^S	Biaya pertumbuhan kumulatif pada tahapan j	$(\forall j \in J)$
NPT_j	Jumlah waktu produksi pada tahapan j	$(\forall j \in J)$
M_i	Hasil <i>breakpoint</i> interval i	$(\forall i \in \{1, \dots, 37\})$
f_i^j	Intercept	$(\forall j \in J, \forall i \in I)$
q_i^j	Slope	$(\forall j \in J, \forall i \in I)$
	$= \sqrt{M_i} - q_i^j M_i$	
	$= \frac{\sqrt{M_{i+1}} - \sqrt{M_i}}{M_{i+1} - M_i}$	

Waktu layanan *inbound* pelanggan internal j yang dipasok oleh pemasok eksternal sesuai ke ruang sampel tahapan pendahulu $\forall j \in \{1, \dots, 14\}$

$$S_j^{in}$$

yang dilakukan oleh pelanggannya pada periode $t - S_j^{out}$.

$$B_j \geq \sum_{v=t-L_j-S_j^{in}}^{t-S_j^{out}} d_j(v) \quad (\forall j \in J) \dots (6)$$

Untuk memenuhi jaminan waktu layanan, perlu mengatur stok dasar B_j untuk memastikan bahwa persediaan di tangan $I_j(t)$ selalu non-negatif.

$$B_j = D_j(S_j^{in} + L_j - S_j^{out}) \quad (\forall j \in J) \dots (7)$$

Base stok sama dengan atau lebih tinggi dari permintaan maksimum yang mungkin selama waktu *replenishment*.

$$S_j^{out} \leq S_j^{in} \quad (\forall j', j \in J) \dots (8)$$

$$NRT_j \geq 0 \quad (\forall j \in J) \dots (9)$$

$$B_j \geq 0 \quad (\forall j \in J) \dots (10)$$

$$S_j^{in} \geq 0 \quad (\forall j \in J) \dots (11)$$

$$S_j^{out} \geq 0 \quad (\forall j \in J) \dots (12)$$

Fungsi objektif saat ini tidak dapat diubah menjadi bahasa pemrograman CPLEX karena berurusan dengan formulasi pemrograman non-linear. Dengan demikian, karena CPLEX tidak dapat mengoptimalkan model dengan cembung, linierisasi sepotong-sepotong akar kuadrat dari waktu pengisian bersih diperlukan untuk mengoptimalkan model. Dalam hal ini dilakukan membagi masalah non-linier menjadi beberapa segmen. Semakin banyak segmen yang diimplementasikan, semakin akurat perkiraannya dan memutuskan untuk memilih 36 segmen. Ini dilakukan karena lebih dari 36 segmen hasil yang dikeluarkan menunjukkan angka yang sama hingga 2000 segmen selanjutnya.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode Integer Linear Programming Ruang Sampel (Sets)

- J Ruang sampel dari tahapan = $\{1, \dots, 22\}$
- I Ruang sampel dari segmen = $\{1, \dots, 36\}$
- A Ruang sampel dari aktivitas pendahulu = $\{(15,2), (15,3), (15,4), (16,5), (16,6), (17,8), (17,9), (17,10), (18,16), (18,7), (18,17), (19,11), (19,12), (20,15), (20,18), (20,19), (21,13), (21,14), (22,1), (22,20), (22,21)\}$

Variabel Keputusan

$$v_i^j \in \{0,1\} \quad (\forall j \in J, \forall i \in I)$$

$$u_i^j \quad (\forall j \in J, \forall i \in I)$$

$$S_j^{in} \quad \text{Waktu layanan} \quad (\forall j \in J)$$

outbound tahapan j

$$S_j^{out} \quad \text{Waktu layanan} \quad (\forall j \in J)$$

inbound tahapan j

$$NRT_j \quad \text{Penentuan net} \quad (\forall j \in J)$$

waktu
replenishment
tahapan j

Fungsi Objektif

$$\text{Min} \sum_{j=1}^J [h_j C_j^S k_j \sigma_j \sum_i^I (f_i^j v_i^j + q_i^j u_i^j)] \quad (\forall j \in J) \dots (13)$$

Batasan

$$NRT_j = \sum_{i=1}^I u_i^j \quad (\forall j \in J, \forall i \in I) \dots (14)$$

$$NRT_j = S_j^{in} + NPT_j - S_j^{out} \quad (\forall j \in J) \dots (15)$$

$$S_j^{in} = \max_{j': (j',j) \in A} \{S_i^{out}\} \quad (\forall j \in J) \dots (16)$$

$$S_j^{out} \leq S_j^{in} \quad (\forall j \in J) \dots (17)$$

$$M_{i-1}^j v_i^j \leq u_i^j \leq M_{i-1}^j v_i^j \quad (\forall j \in J, \forall i \in I) \dots (18)$$

$$\sum_{i=1}^I v_i^j \leq 1 \quad (\forall j \in J, \forall i \in I) \dots (19)$$

$$NRT_j \geq 0 \quad (\forall j \in J) \dots (20)$$

$$S_j^{in} \geq 0 \quad (\forall j \in J) \dots (21)$$

$$S_j^{out} \geq 0 \quad (\forall j \in J) \dots (22)$$

$$S_{22}^{out} = 2 \quad \dots (23)$$

$$u_i^j \geq 0 \quad (\forall j \in J, \forall i \in I) \dots (24)$$

Dalam Tabel 1, solusi dari masalah ini dapat dinyatakan, termasuk tahap dengan waktu layanan *inbound*, waktu layanan *outbound*, waktu *replenishment*, unit inventaris pengaman dan biaya stok pengaman.

Tabel 1.
Solusi Permasalahan

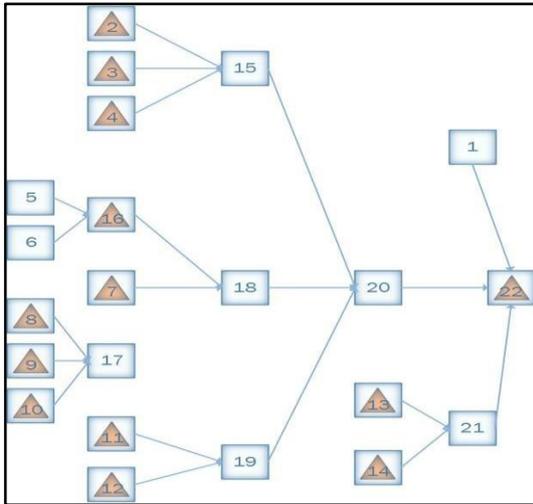
Stage	Inbound Service Time	Outbound Service Time	Net replenishment time	Safety inventory unit	Safety stock costs (Rp)
1	2	12	0	0	0
2	1	4	3	9	18590000
3	0	4	5	11	29790000
4	0	4	4	10	34050000
5	0	19	0	0	0
6	2	17	0	0	0
7	0	6	9	15	33090000
8	3	0	11	16	189050000
9	1	0	10	16	72570000
10	1	0	10	16	7260000
11	0	1	6	12	163190000
12	0	1	11	16	31920000
13	2	12	1	5	85100000000
14	1	12	24	24	65300000
15	4	11	0	0	0
16	19	6	27	27	343230000
17	0	6	0	0	0
18	6	11	0	0	0
19	1	11	0	0	0
20	11	19	0	0	0
21	12	19	0	0	0
22	19	2	21	23	4925550000
Total					6161120000

4.1 Verifikasi dan validasi biaya penempatan stok pengaman

Berdasarkan pada *guaranteed service approach* (GSA), ini berarti bahwa setiap tahap dapat mengutip waktu pengiriman atau layanan yang selalu dapat dipenuhi. Beberapa asumsi dapat dibuat: tidak ada batasan kapasitas, ada periode peninjauan untuk semua tahap dalam rantai pasokan, permintaan tetap dan terbatas, semua input yang diperlukan oleh tahapan tersedia dan setiap tahapan ada waktu tunggu yang termasuk waktu tunggu, waktu produksi dan waktu transportasi. Berdasarkan Gambar 1 yang menerapkan model ini dengan perkiraan linier, bahwa tahap 2-4, 7-14, 16 dan 22 memiliki inventaris keselamatan dengan tahap 22 memiliki biaya tertinggi. Ketika *sub assembly* umum selesai, harga kumulatif produk adalah Rp. 674.940.000. Setelah perakitan utama, biaya kumulatif adalah Rp. 1235.570.000. Setelah menyelesaikan perakitan akhir, total biaya adalah Rp. 6.161.120.000.

Untuk mengurangi total biaya stok keamanan dapat diperoleh dengan mengurangi ketidakpastian permintaan (diwakili oleh σ). Jika standar deviasi permintaan dikurangi dengan faktor

k, maka *safety inventory* yang dibutuhkan juga dikurangi dengan faktor *k*. Opsi ini lebih lanjut dalam analisis sensitivitas karena tujuan masalahnya adalah untuk mengurangi biaya stok sekuritas sebanyak mungkin.

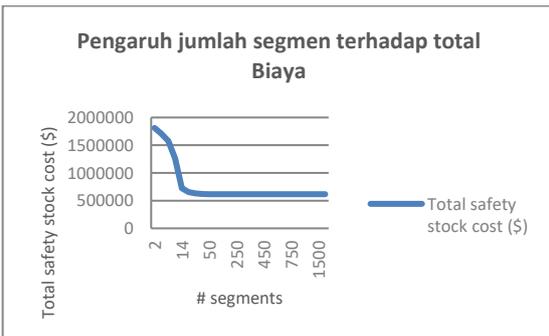


Gambar 1. Representasi rantai pasokan dengan inventaris *safety*

4.2 Analisa Sensitivitas

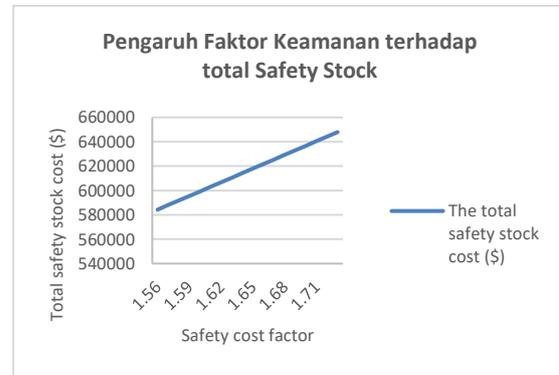
Pengaruh jumlah segmen pada total biaya *safety stock* merupakan hubungan antara jumlah segmen dan total biaya *safety stock*. Secara grafis dapat dilihat di Gambar 2, biaya menurun secara eksponensial saat jumlah segmen bertambah dan tetap sekitar Rp. 6.161.120.000. Ini dapat dijelaskan oleh fakta bahwa pendekatan yang dilakukan adalah pendekatan eksternal. Oleh karena itu, biaya sebenarnya ditaksir terlalu tinggi sehingga semakin sedikit segmen yang digunakan, semakin sedikit sistem yang dapat memperkirakan biaya sebenarnya.

Untuk sampai pada kesimpulan ini jumlah segmen divariasikan antara 1 dan 2000. Ketika jumlah segmen adalah 14, biaya perlahan mulai stabil. Faktor *safety k* = 1,645 diberikan sehingga faktornya bervariasi antara 1,56 dan 1,72.

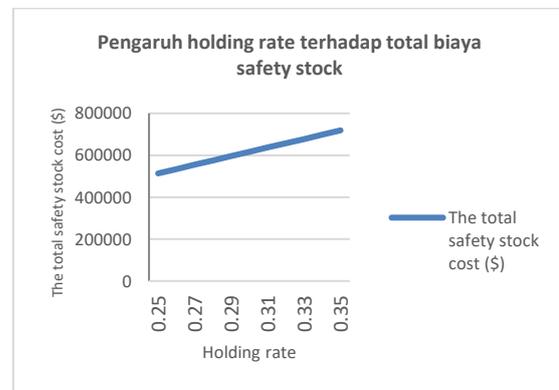


Gambar 2. Sensitivitas jumlah segmen

Dapat dilihat pada Gambar 3 bahwa dengan meningkatnya faktor, total biaya *safety stock* juga meningkat secara proporsional. Oleh karena itu, ada hubungan linier antara faktor dan biaya. Jika menaikkan faktor *safety* sebesar 0,01 setiap kali, harga akan naik sebesar Rp. 37.450.000. Dengan kata lain, jika faktor *safety* dikalikan dengan faktor 1,00641, persediaan pengaman meningkat dengan faktor 1,00641.



Gambar 3. Sensitivitas faktor keamanan



Gambar 4. Sensitivitas *holding rate*

Pengaruh *holding rate* terhadap biaya *safety stock* menunjukkan adanya hubungan linier antara tingkat biaya pergudangan dan total biaya *safety stock*. Pada Gambar 4 menunjukkan bahwa biaya penyimpanan mulai dari nilai 0,25 dan meningkat secara bertahap sebesar 0,01 menjadi nilai 0,35. Ini diperkirakan meningkat rata-rata 3,31%. Artinya, biaya persediaan dikalikan 1,04, sehingga *safety stock* juga dikalikan 1,04. Pengaruh standar deviasi terhadap total biaya *safety stock* menunjukkan perkembangan serupa dengan pengaruh standar deviasi pada total biaya *safety stock*. Jika standar deviasi meningkat pada tingkat yang sama, biaya meningkat dengan faktor yang sama 1,04. Jika waktu layanan *outbound* diubah dari 2 menjadi 0, biaya total keamanan akan meningkat sebesar Rp. 229.220.000. Hanya biaya tahap tahap 22 yang berbeda dari yang lain dan sama dengan kenaikannya, Rp. 229.220.000.

Tabel 2.
Total Safety Stock

# segments	Total safety stock cost
2	1811690000
3	17114790000
5	15767490000
10	12574460000
14	7215230000
16	6555170000
20	6293210000
25	6190970000
50	6161120000
100	6161120000
150	6161120000
200	6161120000
250	6161120000
300	6161120000
350	6161120000
400	6161120000
450	6161120000
500	6161120000
600	6161120000
700	6161120000
750	6161120000
800	6161120000
1000	6161120000
1250	6161120000
1500	6161120000
2000	6161120000

Jika semua parameter diperbaiki, maka akan menimbulkan meningkatnya atau menurunnya satu per satu waktu layanan *inbound* pada setiap tahap membuat peningkatan (atau penurunan) biaya persediaan total pengaman. Pada Tabel 2 memperlihatkan bahwa biaya persediaan pengaman meningkat secara bertahap yang diperkirakan sebagai kenaikan rata-rata sebesar 3,31%. Dengan kata lain, dengan adanya biaya penyimpanan yang dikalikan dengan faktor 1,04, *safety stock* juga meningkat dengan faktor 1,04. Sesuai dengan Sellitto (2018) yang meneliti dalam beberapa kasus khususnya perusahaan kemitraan jangka panjang terkait dengan harga yang lebih rendah dan peningkatan tingkat *safety stock* akibatnya membuat biaya persediaan juga meningkat.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan total biaya *safety stock* melalui linearisasi parsial diperoleh total biaya perakitan sebesar Rp. 6.161.120.000, dengan *safety share* diadakan di level 2-4, 7-14, 16 dan 22, dengan level 22 menjadi biaya tertinggi. Setelah itu, melakukan analisis sensitivitas yang memungkinkan parameter dapat divariasikan. Penelitian ini menyimpulkan bahwa total biaya akan stabil saat lebih banyak segmen. Selain itu,

hubungan antara faktor keamanan, biaya penyimpanan dan standar deviasi adalah linier. Dalam hal waktu pemeliharaan, pengaturan pemeliharaan ke 0 meningkatkan biaya keamanan secara keseluruhan. Di sisi lain mengurangi waktu layanan *inbound* dapat mengurangi biaya keamanan.

Saat ini, waktu tunggu dan biaya persediaan terkait pengiriman bahan baku cukup tinggi. Hal ini disebabkan oleh jarak, waktu untuk melakukan rilis kualitas, karakter musiman dari bahan baku dan tidak adanya kesamaan komponen. Mengurangi *lead time*, bukanlah tugas yang mudah karena bahan mentah dipanen di area kritis di seluruh dunia. Salah satu solusi yang mungkin adalah meningkatkan koordinasi dan berbagi informasi dengan pemasok. Selain itu, mengurangi jarak antara pemasok dan gudang dengan mencari pemasok yang lebih dekat dapat mengurangi waktu tunggu. Dengan cara ini, transportasi yang lebih cepat dapat disediakan. Berkaitan dengan jaringan distribusi, peningkatan ketersediaan produk dapat dilakukan dengan mengadakan penyimpanan di pabrik baik pengiriman langsung, penggabungan transit maupun penjemputan.

Penempatan stok pengaman strategis dan keputusan ukuran lot taktis dalam jaringan fasilitas produksi berkapasitas dihubungkan melalui NRT. Penelitian ini menganalisis nilai dengan mengintegrasikan dua keputusan dan faktor-faktor yang mempengaruhi integrasi. Dengan mengadopsi GSA dan memformulasikan masalah terintegrasi dengan tujuan meminimalkan biaya produksi dan inventaris di seluruh sistem yang tunduk pada pemenuhan persyaratan tingkat layanan tertentu dari pelanggan eksternal. Tahap produksi memproses barang-barang yang homogen dan mengutip *lead time* waktu tunggu yang meningkatkan NRT rata-rata dengan waktu keamanan konstan untuk mengimbangi variabilitas NRT.

Namun, seperti yang disebutkan sebelumnya, hal ini meningkatkan waktu respons secara signifikan. Biaya transportasi tinggi karena sistem distribusi saat ini. Biaya tersebut paling baik dapat diturunkan dengan jaringan “penyimpanan produsen dengan pengambilan” yang juga berlaku untuk barang bernilai tinggi. Jaringan tersebut tidak nyaman untuk produk yang sangat diminati dan memiliki respons rendah. Biaya inventaris dan transportasi berkurang, tetapi kompleksitas koordinasi akan meningkat. Perusahaan juga dapat menerapkan kesamaan produk untuk mengurangi tingkat persediaan dan meningkatkan daya tanggap.

Model saat ini dapat diperluas dengan melonggarkan asumsi tertentu, misalnya pada waktu tunggu atau permintaan. Akan menarik untuk mempertimbangkan kasus ketika satu penelitian

mengadopsi model GSA, sedangkan yang penelitian yang lain menggunakan model yang berbeda seperti model layanan stokastik.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Baros, J., Cortez, P., Carvalho, M., S. (2021). A systematic literature review about dimensioning safety stock under uncertainties and risks in the procurement process. *Operations Research Perspectives*. Vol 8. 100192:1-25.
2. Baybo, M. P., Lolo, W. A., Jayanti, M. (2022). Analisis Pengendalian Persediaan Obat di Puskesmas Telling Atas. *Pharmacy Medical Journal*. 5(1): 7-13.
3. Billington, C., Callioni, G., Crane, B., Ruark, J. D., Rapp, J. U., Willems, S. P., White, T., (2004). Accelerating the Profitability of Hewlett-Packard's Supply Chains. *Interfaces*. 34(1): 59-72.
4. Chen, H., Li, P., (2015). Optimization of (R, Q) policies for serial inventory systems using the guaranteed service approach. *Journal of Computer Industrial Engineering*. 80, 261-273.
5. Graves, S. C., & Willems, S. P. (2000). Optimizing Strategic Safety Stock Placement in Supply Chains. *Journal of Manufacturing Service Operations Management*. 2(1):68-83.
6. Graves, S. C., Willems, S. P., Graves, S. C., & Willems, S. P. (2008). Strategic Inventory Placement in Supply Chains: Nonstationary Demand Strategic Inventory Placement in Supply Chains: Nonstationary Demand. *Journal of Manufacturing Service Operations Management*, 10(2): 278-287.
7. Graves, S.C., Schoenmeyrm T., (2016). Strategic safety-stock placement in supply chains with capacity constraints. *Manufacturing Service Operations Management*. 18 (3): 445-460.
8. Hua, N.G., Willems, S.P., (2016). Analytical insights into two-stage serial line supply chain safety stock. *International Journal Production Economy*, 181: 107-112.
9. Humair, S., Willems, S.P., (2011). Technical note-optimizing strategic safety stock placement in general acyclic networks. *Journal of Operation Research*. 59 (3), 781 - 787.
10. Karmarkar, U.S., (1987). Lot sizes, lead times and in-process inventories. *Journal of Management Science*. 33 (3): 409-418.
11. Klosterhalfen, S. T., Minner, S., Willems, S. P., (2014). Strategic Safety Stock Placement in Supply Networks with Static Dual Supply Strategic Safety Stock Placement in Supply Networks with Static Dual Supply. *Journal of Manufacturing Service Operations Management*. 16(2): 204-219.
12. Kunal K., Tarik Aouam. (2018). Integrated lot sizing and safety stock placement in a network of production facilities. *International Journal of Production Economics*. 195, 74-95.
13. Sellitto, MA. (2018). Lead-time, inventory, and safety stock calculation in job-shop manufacturing. *Acta polytechnica Journal*. 58(6):395-401.
14. Schoenmeyr, T., Graves, S. C., Schoenmeyr, T., & Graves, S. C. (2009). Strategic Safety Stocks in Supply Chains with Evolving Forecasts Strategic Safety Stocks in Supply Chains with Evolving Forecasts. *Journal of Manufacturing Service Operations Management*. 11(4): 657-673.
15. Schoenmeyr, T., Graves, S.C., (2009). Strategic safety stocks in supply chains with evolving forecasts. *Manufacturing Service Opererations Management*. 11(4): 657-673.
16. Simpson Jr., KF., (1958). In-process inventories. *Operation Research*. 6 (6), 863-873.
17. Tang, C. S. (2006). Perspectives in supply chain risk management. *International Journal Production Economics*. 103, 451-488.
18. Wieland H., Polese F., Vargo SL., (2012). Toward a Service Ecosystems Perspective on Value Creation. *International Journal of Service Science*. 3(3):2-25.