

SIMULASI WAKTU TUNGGU DAN BIAYA RANTAI PASOK SEMEN BERBASIS AGEN MENGGUNAKAN SOFTWARE ANYLOGIC

Jati Utomo Dwi Hatmoko*, Andreas Maruli Tua Nababan, Mayang Dhisyacitra, Frida Kistiani

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

Abstrak

Kendala umum pada pengadaan material konstruksi adalah keterlambatan pengiriman material akibat ketersediaan stok. Penerapan manajemen rantai pasok yang efektif mampu mencegah terjadinya keterlambatan pengiriman material. Maksud dari penelitian ini adalah untuk membangun model simulasi manajemen rantai pasok berbasis agen dalam penyediaan material semen. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan distribusi semen dari factory, wholesaler, hingga retailer di Jawa Tengah, mengestimasi rata-rata waktu tunggu customer, mengkalkulasi biaya harian yang dikeluarkan oleh masing-masing agen (factory, wholesaler, dan retailer), serta menentukan batas-batas persediaan stok yang optimal. Simulasi rantai pasok dilakukan berbasis agen dengan menggunakan software Anylogic. Input data berupa biaya-biaya, stok, serta probabilitas permintaan material diperoleh langsung dari masing-masing agen yang ditinjau (1 factory, 1 wholesaler, 30 retailer). Hasil simulasi menunjukkan bahwa durasi waktu tunggu customer yang paling sering terjadi berkisar antara 0-0,05 hari dengan probabilitas sebesar 69,30%. Estimasi biaya rata-rata harian yang dibutuhkan retailer adalah sebesar Rp.600.359,45, sedangkan wholesaler adalah Rp.1.071.811,06, dan untuk factory adalah Rp.38.630.071,96. Hasil optimasi menunjukkan nilai-nilai batas stok terbaru untuk masing-masing agen (stok minimum, target stok), sebagai berikut: factory (1103, 2206); wholesaler (1005, 2000); retailer (1000, 2011). Hasil penelitian ini bermanfaat bagi masing-masing agen sebagai acuan dalam menentukan batas-batas stok dan memprediksi rata-rata biaya harian.

Kata Kunci: simulasi berbasis agen; rantai pasok konstruksi; waktu tunggu; semen; Anylogic

Abstract

[Agent-based Simulation of Supply Chain Lead Times and Costs of Cement Using Anylogic Software] One of common obstacles in the procurement of construction materials is delay of material delivery due to stock availability. The implementation of effective supply chain management can prevent delays of material delivery. This research aims to build an agent-based simulation model of supply chain management of cement. The objectives of this research are to map the cement distribution from factory, wholesaler, and retailer in Central Java, to estimate the average waiting time of customers, daily costs incurred by each agent (factory, wholesaler, and retailer), and to determine the limits of optimum inventory. The agent-based supply chain simulation is carried out using Anylogic software. Input data in the form of costs, stock, and probability of material demand are obtained directly from each agent under observation (1 factory, 1 wholesaler, 30 retailers). The simulation results show that the most frequent customer waiting time equals to 0 - 0.05 days with a probability of 69.30%. The estimated daily average cost required for retailer is Rp.600.359,45, while for wholesaler is Rp.1,071,811.06, and for factory is Rp.38,630,071.96. The optimization results show the latest stock limit values for each agent (minimum stock, target stock), as follows: factory (1103, 2206); wholesaler (1005, 2000); retailer (1000, 2011). These findings are useful for agents as a reference in determining stock limits and predicting the daily average costs.

Keywords: agent-based simulation; supply chain construction; waiting time; cement; Anylogic.

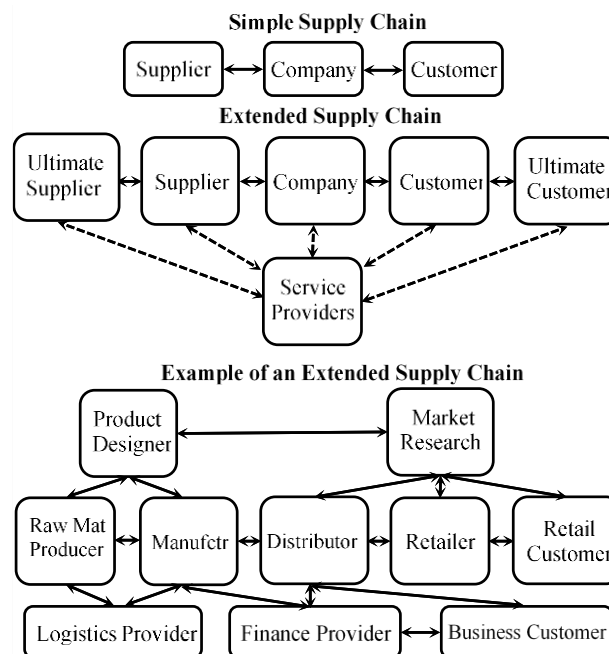
1. Pendahuluan

Dalam strategi pembangunan nasional, industri semen mendapat prioritas tinggi untuk terus dikembangkan terkait dengan pembangunan infrastruktur di berbagai wilayah dikarenakan semen

merupakan salah satu material utama. Dalam proses pengadaan material konstruksi pembangunan infrastruktur terdapat waktu tunggu pemesanan, yang dipengaruhi oleh ketersediaan stok dan jarak antara pelanggan dengan pemasok material. Semakin jauh jaraknya, maka waktu tunggu akan lebih lama dan biaya yang dibutuhkan semakin besar. Waktu tunggu yang terlalu lama akan berpotensi keterlambatan, di

*Penulis Korespondensi.

E-mail: jati.hatmoko@ft.undip.ac.id



Gambar 1. Contoh Struktur Rantai Pasok (Hugos & Wiley, 2018)

mana keterlambatan ini merupakan permasalahan umum yang terjadi pada suatu proyek dan dapat merugikan bagi banyak pihak (Hatmoko & Kistiani, 2017).

Untuk mengurangi potensi keterlambatan, industri konstruksi mengadopsi konsep rantai pasok untuk mencapai efisiensi mutu, waktu, dan biaya yang pada akhirnya dapat meningkatkan produktivitas dalam pelaksanaan pekerjaan konstruksi (Nurwega & Meddeppungeng, 2014). Pengelolaan rantai pasok yang efektif mempunyai peran utama dalam mencegah terjadinya keterlambatan pengiriman material serta pemborosan biaya yang dikeluarkan oleh masing-masing pelaku rantai pasok. Efektivitas rantai pasok diukur dengan memenuhi perkiraan kebutuhan pelanggan dan efisiensinya diukur dengan membandingkan input dan output (Zokaei & Simons, 2006).

Penerapan manajemen rantai pasok dapat membantu mengatasi ketidaksesuaian jumlah *supply* dari *factory*, *wholesaler*, *retailer* dan *demand* dari pelanggan. Manajemen rantai pasok dapat memperkirakan permintaan yang tepat kemudian memperhitungkan jumlah bahan baku yang diperlukan *factory* untuk memproduksi permintaan tersebut. Namun sampai sejauh ini belum dijumpai literatur penelitian terdahulu yang mensimulasikan rantai pasok semen dalam konteks industri konstruksi yang dapat memberikan gambaran secara detail aspek biaya dan waktu tunggu dari pabrik, distributor, sampai *retailer*. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian untuk mengisi gap tersebut dengan menganalisis efektivitas dan efisiensi dalam manajemen rantai pasok semen melalui simulasi *inventory* pada rantai pasok untuk mencapai batas persediaan material semen yang optimal.

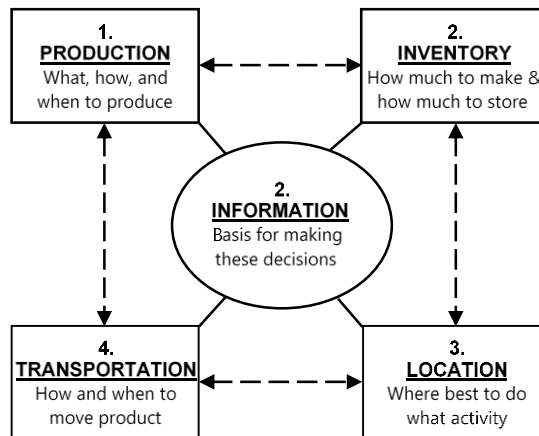
Maksud dari penelitian ini yaitu membangun model simulasi manajemen rantai pasok berbasis agen dalam penyediaan material semen menggunakan *Software Anylogic*. Sedangkan tujuan yang ingin dicapai adalah (1) memetakan distribusi semen dari *factory*, *wholesaler*, hingga *retailer* di Jawa Tengah (2) mengestimasi rata-rata waktu tunggu *customer* dalam mendapatkan material semen yang dipesan (3) mengkalkulasi biaya rata-rata harian pada *factory*, *wholesaler*, dan *retailer*. (4) mengoptimasi nilai-nilai batas persediaan material semen (*s,S*) untuk menghasilkan harga terendah dan waktu tunggu paling singkat.

Manajemen Rantai Pasok

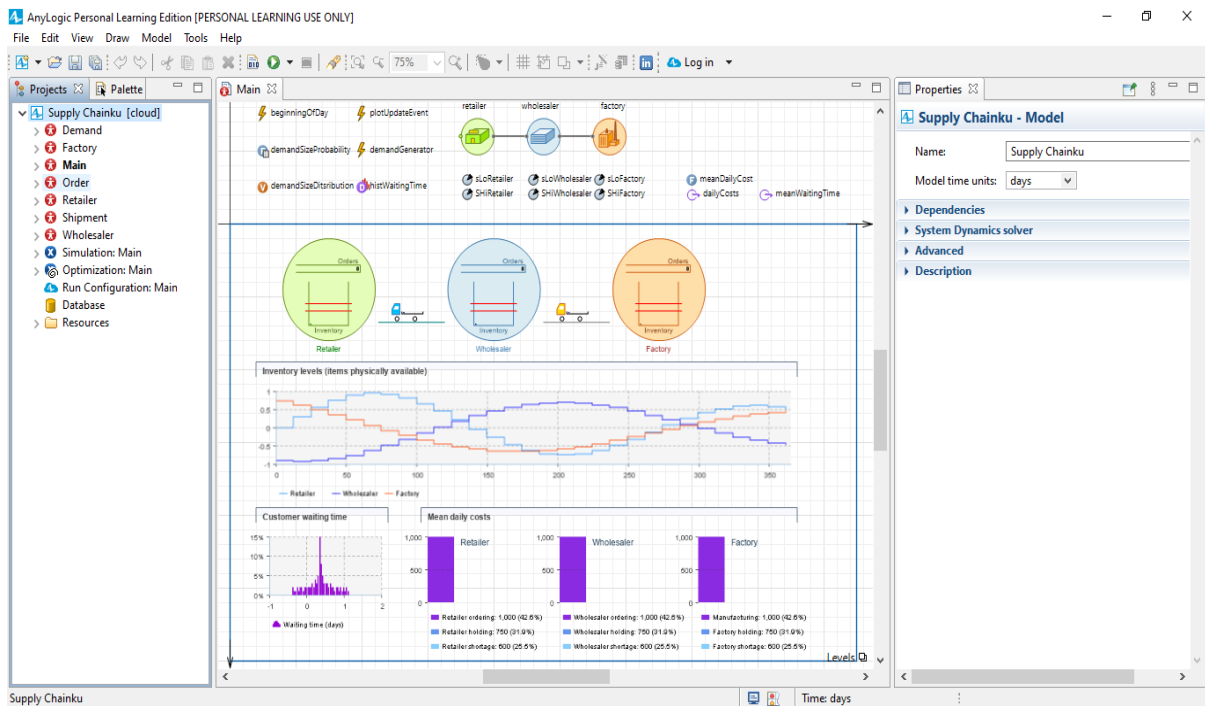
Rantai pasok merupakan sistem perencanaan untuk menghasilkan barang dan jasa secara serempak, baik hulu maupun hilir, antara pemasok dan pelanggan (Katiyar et al., 2018). Manajemen rantai pasok merupakan aplikasi terpadu yang memberikan dukungan dalam hal pengadaan barang dan jasa bagi perusahaan sekaligus mengelola hubungan antar mitra untuk menjaga tingkat kesediaan produk dan jasa yang dibutuhkan secara optimal (Mangkunegara, 2016).

Konsep Manajemen Rantai Pasok sering disamakan dengan konsep logistik. Konsep logistik biasanya mengacu pada aktivitas yang terjadi dalam batas-batas organisasi tunggal, sedangkan manajemen rantai pasok mencakup semua logistik dan juga aktivitas seperti pemasaran, pengembangan produk baru, keuangan, dan layanan pelanggan (Hugos & Wiley, 2018). Contoh struktur rantai pasok dapat dilihat pada **Gambar 1**. Ada 5 faktor yang mempengaruhi perusahaan untuk membuat keputusan yang akan menentukan kapabilitas rantai pasok mereka: produksi; persediaan; lokasi; transportasi; dan

THE MAJOR SUPPLY CHAIN DRIVERS



Gambar 2. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Sistem Rantai Pasok (Hugos & Wiley, 2018)



Gambar 3. Layar Kerja/ Workspace Supply Chain pada Software Anylogic

informasi, seperti pada Gambar 2. Manajemen rantai pasok yang efektif membutuhkan pemahaman yang baik untuk setiap faktor tersebut dan cara operasinya.

Waktu Tunggu

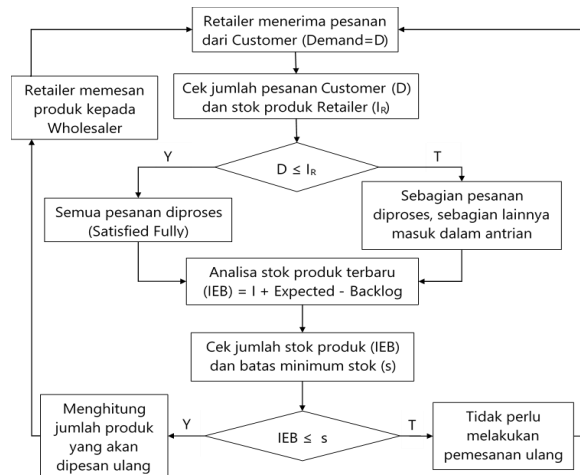
Dalam melakukan pengadaan material konstruksi, kendala yang sering terjadi yaitu terdapat selang waktu menunggu akibat material yang dipesan *customer* belum tiba. Waktu menunggu pesanan adalah tenggang waktu sejak pesanan dilakukan sampai dengan saat pesanan tersebut masuk ke gudang pelanggan. Waktu tunggu material konstruksi dapat dipengaruhi oleh jarak antara pelanggan yang membutuhkan material dengan pemasok material. Semakin jauh jaraknya, maka waktu tunggu akan relatif lebih lama (Mudita et al., 2016).

Simulasi Rantai Pasok

Simulasi adalah perancangan suatu model dari sistem sebenarnya dan melakukan percobaan dengan model tersebut dengan tujuan menganalisis perilaku sistem atau mengevaluasi strategi untuk pengoperasian sistem (Tanjung et al., 2017). Pada penelitian ini digunakan metode *Agent Based Simulation (ABM)* dalam menjalankan *software Anylogic*. ABM merupakan konsep simulasi yang menggunakan agen dan interaksinya dalam memunculkan fenomena atau perilaku baru (Bata, 2012). *Software AnyLogic* merupakan salah satu *software* yang membantu proses memodelkan lingkungan yang kompleks, seperti rantai pasok dan manufaktur, kesehatan, lalu lintas jalan, dan lain-lain. Layar kerja *software Anylogic* pada penelitian ini tertera pada Gambar 3, memiliki 3 bagian penting: *project view*, *graphical editor*, dan *properties view*.



Gambar 4. Simulasi Rantai Pasok



Gambar 5. Flowchart Pemesanan Barang dari Customer ke Retailer

Dalam penelitian ini, simulasi rantai pasok dilakukan dengan kombinasi beberapa komponen yang mempunyai hubungan erat seperti pada Gambar 4, yaitu instansi yang memiliki 4 fungsi yang berbeda: sebagai produsen (*factory*), distributor (*wholesaler*), pengecer (*retailer*), dan pelanggan (*customer*) (Indrajit & Djokopranoto, 2002).

Manajemen Persediaan dalam Industri Konstruksi

Persediaan diartikan sebagai barang-barang yang disimpan untuk digunakan pada masa yang akan datang (Ristono, 2013). Tujuan manajemen persediaan adalah menentukan keseimbangan antara investasi persediaan dan pelayanan pelanggan. Sebuah strategi berbiaya rendah tidak akan tercapai tanpa manajemen persediaan yang baik (Heizer & Render, 2015).

Pengendalian persediaan adalah aktivitas mempertahankan jumlah persediaan yang optimal. Pengendalian persediaan digunakan untuk menentukan besarnya persediaan minimum, pesanan standar, titik pemesanan kembali, dan besarnya persediaan maksimum (Martono, 2015):

1. Persediaan minimum (s) merupakan batas jumlah persediaan yang paling rendah atau kecil yang harus ada untuk suatu jenis bahan atau barang.
2. Pesanan standar adalah banyaknya bahan yang dipesan dengan jumlah tetap untuk periode tertentu.
3. Tingkat pesanan kembali (*reorder point*) adalah suatu batas dari jumlah persediaan yang ada pada saat di mana pemesanan harus diadakan kembali.
4. Persediaan maksimum (S) merupakan batas jumlah persediaan yang paling besar (tertinggi) yang sebaiknya dapat diadakan oleh perusahaan.

Salah satu metode manajemen persediaan adalah metode *continuous review*, yaitu mengatur tingkat persediaan dengan melakukan pemesanan kembali ketika persediaan mencapai titik *reorder point* atau di bawahnya dan dilakukan secara terus-menerus (Verawaty et al., 2015). Besarnya pesanan selalu tetap

sedangkan interval pesannya fluktuatif (Chopra & Meindl, 2013). Terdapat 2 jenis metode *continuous review* (Silver et al., 1998):

- a. Sistem *Continuous Review* (s, Q), dilakukan pemesanan sebesar jumlah pemesanan (Q) ketika persediaan berada pada titik *reorder point* atau dibawahnya.
- b. Sistem *Continuous Review* (s, S), dilakukan pemesanan sampai tingkat persediaan maksimum (S) ketika persediaan berada pada titik *reorder point* atau dibawahnya, dimana $S = s + Q$.

2. Metode Penelitian

Untuk mensimulasikan waktu tunggu dan biaya rantai pasok berbasis agen dimulai dengan tinjauan pustaka dan pengumpulan data sekaligus menetapkan data yang akan dibutuhkan sebagai *input* dalam *software*. Data-data terkait persediaan serta biaya diperoleh dari pelaku rantai pasok material semen meliputi *factory*, *wholesaler*, dan *retailer*. Data-data tersebut antara lain yaitu *order cost*, *holding cost*, *shortage cost*, stok minimum, target stok, *inventory*, dan *demand size probability*.

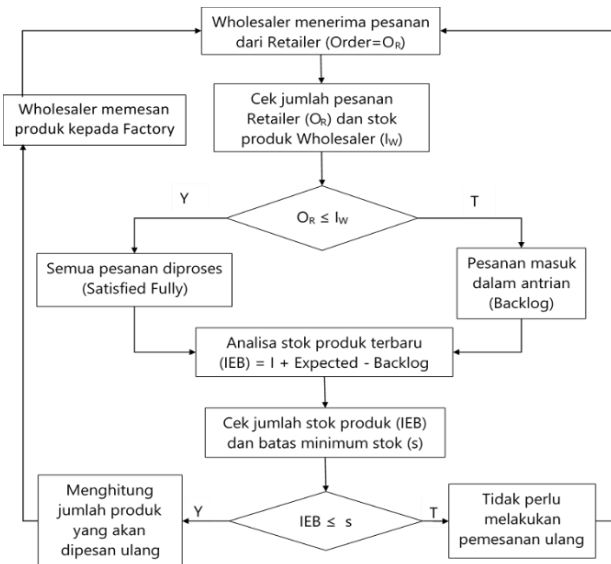
Beberapa asumsi ditetapkan dalam penelitian ini, meliputi: sistem antrian, jenis distribusi, kapasitas produksi, *re-order point*, serta *delivery time*. Setelah keseluruhan data *input* sudah didapatkan kemudian dilakukan tahap simulasi rantai pasok menggunakan *software Anylogic*. Hasil simulasi meliputi rata-rata waktu tunggu *customer*, biaya-biaya agen rantai pasok, serta optimasi nilai-nilai batas persediaan material.

3. Hasil dan Analisa Data

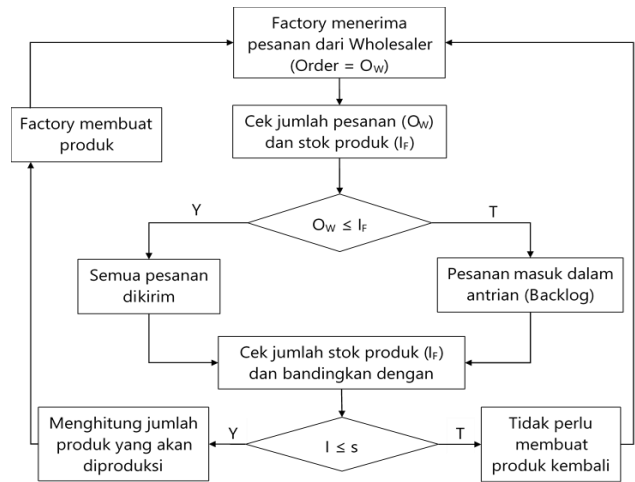
Analisa data dilakukan untuk mendapatkan data yang dibutuhkan sebagai *input* pada *software Anylogic*.

Alur Proses Simulasi Rantai Pasok Semen

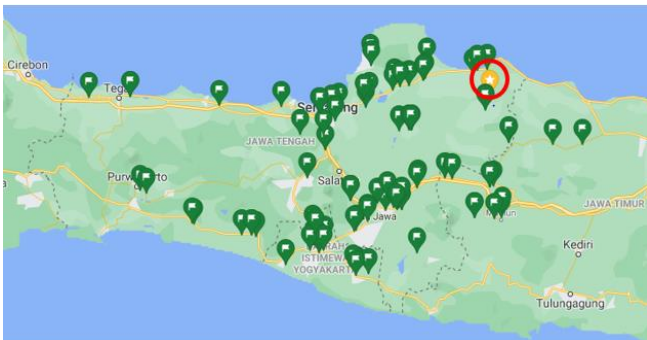
Alur proses pemesanan tertera pada Gambar 5, 6, dan 7.



Gambar 6. Flowchart Pemesanan Barang dari Retailer ke Wholesaler



Gambar 7. Flowchart Pemesanan Barang dari Wholesaler ke Factory



Keterangan

- ★ = Pabrik/Factory (PT. F)
- = Distributor/Wholesaler (Jumlah = 126)

Gambar 8. Pemetaan Factory dan Wholesaler

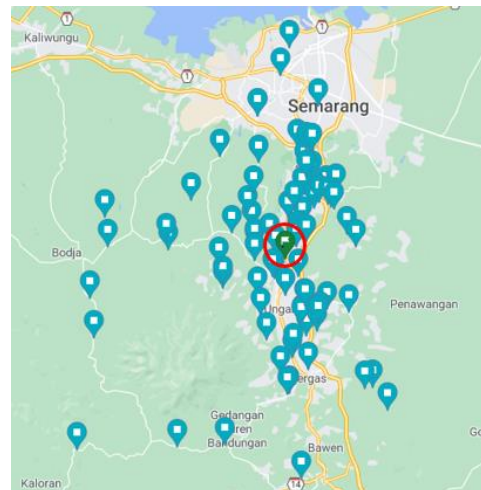
Pemetaan Lokasi Agen Rantai Pasok Semen

Pemetaan meliputi 1 factory, 126 wholesaler, dan 115 retailer. Berikut pada Gambar 8 dan 9 adalah pemetaan lokasi yang telah dilakukan. Factory yang ditinjau melayani 126 wholesaler yang tersebar di Jawa Tengah, DIY, dan Jawa Timur.

Asumsi-asumsi dalam Menjalankan Simulasi

Beberapa asumsi ditetapkan untuk menjalankan simulasi agar mendapatkan hasil yang relevan. Asumsi-asumsi tersebut adalah sebagai berikut:

- a. Sistem antrian menggunakan aturan FIFO (First In First Out)
- b. Jenis distribusi pada demand size probability dibangun dari data historis sesuai data lapangan, diolah menggunakan distribusi probabilitas variabel acak diskrit.



Keterangan

- = Distributor/Wholesaler (PT. D)
- ≡ = Pengecer/Retailer (Jumlah = 115)

Gambar 9. Pemetaan Wholesaler dan Retailer

- c. Kapasitas produksi pabrik diasumsikan dapat memproduksi 6.250 zak semen tiap jam.
- d. Sistem pemesanan kembali (re-order point) dilakukan berdasarkan stok minimum bukan berdasarkan pemesanan harian.
- e. Delivery time dipengaruhi perbedaan lokasi agen. Dari pabrik ke distributor ditetapkan sebesar 9-12 jam tiap pesanan. Dari distributor ke pengecer ditetapkan sebesar 1,2-2,4 jam tiap pesanan.

Factory

a. Manufacturing Cost Factory

Manufacturing cost atau biaya produksi adalah jumlah biaya dari semua sumber daya yang diperlukan dalam proses pembuatan suatu produk (Surjadi, 2013). Biaya yang dibutuhkan adalah sebesar **Rp25.135,76/ zak**.

Tabel 1. Rata-Rata Pemesanan PT. D

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des	Total
Kumulatif (ton)	2.080	2.336	2.208	2.240	1.120	2.336	2.880	2.336	2.872	3.072	2.016	2.624	2.8120

$$\text{Rata-rata Pemesanan } \bar{X} = \frac{28120}{12} = 2343 \text{ ton}$$

Tabel 2. Rata-Rata Pemesanan Bulanan Setiap *Wholesaler*

	Area 1 Jateng	Area 2 Jateng	Area 3 Jateng	Area 4 Jateng	Area 5 Jateng	Area 6 Jateng	Area 3 Jatim	Area 5 Jatim	Total
Jumlah Wholesaler Pemesanan Bulanan (ton)	21	23	7	31	18	11	3	12	126
	22.230	39.849	949	37.380	17.363	2.169	1.530	7.117	128.587

$$\text{Rata-rata Pemesanan Bulanan tiap Wholesaler } \bar{X} = \frac{128587}{126} = 1021 \text{ ton}$$

Tabel 3. Rata-Rata Permintaan *Retailer*

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des	Total
Kumulatif (zak)	52.306	46.926	50.933	54.955	33.420	57.487	60.440	61.763	76.398	66.359	55.854	54.007	67.0848

$$\text{Rata-rata Permintaan } \bar{X} = \frac{670848}{366} = 1833 \text{ zak}$$

b. Holding Cost Factory

Holding cost adalah biaya yang timbul dalam usaha menyimpan dan mengamankan persediaan dari kerusakan, keusangan, atau kehilangan (Tampubolon, 2014). Biaya yang dibutuhkan adalah sebesar **Rp 262,88/ zak**.

c. Target Stok Factory

Dalam penelitian ini, PT. F menentukan target stok dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} &\text{Target stok (S)} \\ &= \text{stok minimum (s)} + \text{order quantity (q)} \\ &= (30\% \times \text{kapasitas gudang} + \text{rata-rata} \\ &\quad \text{permintaan wholesaler}) / \text{jumlah seluruh} \\ &\quad \text{wholesaler} \\ &= (30\% \times 20.000 \text{ ton} \times 25 \text{ (konversi ke zak)} + \\ &\quad 2.395) / 126 \\ &= \mathbf{2.027 \text{ zak semen}} \end{aligned}$$

d. Inventory Factory

Data *inventory factory* diambil dari sisa stok semen di gudang PT. F tanggal 31 Desember 2020 yaitu 14.881 ton atau 372.025 zak semen dan dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} &\text{Inventory Factory (I)} \\ &= \text{Sisa stok semen factory} / \text{Jumlah wholesaler} \\ &= 372.025 / 126 \\ &= \mathbf{2.953 \text{ zak semen}} \end{aligned}$$

Wholesaler

a. Order Cost Wholesaler

Order cost adalah biaya-biaya yang timbul selama proses pemesanan sampai barang tersebut dapat dikirim oleh pemasok (Tampubolon, 2014). *Order cost wholesaler* sebesar **Rp 21,82/ zak**.

b. Holding Cost Wholesaler

Diperlukan biaya sewa gudang dan *forklift* beserta operatornya sebesar **Rp 417,63/ zak**.

c. Inventory Wholesaler

Data *inventory wholesaler* diambil dari sisa stok semen di gudang PT. D per tanggal 31 Desember 2020 yaitu **3.200 zak semen**.

d. Target Stok Wholesaler

Pengolahan diawali dengan data stok minimum dari PT. D sebesar 5.500 zak dan rata-rata pemesanan PT. D per bulan sebesar 2.343 ton atau 58.583 zak seperti pada **Tabel 1**.

Kemudian dilakukan pengolahan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} &\text{Perbandingan stok terhadap pesanan} \\ &= (\text{stok minimum PT. D} / \text{rata-rata pemesanan} \\ &\quad \text{PT. D}) \times 100\% \\ &= (5.500 / 58.583) \times 100\% \\ &= 9,4\% \end{aligned}$$

Pada **Tabel 2** dapat dilihat rata-rata pemesanan bulanan setiap *wholesaler* sebesar 1.021 ton atau sebesar 25.513 zak.

$$\begin{aligned} &\text{Stok minimum (s)} \\ &= \text{rata-rata pemesanan seluruh wholesaler} \times \\ &\quad \text{perbandingan stok terhadap pesanan} \\ &= 25.513 \times 9,4\% = 2.395 \text{ zak semen} \end{aligned}$$

Rata-rata permintaan tiap *retailer* yaitu sebesar 1.833 zak yang dapat dilihat pada **Tabel 3**.

$$\begin{aligned} &\text{Target stok (S)} \\ &= \text{rata-rata stok minimum (s)} + \text{rata-rata} \\ &\quad \text{permintaan retailer (q)} = 2.395 + 1.833 = \mathbf{4.228} \\ &\quad \mathbf{zak semen} \end{aligned}$$

Tabel 4. Probabilitas Rata-Rata Permintaan tiap *Retailer* Per Hari

No.	Argumen (Zak/ Hari)	Response (Jumlah Hari)	Probabilitas
1	7	3	0,02
2	8	8	0,04
3	9	9	0,05
4	10	16	0,09
5	11	18	0,10
6	12	16	0,09
7	13	31	0,17
8	14	28	0,15
9	15	23	0,13
10	16	13	0,07
11	17	9	0,05
12	18	5	0,03
13	19	3	0,02
14	20	1	0,01
15	22	1	0,01
Total		184	1

Tabel 5. Rekapitulasi Data *Input* Simulasi

<i>Factory</i>		<i>Wholesaler</i>		<i>Retailer</i>	
Data	Input	Data	Input	Data	Input
<i>Manufacturing setup cost</i>	0	<i>Order setup cost</i>	0	<i>Order setup cost</i>	0
<i>Manufacturing cost</i>	Rp 25.135,76	<i>Order cost</i>	Rp 21,82	<i>Order cost</i>	Rp400,00
<i>Holding cost</i>	Rp 262,88	<i>Holding cost</i>	Rp 417,63	<i>Holding cost</i>	0
<i>Shortage cost</i>	0	<i>Shortage cost</i>	0	<i>Shortage cost</i>	0
Stok minimum (s)	1.190	Stok minimum (s)	2.395	Stok minimum (s)	1.150
Target stok (S)	2.027	Target stok (S)	4.228	Target stok (S)	2.654
<i>Inventory (I)</i>	2.953	<i>Inventory (I)</i>	3.200	<i>Inventory (I)</i>	3.795

Retailer

a. *Order Cost Retailer*

Untuk *order cost retailer* dibutuhkan biaya sebesar **Rp 400,00/ zak semen**.

b. *Inventory Retailer*

Data *inventory retailer* diambil dari rata-rata sisa stok semen di gudang TB. R per tanggal 31 Desember 2020 sebagai berikut:

Inventory Retailer (I)

= Rata-rata sisa stok semen x Jumlah *retailer*

= 33 x 115 = **3.795 zak semen**

c. *Target Stok Retailer*

Sejumlah 115 *retailer* rata-rata menetapkan stok minimum sebesar 10 zak. Perhitungan target stok sebagai berikut:

Target stok (S)

= Stok minimum (s) + Rata-rata permintaan *customer* (q)

= (10 x 115) + 1504 = **2.654 zak semen**

Demand Size Probability

Dari rata-rata penjualan setiap *retailer*, dilakukan proses perhitungan untuk mendapatkan probabilitas permintaan zak semen per harinya yang dapat dilihat pada **Tabel 4**. Kolom argumen menyatakan rata-rata permintaan harian *customer* berdasarkan jumlah zak tertentu mulai dari rata-rata harian 7 zak/ hari sampai permintaan 22 zak/ hari. Data probabilitas *demand* tersebut diperoleh dari rata-rata permintaan *customer* kepada *retailer* tiap harinya (selama 184 hari, dari 1 Juli

2020 hingga 31 Desember 2020). Probabilitas tiap argumen didapatkan dari kolom *response* (jumlah hari) dibagi dengan total jumlah hari. Dari data yang telah didapatkan sebelumnya dapat disusun untuk *input* pada *software Anylogic* seperti pada **Tabel 5**.

3.8. Waktu Tunggu *Customer*

Output pertama dari simulasi berupa rata-rata waktu tunggu *customer* yaitu selama 0,266 hari atau 6,38 jam. Selain itu, dihasilkan tabel PDF dan CDF seperti pada **Tabel 6** yang berisi waktu tunggu minimum hingga maksimum.

4. Pembahasan

Output dari simulasi meliputi rata-rata biaya harian dan distribusi waktu tunggu *customer* untuk mendapatkan pesanan. Sasaran dari model ini yaitu menemukan parameter kebijakan inventaris yang menghasilkan biaya dan waktu tunggu minimum. Dengan hasil tersebut, sistem rantai pasok dapat dikatakan berjalan dengan baik. Inovasi pemasok dan orientasi pasar dapat berpengaruh signifikan terhadap keberhasilan rantai pasok melalui berbagai informasi, sumber daya strategis, dan orientasi rantai pasokan (Rasi et al., 2019).

Berdasarkan **Tabel 6**, waktu tunggu *customer* paling sering terjadi berkisar antara 0-0,05 hari dengan nilai PDF sebesar 0,693. Sedangkan durasi minimum berada di interval 0-0,05 hari dan durasi maksimum berada di interval 2,35-2,4 hari. Dari durasi maksimum

Tabel 6. PDF dan CDF Waktu Tunggu *Customer*

<i>Interval (Day)</i>	PDF	CDF	<i>Interval (Day)</i>	PDF	CDF	<i>Interval (Day)</i>	PDF	CDF	<i>Interval (Day)</i>	PDF	CDF
0 - 0,05	0,693	0,693	0,6 - 0,65	0,006	0,844	1,2 - 1,25	0,005	0,904	1,8 - 1,85	0,005	0,962
0,05 - 0,1	0,021	0,714	0,65 - 0,7	0,005	0,849	1,25 - 1,3	0,005	0,909	1,85 - 1,9	0,005	0,967
0,1 - 0,15	0,02	0,734	0,7 - 0,75	0,005	0,854	1,3 - 1,35	0,005	0,914	1,9 - 1,95	0,005	0,972
0,15 - 0,2	0,02	0,754	0,75 - 0,8	0,005	0,859	1,35 - 1,4	0,005	0,919	1,95 - 2	0,005	0,977
0,2 - 0,25	0,017	0,771	0,8 - 0,85	0,005	0,864	1,4 - 1,45	0,005	0,924	2 - 2,05	0,005	0,982
0,25 - 0,3	0,017	0,788	0,85 - 0,9	0,005	0,869	1,45 - 1,5	0,005	0,929	2,05 - 2,1	0,005	0,987
0,3 - 0,35	0,013	0,801	0,9 - 0,95	0,005	0,874	1,5 - 1,55	0,005	0,934	2,1 - 2,15	0,004	0,991
0,35 - 0,4	0,011	0,812	0,95 - 1	0,005	0,879	1,55 - 1,6	0,004	0,938	2,15 - 2,2	0,004	0,995
0,4 - 0,45	0,008	0,82	1 - 1,05	0,005	0,884	1,6 - 1,65	0,005	0,943	2,2 - 2,25	0,003	0,998
0,45 - 0,5	0,007	0,827	1,05 - 1,1	0,005	0,889	1,65 - 1,7	0,005	0,948	2,25 - 2,3	0,002	1
0,5 - 0,55	0,006	0,833	1,1 - 1,15	0,005	0,894	1,7 - 1,75	0,005	0,953	2,3 - 2,35	0,0004	1
0,55 - 0,6	0,005	0,838	1,15 - 1,2	0,005	0,899	1,75 - 1,8	0,004	0,957	2,35 - 2,4	0,0001	1

Tabel 7. Prediksi Rata-rata Biaya Harian Setiap Agen Rantai Pasok Material Semen Tahun 2021

<i>Mean Daily Costs (Rata-rata Biaya Harian) (Rp)</i>		<i>Total (Rp)</i>
<i>Retailer</i>	<i>Order cost</i>	600.359,45
	<i>Holding cost</i>	-
	<i>Shortage cost</i>	-
<i>Wholesaler</i>	<i>Order cost</i>	32.811,06
	<i>Holding cost</i>	1.039.000,00
	<i>Shortage cost</i>	-
<i>Factory</i>	<i>Manufacturing cost</i>	37.730.000,00
	<i>Holding cost</i>	900.071,96
	<i>Shortage cost</i>	-

Tabel 8. Rata-Rata Biaya Harian Agen Rantai Pasok Material Semen Tahun 2020 dan Tahun 2021

<i>Agen Rantai Pasok</i>	<i>Mean Daily Costs</i>	
	<i>Tahun 2020 (Rp)</i>	<i>Tahun 2021 (Rp)</i>
<i>Retailer</i>	600.708,33	600.359,45
<i>Wholesaler</i>	1.000.000,00	1.071.811,06
<i>Factory</i>	24.625.788,68	38.630.071,96

diasumsikan pemesanan semen digunakan dalam pekerjaan pembetonan, dan pekerjaan tersebut membutuhkan durasi selama 30 hari. Apabila total durasi proyek 180 hari, maka waktu tunggu pemesanan semen ini berpengaruh sebesar 7,83-8,00% dari durasi pekerjaan pembetonan, dan 1,31-1,33% dari total durasi pekerjaan proyek. Hasil penelitian ini dapat melengkapi penelitian (Hatmoko & Kistian, 2017) mengenai keterlambatan pengiriman material berupa baja tulangan, baja profil, bekisting, dan beton *precast* yang paling sering terjadi berkisar antara 9,75-11,24 hari, atau sekitar 5-6% dari total 180 hari durasi proyek. Hasil ini memiliki pengecualian bahwa pekerjaan lain tidak terjadi keterlambatan.

Sesuai fakta telah ditemukan bahwa waktu tunggu *customer* meningkat karena barang pesanan pelanggan tidak selalu tersedia terutama dalam permintaan jumlah besar akibat pihak *factory* harus melakukan produksi terlebih dahulu. Hal tersebut sesuai dengan hasil penelitian (Melina et al, 2014) yang menyatakan faktor permasalahan manajemen rantai pasok pada aktivitas pengiriman dan penjualan barang adalah ketidakterersediaan barang, perkiraan yang tidak tepat, serta ketidaksesuaian jumlah bahan baku

keperluan produksi dengan jumlah permintaan pelanggan (*inventory mismanagement*).

Mean Daily Costs/ Rata-Rata Biaya Harian

Output kedua yaitu rata-rata biaya harian yang dikeluarkan oleh setiap agen rantai pasok, tertera pada **Tabel 7**. Disimpulkan bahwa total rata-rata biaya harian yang dikeluarkan *retailer* adalah Rp 600.359,45, untuk *wholesaler* sebesar Rp 1.071.811,06, dan untuk *factory* sebesar Rp 38.630.071,96. Hasil dari **Tabel 7** kemudian akan dibandingkan dengan **Tabel 8**. Dapat diketahui bahwa rata-rata biaya harian pada Tahun 2021 untuk *retailer* memiliki nilai yang hampir sama. Sedangkan untuk *wholesaler* dan *factory* mengalami peningkatan.

Optimasi Nilai-Nilai Batas Stok Minimum dan Target Stok (s,S)

Output ketiga dari simulasi *software AnyLogic* berupa optimasi. Optimasi mendorong perusahaan untuk meningkatkan area risiko reputasi, keberlanjutan, dan kolaborasi untuk mengirimkan barang dan jasa kepada pelanggan yang menghasilkan kegiatan sosial dan ekonomi yang sukses (Tannous & Yoon, 2018). Proses optimasi dilakukan pada menu "Optimization"

Tabel 9. Hasil Optimasi Nilai-Nilai Batas Stok (s,S) Agen Rantai Pasok Material Semen

Agen Rantai Pasok	Hasil Optimasi	
	Stok Minimum (s)	Target Stok (S)
<i>Retailer</i>	1.000	2.011
<i>Wholesaler</i>	1.005	2.000
<i>Factory</i>	1.103	2.206

Tabel 10. Rata-rata Biaya Harian Setiap Agen Rantai Pasok Semen Tahun 2021 dari Hasil Optimasi

Mean Daily Costs (Rata-rata Biaya Harian) (Rp)		Total (Rp)
<i>Retailer</i>	<i>Ordering cost</i>	597.711,78
	<i>Holding cost</i>	-
	<i>Shortage cost</i>	-
<i>Wholesaler</i>	<i>Ordering cost</i>	32.533,44
	<i>Holding cost</i>	567.665,19
	<i>Shortage cost</i>	-
<i>Factory</i>	<i>Manufacturing cost</i>	37.430.000,00
	<i>Holding cost</i>	561.330,41
	<i>Shortage cost</i>	-

Tabel 11. Perbandingan Nilai-Nilai Batas Optimal (s,S) antara Hasil Olah Data Lapangan dan Hasil Optimasi

Agen Rantai Pasok	Hasil Olah Data Lapangan		Hasil Optimasi	
	Stok Minimum (s)	Target Stok (S)	Stok Minimum (s)	Target Stok (S)
<i>Retailer</i>	1.150	2.654	1.000	2.011
<i>Wholesaler</i>	2.395	4.228	1.005	2.000
<i>Factory</i>	1.190	2.027	1.103	2.206

Tabel 12. Perbandingan antara Simulasi Hasil Lapangan dan Simulasi Hasil Optimasi

Indikator	Hasil Simulasi				
	Olah Data Lapangan	Optimasi	Selisih	Perubahan (%)	
	(a) (Rp)	(b) (Rp)	(b) - (a) (Rp)	$\left(\frac{a-b}{a} \times 100\%\right)$	
Rata – Rata Waktu Tunggu <i>Customer</i> (jam)	6,38	0,048	6,332	99,25	
<i>Mean Daily Costs</i>	<i>Retailer</i>	600.359,45	597.711,78	2.647,67	0,44
	<i>Wholesaler</i>	1.071.811,06	600.198,63	471.612,43	44,00
	<i>Factory</i>	38.630.071,96	37.991.330,41	638.741,55	1,65
	Total	40.302.242,47	39.189.240,82	1.113.001,65	2,76

yang tersedia pada *software AnyLogic*, dilakukan secara otomatis dengan jumlah iterasi sampai 500 kali. Hasil optimasi tertera pada **Tabel 9**.

Dengan perbedaan nilai-nilai batas stok minimum dan target stok (s,S) dari hasil olah data lapangan dan hasil optimasi akan menghasilkan rata-rata waktu tunggu *customer* dan biaya harian yang berbeda pula. Setelah dilakukan simulasi kembali dengan nilai-nilai terbaru maka dihasilkan rata-rata waktu tunggu *customer* menjadi sebesar 0,002 hari atau 0,048 jam. Dengan hasil terbaru tersebut, waktu tunggu *customer* menjadi tidak berarti sehingga tidak akan menyebabkan keterlambatan pembangunan yang sedang dilaksanakan. Hal itu menunjukkan bahwa jumlah persediaan stok barang menjadi bagian penting dari sistem. Ketidakterediaan stok akan memunculkan *backlog* (antrian permintaan) yang dapat meningkatkan waktu tunggu *customer*, terutama jika *customer* berada pada daerah sub-urban yang jaraknya jauh sehingga waktu tunggu akan semakin tinggi. Oleh karena itu diperlukan rantai pasokan sub-urban yang

berkelanjutan yaitu dengan menyediakan *retailer* yang lebih banyak dari versi rantai pasokan biasa (Rossolov et al., 2020).

Selain hasil berupa rata-rata waktu tunggu, dapat diperoleh juga rata-rata biaya harian terbaru seperti pada **Tabel 10**. Dari **Tabel 10** dapat diketahui bahwa dari hasil optimasi, total rata-rata biaya harian yang dibutuhkan *retailer* sebesar Rp 597.711,78; *wholesaler* sebesar Rp 600.198,63; dan *factory* sebesar Rp 37.991.330,41. Hasil simulasi dari optimasi akan dibandingkan dengan hasil simulasi sesuai olah data lapangan. Perbandingan secara detail mengenai hasil yang didapatkan dapat dilihat pada **Tabel 11** dan **Tabel 12**.

Dari hasil optimasi pada **Tabel 11** dan **Tabel 12**, didapatkan bahwa waktu tunggu *customer* menjadi lebih singkat yaitu hanya 0,048 jam. Selain itu, biaya yang dikeluarkan akan menurun sehingga terjadi penghematan. *Retailer* menghemat biaya sebesar Rp 2.647,67 per hari, *Wholesaler* sebesar Rp 471.612,43 per hari, dan *factory* sebesar Rp 638.741,55 per hari.

Bila ditinjau secara total, biaya rata-rata harian seluruh agen rantai pasok bisa menghemat 2,76% dari biaya awal.

Terdapat faktor lain untuk menghemat biaya dan mempersingkat waktu tunggu. Proses pengiriman menjadi salah satu faktor penentu sehubungan dengan fungsi logistik karena koneksinya dengan target pasar (Dircksen & Feldmann, 2020). Keberadaan moda transportasi juga akan mempengaruhi waktu tunggu *customer* dan biaya yang dikeluarkan agen dalam sistem rantai pasok. Integrasi moda transportasi yang berbeda-beda menjadi hal penting dalam mencapai penghematan biaya dan waktu dalam sistem rantai pasok (Karunathilake & Adikariwattage, 2020).

5. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil membangun sebuah model simulasi manajemen rantai pasok berbasis agen dalam penyediaan material semen menggunakan *Software AnyLogic*, dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil pemetaan rantai distribusi semen yang ditinjau di Jawa Tengah meliputi 1 *factory*, 126 *wholesaler*, dan 115 *retailer*.
2. Berdasarkan hasil simulasi sesuai olah data di lapangan, rata-rata waktu tunggu *customer* sebesar 0,266 hari atau 6,38 jam. Paling sering terjadi sebesar 0-0,05 hari atau 0-1,2 jam (69,3%). Hasil waktu tunggu tersebut tidak berpengaruh signifikan terhadap keterlambatan proses pembangunan proyek.
3. Estimasi rata-rata biaya harian agen rantai pasok semen pada Tahun 2021 cenderung mengalami peningkatan dibandingkan Tahun 2020 dengan rincian sebagai berikut:
 - a. Pada Tahun 2021 *retailer* akan mengeluarkan biaya Rp 600.359,45. Hampir sama dengan Tahun 2020 yaitu Rp 600.708,33.
 - b. Pada Tahun 2021 *wholesaler* akan mengeluarkan biaya sebesar Rp 1.071.811,06, meningkat 7% dari Tahun 2020.
 - c. Pada Tahun 2021 *factory* akan mengeluarkan biaya Rp 38.630.071,96, meningkat 56,86% dari Tahun 2020.
4. Berdasarkan hasil optimasi, rata-rata waktu tunggu *customer* menjadi 2,88 menit. Nilai-nilai batas stok untuk menghasilkan biaya dan waktu tunggu minimum adalah sebagai berikut:
 - a. Untuk *retailer*, dengan stok minimum (s) sebesar 1.000 zak dan target stok (S) sebesar 2011 zak, terjadi penghematan biaya 0,44% dari biaya awal.
 - b. Untuk *wholesaler*, dengan stok minimum (s) sebesar 1.005 zak dan target stok (S) sebesar 2.000 zak, terjadi penghematan biaya 44% dari biaya awal.
 - c. Untuk *factory*, dengan stok minimum (s) sebesar 1.103 zak dan target stok (S) sebesar 2.206 zak, terjadi penghematan biaya 1,65% dari biaya awal.

Dengan nilai-nilai batas stok terbaru, total biaya rata-rata harian rantai pasok menjadi sebesar Rp 39.189.240,82 atau terjadi penghematan biaya 2,76% dari total biaya rantai pasok awal.

Dalam penelitian ini, material konstruksi yang ditinjau masih terbatas pada semen. Penelitian selanjutnya dapat dikembangkan dengan meninjau material konstruksi lainnya dengan data dari beberapa produsen yang lebih lengkap.

6. Daftar Pustaka

- Bata, J. (2012). Simulasi Berbasis Agent-Based Modeling (ABM) Menggunakan Netlogo. *Seminar Nasional Teknologi Informasi Dan Komunikasi*, 75–79.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2013). *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation* (Fifth). Pearson.
- Dircksen, M., & Feldmann, C. (2020). Holistic evaluation of the impacts of additive manufacturing on sustainability, distribution costs, and time in global supply chains. *Transportation Research Procedia*, 48, 2140–2165.
- Hatmoko, J. U. D., & Kistiani, F. (2017). Model Simulasi Risiko Rantai Pasok Material Proyek Konstruksi Gedung. *MEDIA KOMUNIKASI TEKNIK SIPIL*, 23(1), 1–13.
- Heizer, J., & Render, B. (2015). *Manajemen Operasi: Manajemen Keberlangsungan dan Rantai Pasokan* (Edisi 11). Karya Salemba Empat.
- Hugos, M., & Wiley, J. (2018). *Essentials of Supply Chain Management, Fourth Edition*.
- Indrajit, R. E., & Djokopranoto, R. (2002). *Konsep Manajemen Supply Chain: Cara Baru Memandang Mata Rantai Penyediaan Barang*. Gramedia Widayarsana Indonesia.
- Karunathilake, A., & Adikariwattage, V. (2020). A Framework for evaluating the potential for using air-maritime integration in modern supply chains. *Transportation Research Procedia*, 48, 388–400.
- Katiyar, R., Meena, P. L., Barua, M. K., Tibrewala, R., & Kumar, G. (2018). Impact of sustainability and manufacturing practices on supply chain performance: Findings from an emerging economy. *International Journal of Production Economics*, 197, 303–316.
- Mangkunegara, A. A. A. P. (2016). *Manajemen Sumber Daya Manusia Perusahaan*. PT. Remaja Rosda Karya.
- Martono, R. (2015). *Manajemen Logistik Terintegrasi*. PPM Manajemen.
- Mudita, P. K., Sudarsana, I. K., & Nadiasa, M. (2016). Analisis Faktor-faktor yang Mempengaruhi Waktu Tunggu Pengadaan Material Konstruksi Pada Proyek Gedung di Kabupaten Badung. *Jurnal Spektran*, 4(2), 18–26.
- Nurwega, M. A., & Meddeppungeng, A. (2014). Analisis Pola dan Kinerja Supply Chain pada

- Proyek Konstruksi Bangunan Perumahan. *Konstruksia*, 5(2), 27–41.
- Rasi, R. E., Abbasi, R., & Hatami, D. (2019). The Effect of Supply Chain Agility Based on Supplier Innovation and Environmental Uncertainty. *International Journal of Supply and Operations Management*, 6(2), 94–109.
- Ristono, A. (2013). *Manajemen Persediaan*. Penerbit Graha Ilmu.
- Rossolov, A., Lobashov, O., Kopytkov, D., & Naumov, V. (2020). Sustainable suburban supply chain. *Transportation Research Procedia*, 45, 795–802.
- Silver, E. A., Pyke, D. F., & Peterson, R. (1998). *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*. John Wiley & Sons.
- Surjadi, L. (2013). *Akuntansi Biaya: Dasar-Dasar Perhitungan Harga Pokok*. PT. Indeks.
- Tampubolon, M. P. (2014). *Manajemen Operasi & Rantai Pemasok (Operation and Supply Chain Management)*. Mitra Wacana Media.
- Tanjung, W. N., Hidayat, S., & Azmiyati, S. (2017). Simulasi Sistem Untuk Meningkatkan Kinerja Rantai Pasok. *JURNAL AL-AZHAR INDONESIA SERI SAINS DAN TEKNOLOGI*, 3(4), 171–177.
- Tannous, K., & Yoon, S. (2018). Summarizing Risk, Sustainability and Collaboration in Global Supply Chain Management. *International Journal of Supply and Operations Management*, 5(2), 192–196.
- Verawaty, D. M., Damayanti, D. D., & Santosa, B. (2015). Perencanaan Kebijakan Persediaan Obat dengan Menggunakan Metode Probabilistik Continuous Review (S, S) System Pada Bagian Instalasi Farmasi Rumah Sakit AMC. *E-Proceeding of Engineering*, 2(1), 966–972.
- Zokaei, A. K., & Simons, D. W. (2006). Value chain analysis in consumer focus improvement: A case study of the UK red meat industry. *The International Journal of Logistics Management*, 17(2), 141–162.