

**OPTIMASI *VENDOR MANAGED INVENTORY* (VMI) PADA
SISTEM *MULTI VENDOR* DAN *MULTI RETAILER* DENGAN
PERTIMBANGAN *SUSTAINABILITY COST***

TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Strata-1
Program Studi Teknik Industri - Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia**



Nama : Nasywa Rinatha Zahidi
No. Mahasiswa : 22522297

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI PROGRAM SARJANA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2026**

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya mengakui bahwa tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri kecuali kutipan dan ringkasan yang seluruhnya sudah saya jelaskan sumbernya. Jika dikemudian hari ternyata terbukti pengakuan saya ini tidak benar dan melanggar peraturan yang sah maka saya bersedia ijazah yang telah saya terima ditarik kembali oleh Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 8 Juni 2026



(NASYWA RINATHA ZAHIDI)

22522297

SURAT BUKTI PENELITIAN



**FAKULTAS
TEKNOLOGI INDUSTRI**

Gedung KH. Mas Mansur
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kalurang km 14.5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext. 4110, 4100
F. (0274) 895007
E. lib@uii.ac.id
W. lib.uii.ac.id

SURAT KETERANGAN PENELITIAN

Nomor : 287/Ka.lab SIMANTI/20/Lab.SIMANTI/V/2026

Assalamu'alaikum Warohmatullahi Wabarokaatuh

Dengan hormat,

Yang bertanda tangan dibawah ini, menerangkan bahwa:

Nama : Nasywa Rinatha Zahidi

Nim : 22522297

Jurusan : Teknik Industri

Dosen Pembimbing : Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM.

Menyatakan bahwa mahasiswa tersebut diatas telah melaksanakan penelitian tugas akhir dengan judul "**OPTIMASI VENDOR MANAGED INVENTORY (VMI) PADA SISTEM MULTI VENDOR DAN MULTI RETAILER DENGAN PERTIMBANGAN SUSTAINABILITY COST**" mulai pelaksanaan penelitian 22 September 2025 sampai 15 Mei 2026.

Demikian surat keterangan penelitian ini kami buat. Atas perhatiannya dan kerja samanya kami mengucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum Warohmatullahi Wabarokaatuh

Yogyakarta, 18 Mei 2026
Kepala Laboratorium
Sistem Manufaktur Terintegrasi


Putri Dwi Annisa, S.T., M.Sc.

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

**OPTIMASI *VENDOR MANAGED INVENTORY* (VMI) PADA
SISTEM MULTI *VENDOR* DAN MULTI *RETAILER* DENGAN
PERTIMBANGAN *SUSTAINABILITY COST***



Dosen Pembimbing

(Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM)

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

OPTIMASI *VENDOR MANAGED INVENTORY* (VMI) PADA SISTEM MULTI *VENDOR* DAN MULTI *RETAILER* DENGAN PERTIMBANGAN *SUSTAINABILITY COST*

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Nasywa Rinatha Zahidi

No. Mahasiswa : 22 522 297

Telah dipertahankan di depan sidang penguji sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata-1 Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 10 Juni 2026

Tim Penguji

Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo,
S.T., M.Sc., Ph.D., IPM.

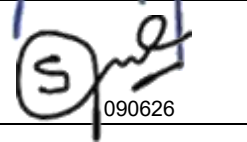
Ketua

Wahyudhi Sutrisno, S.T., M.M., M.T

Anggota I

Ratih Dianingtyas Kurnia, S.T., Ph.D.

Anggota II



 090626



Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Industri Program Sarjana
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia



Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM
015220101

HALAMAN PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim, atas izin *Allah Subhanahu Wa Ta'ala* saya persembahkan tugas akhir ini untuk ibu saya, Ibu Dewi Erin Suprihatin untuk segala do'a, cinta, dan perjuangannya untuk memberikan yang terbaik karena hal itu yang membuat saya bisa sampai pada titik ini.

MOTTO

“Dan Dia mendapatimu sebagai seseorang yang tidak tahu, lalu Dia memberimu petunjuk”

(QS.Ad-Duha:7)

“I would not have reached this point without my parents prayers, support, and love.”

(Michelle Obama)

KATA PENGANTAR

*Bismillahirrohmanirrahim,
Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh*

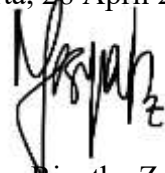
Alhamdulillahillobbil 'Alamin Assholatu Wassalamu Ala Asyrofil Ambiya Wal Mursalin, Wa 'Ala Wasohbihi Ajmain Amma Ba'du,

Segala puji dan syukur kita panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah senantiasa memberikan rahmat dan karunia yang diberikan oleh-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Optimasi *Vendor Managed Inventory* (VMI) Pada Sistem *Multi Vendor* dan *Multi Retailer* Dengan Pertimbangan *Sustainability Cost*” sesuai dengan tenggat waktu yang telah diberikan meskipun terdapat beberapa hambatan yang terjadi selama penulisan. Namun, tanpa pertolongan-Nya penulis tidak dapat menyelesaikan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini. Penyusunan Tugas Akhir ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat kelulusan untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia. Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah bersedia membantu penulis selama penyusunan Tugas Akhir ini. Maka dari itu, pada kesempatan kali ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M.T., IPU, ASEAN.Eng selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM selaku Ketua Program Studi Teknik Industri Program Sarjana, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia dan selaku Dosen Pembimbing, yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, arahan, saran, serta evaluasi yang sangat berarti dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini hingga dapat terselesaikan dengan baik.
3. Secara khusus, penulis mengucapkan terima kasih yang terdalem kepada kakek penulis (Almarhum) H. Jhoni Zawawi dan nenek penulis Hj. Nurul Iman, yang menjadi salah satu pengaruh terbesar dalam hidup penulis. Walaupun beliau telah berpulang pada tahun 2023, saat penulis masih berada di awal masa perkuliahan, nilai, kasih sayang, dan keteladanan beliau tetap hidup dalam setiap langkah penulis. Kehadiran beliau menjadi sumber kekuatan yang tidak pernah benar-benar hilang, termasuk dalam proses penulis menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Kedua orang tua tercinta, Papa Averos Zahidi, S.E. dan Mama Dewi Erin Suprihatin, S.E., yang telah menjadi sosok paling berpengaruh dalam kehidupan penulis. Terima kasih atas doa yang tidak pernah putus, nasihat, motivasi, dukungan, kasih sayang, perhatian, serta cinta yang senantiasa diberikan kepada penulis dalam menempuh pendidikan. Terima kasih atas segala perjuangan dan pengorbanan yang telah diberikan sehingga penulis dapat sampai pada tahap ini dan menyelesaikan tugas akhir dengan baik. Semoga Papa dan Mama selalu diberikan kesehatan, umur panjang, kebahagiaan, serta keberkahan dalam setiap langkah kehidupan.
5. Saudara kandung penulis, Rifqi Rafiandi Fathan Zahidi, S.H yang telah menjadi teman cerita, pendukung, dan slalu menjaga penulis selama masa perkuliahan.

6. Sahabat-sahabat penulis, Cherie, Tifla, Pija, Kak Unge, Kak Gita dan Vivi yang telah menjadi tempat berbagi cerita, keluh kesah, serta tawa selama proses penyusunan tugas akhir ini. Terima kasih atas dukungan, semangat, dan kehadiran yang membuat proses ini terasa lebih ringan untuk dijalani.
7. Seluruh Sahabat yang ada di Grup Apenih yaitu Khalid, Cherie, Nandes, Rejak, Arul, Abi, Allan, Iyan, Abdillah, Gean, Bahren, Duta, Nw, Raka, Podol yang telah menjadi bagian dari perjalanan penulis selama masa perkuliahan, memberikan dukungan, bantuan, bantuan, serta hadir dalam berbagai keadaan hingga proses penyusunan tugas akhir ini dapat diselesaikan.
8. Untuk semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang telah memberikan bantuan dan kontribusi selama masa perkuliahan.

Yogyakarta, 28 April 2026



Nasywa Rinatha Zahidi
NIM 22522297

ABSTRAK

Perusahaan X menghadapi permasalahan rantai pasok berupa ketidaksesuaian antara jumlah pasokan dan permintaan aktual retailer akibat sistem distribusi yang masih bersifat konvensional. Kondisi tersebut menyebabkan terjadinya *overstock*, *understock*, *lost sales*, serta peningkatan biaya operasional dan *sustainability cost* dalam sistem distribusi. Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan sistem rantai pasok dengan menerapkan konsep *Vendor Managed Inventory* (VMI) pada sistem *multi vendor* dan *multi retailer* dengan mempertimbangkan *sustainability cost*. Model matematis diformulasikan untuk meminimalkan *Joint Total Cost* (JTC) yang mencakup biaya *retailer* dan *vendor*, kemudian diselesaikan menggunakan pendekatan *Mixed Integer Linear Programming* (MILP) dan *Evolutionary Algorithm* (EA) melalui *solver*. Sistem penelitian terdiri dari dua *vendor*, sembilan *retailer*, tujuh produk, dan horizon perencanaan selama 14 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan model optimasi menghasilkan nilai *Joint Total Cost* (JTC) sebesar Rp35.669.404,04 dari kondisi awal sebesar Rp47.607.905,36 atau mengalami efisiensi biaya sebesar 25,08%. Selain itu, hasil penelitian menunjukkan bahwa biaya ergonomi menjadi komponen *sustainability cost* terbesar dalam sistem rantai pasok perusahaan setelah penerapan model optimasi.

Kata Kunci: *Supply Chain Management; Vendor Managed Inventory; Sustainability Cost; Evolutionary Algorithm; Joint Total Cost.*

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN	ii
SURAT BUKTI PENELITIAN.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING.....	iv
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
MOTTO.....	vii
KATA PENGANTAR	viii
ABSTRAK.....	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	6
1.5 Batasan Penelitian	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Kajian Literatur.....	8
2.2 <i>Research Gap</i>	11
2.3 Landasan Teori	13
2.3.1 <i>Supply Chain</i>	13
2.3.2 <i>Supply Chain Management</i>	13
2.3.3 Permintaan.	14
2.3.4 Persediaan.	15
2.3.5 Metode Pengendalian Persediaan.	17
2.3.6 <i>Vendor Managed Inventory</i>	18
2.3.7 <i>Multi-vendors</i>	19
2.3.8 <i>Multi-retailers</i>	20
2.3.9 <i>Sustainability cost</i>	20
2.3.10 <i>Optimasi Evolutionary Algorithm</i>	20
2.3.11 <i>Mixed Integer Linier Programming</i>	21
BAB III METODE PENELITIAN.....	23
3.1 Objek Penelitian	23
3.2 Subjek Penelitian	23
3.3 Jenis Data Penelitian.....	23
3.4 Komponen Model.....	24
3.4.1 <i>Notasi Model</i>	24
3.5 Pengembangan Model Matematis	26
3.5.1 <i>Fungsi Tujuan</i>	26
3.5.2 <i>Total Biaya Retailer</i>	27

3.5.3	<i>Total Biaya Vendor</i>	28
3.6	Alur Penelitian	34
BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA		41
4.1	Pengumpulan Data	41
4.1.1	<i>Deskripsi Sistem</i>	41
4.1.2	<i>Deskripsi Produk</i>	44
4.1.3	<i>Data Penelitian</i>	46
4.2	Pengolahan Data	49
4.2.1	<i>Perhitungan Biaya Retailer</i>	49
4.2.2	<i>Perhitungan Biaya Vendor</i>	53
4.2.3	<i>Rekapitulasi Hasil Pengolahan Data</i>	60
BAB V PEMBAHASAN		89
5.1	Analisis Variabel Keputusan Model	89
5.2	Analisis Biaya Sistem	91
5.3	Analisis <i>Sustainability Cost</i>	92
5.4	Analisis Total Biaya Sistem	94
5.5	Pertimbangan <i>Sustainability Cost</i> dalam Optimasi Rantai Pasok	96
5.6	Pertimbangan <i>Sustainability</i> dan KPI Keseimbangan	97
BAB VI PENUTUP		99
6.1	Kesimpulan	99
6.2	Saran	99
DAFTAR PUSTAKA		101
LAMPIRAN		105

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 <i>Research Gap</i>	11
Tabel 3. 1 Validasi Model	36
Tabel 4. 1 Data Biaya <i>Vendor</i> 1 dan Produk	46
Tabel 4. 2 Data Biaya <i>Vendor</i> 2 dan Produk	47
Tabel 4. 3 Permintaan Harian <i>Retailer</i> 1 Produk 1	50
Tabel 4. 4 Simulasi Perhitungan.....	51
Tabel 4. 5 Biaya Persediaan <i>Retailer</i>	52
Tabel 4. 6 Simulasi Keputusan <i>Vendor</i> untuk Produk 1 <i>Retailer</i> 1 Periode 1	54
Tabel 4. 7 Simulasi Keputusan <i>Vendor</i> 1 untuk <i>Retailer</i> 1	54
Tabel 4. 8 Biaya Pengiriman dari <i>Vendor</i> 1 Periode 1	55
Tabel 4. 9 Variabel Keputusan <i>Vendor</i> 1 Periode 1	58
Tabel 4. 10 Variabel Keputusan <i>Vendor</i> 1 Periode 1	59
Tabel 4. 11 Biaya Penyimpanan <i>Retailer</i>	61
Tabel 4. 12 Total Biaya <i>Lost Sales</i>	61
Tabel 4. 13 <i>Joint Total Cost</i>	62
Tabel 4. 14 Total Pembuangan Limbah	62
Tabel 4. 15 Total Biaya Pembuangan Emisi Karbon	62
Tabel 4. 16 Total Biaya Lembur.....	63
Tabel 4. 17 Total Biaya <i>Setup</i>	63
Tabel 4. 18 Total Biaya Ergonomi	63
Tabel 4. 19 Total Biaya Produksi Emisi Karbon.....	63
Tabel 4. 20 Total Biaya Pengiriman.....	63
Tabel 4. 21 Total Biaya Pengiriman <i>CO2</i>	64
Tabel 4. 22 <i>Joint Total Cost Vendor</i>	64
Tabel 4. 23 Total Biaya Penyimpanan <i>Vendor</i>	65
Tabel 4. 24 Total Biaya <i>Lost Sales</i>	65
Tabel 4. 25 <i>Joint Total Cost</i>	65
Tabel 4. 26 Total Biaya Pembuangan Limbah	66
Tabel 4. 27 Total Biaya Pembuangan Emisi Karbon	66
Tabel 4. 28 Total Biaya Lembur.....	67
Tabel 4. 29 Total Biaya <i>Setup</i>	67
Tabel 4. 30 Total Biaya Ergonomi	67
Tabel 4. 31 Total Produksi Emisi Karbon	67
Tabel 4. 32 Total Biaya Pengiriman.....	67
Tabel 4. 33 Total Biaya Pengiriman Emisi Karbon.....	68
Tabel 4. 34 <i>Joint Total Cost Vendor</i>	68
Tabel 4. 35 Total Biaya Penyimpanan <i>Retailer</i>	69
Tabel 4. 36 Tabel Biaya <i>Lost Sales</i>	69
Tabel 4. 37 <i>Joint Total Cost</i>	69
Tabel 4. 38 Total Pembuangan Limbah	70
Tabel 4. 39 Total Biaya Pembuangan Emisi Karbon	70
Tabel 4. 40 Total Biaya Lembur.....	71

Tabel 4. 41 Total Biaya <i>Setup</i>	71
Tabel 4. 42 Total Biaya Ergonomi	71
Tabel 4. 43 Total Biaya Produksi Emisi Karbon.....	71
Tabel 4. 44 Total Biaya Pengiriman.....	71
Tabel 4. 45 Total Biaya Pengiriman Emisi Karbon.....	72
Tabel 4. 46 <i>Joint Total Cost Vendor</i>	72
Tabel 4. 47 Total Biaya Penyimpanan <i>Retailer</i>	73
Tabel 4. 48 Total Biaya <i>Lost Sales</i>	73
Tabel 4. 49 <i>Joint Total Cost Retailer</i>	73
Tabel 4. 50 Total Biaya Pembuangan Limbah	74
Tabel 4. 51 Total Biaya Pembuangan Emisi Karbon	74
Tabel 4. 52 Total Biaya Lembur.....	75
Tabel 4. 53 Total Biaya <i>Setup</i>	75
Tabel 4. 54 Total Biaya Ergonomi	75
Tabel 4. 55 Total Biaya Emisi Karbon.....	75
Tabel 4. 56 Total Biaya Pengiriman.....	75
Tabel 4. 57 Total Biaya Pengiriman Emisi Karbon.....	76
Tabel 4. 58 <i>Joint Total Cost Vendor</i>	76
Tabel 4. 59 Total Biaya Pengiriman <i>Retailer</i>	77
Tabel 4. 60 Total Biaya <i>Lost Sales</i>	77
Tabel 4. 61 <i>Joint Total Cost Retailer</i>	77
Tabel 4. 62 Total Biaya Pembuangan Limbah	78
Tabel 4. 63 Total Biaya Pembuangan Limbah Emisi Karbon.....	78
Tabel 4. 64 Total Biaya Lembur.....	79
Tabel 4. 65 Total Biaya <i>Setup</i>	79
Tabel 4. 66 Total Biaya Ergonomi	79
Tabel 4. 67 Total Biaya Produksi Emisi Karbon <i>CO2</i>	79
Tabel 4. 68 Total Biaya Pengiriman.....	79
Tabel 4. 69 Total Biaya Pengiriman Emisi Karbon.....	80
Tabel 4. 70 <i>Joint Total Cost Vendor</i>	80
Tabel 4. 71 Total Biaya Penyimpanan.....	81
Tabel 4. 72 Total Biaya <i>Lost Sales</i>	81
Tabel 4. 73 <i>Joint Total Cost</i>	81
Tabel 4. 74 Total Biaya Pembuangan Limbah	82
Tabel 4. 75 Total Biaya Pembuangan Limbah <i>CO2</i>	82
Tabel 4. 76 Total Biaya Lembur.....	83
Tabel 4. 77 Total Biaya <i>Setup</i>	83
Tabel 4. 78 Total Biaya Ergonomi	83
Tabel 4. 79 Total Biaya Produksi Emisi Karbon.....	83
Tabel 4. 80 Total Biaya Pengiriman.....	83
Tabel 4. 81 Total Biaya Pengiriman <i>CO2</i>	84
Tabel 4. 82 <i>Joint Total Cost Vendor</i>	84
Tabel 4. 83 Total Biaya Penyimpanan <i>Retailer</i>	85
Tabel 4. 84 Total Biaya <i>Lost Sales</i>	85

Tabel 4. 85 <i>Joint Total Cost Retailer</i>	85
Tabel 4. 86 Total Biaya Pembuangan Limbah	86
Tabel 4. 87 Total Biaya Pembuangan Limbah CO2.....	86
Tabel 4. 88 Total Biaya Lembur.....	87
Tabel 4. 89 Total Biaya <i>Setup</i>	87
Tabel 4. 90 Total Biaya Ergonomi	87
Tabel 4. 91 Total Biaya Produksi Emisi Karbon.....	87
Tabel 4. 92 Total Biaya Pengiriman.....	87
Tabel 4. 93 Total Biaya Pengiriman Emisi Karbon.....	88
Tabel 4. 94 <i>Joint Total Cost Vendor</i>	88
Tabel 5. 2 Hasil Optimasi Keputusan <i>Vendor 1</i>	89
Tabel 5. 3 Hasil Optimasi Keputusan <i>Vendor 2</i>	89
Tabel 5. 4 Biaya Sistem <i>Retailer</i> dan <i>Vendor</i>	91
Tabel 5. 5 <i>Sustainability Cost</i>	93
Tabel 5. 6 Perbandingan Total Biaya Gabungan.....	95

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Data <i>Lost Sales</i> Perusahaan X	2
Gambar 1. 2 Data <i>Holding Cost</i> Perusahaan X	3
Gambar 3. 1 Alur Penelitian	34
Gambar 4. 1 Visualisasi Diagram Rantai Pasok Perusahaan X.....	43
Gambar 5. 1 Grafik Perbandingan Total Biaya Gabungan.....	95

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Supply Chain Management (SCM) sangat penting untuk menjamin kelancaran arus barang, informasi, dan keuangan di seluruh rantai nilai era industri digital dan globalisasi saat ini. SCM yang efektif tidak hanya menurunkan biaya operasional, tetapi juga meningkatkan daya saing jangka panjang operasional (Lotfi et al., 2024). Salah satu elemen utama dalam SCM adalah pengendalian persediaan (*inventory management*), karena ketidaktepatan dalam perencanaan persediaan dapat menimbulkan *bullwhip effect*, kelebihan stok, dan keterlambatan distribusi (Muzady & Ernawati, 2021).

Permasalahan *inventory management* terjadi akibat kurangnya koordinasi antara *vendor* dan *retailer*. Sistem distribusi konvensional yang terjadi selama ini hanya mengandalkan mekanisme *pull system*, di mana *vendor* menunggu permintaan dari *retailer* yang menyebabkan keterlambatan dalam respon rantai pasok terhadap perubahan permintaan pasar. Oleh karena itu, *inventory management* menjadi salah satu aspek penting dalam *Supply Chain Management* karena berkaitan langsung dengan tingkat permintaan konsumen dan proses pengiriman barang dari *supplier*. Pengelolaan *inventory* yang baik dapat membantu perusahaan menentukan jumlah persediaan dan pemesanan produk secara lebih tepat sehingga mendukung efisiensi operasional perusahaan (Huang et al., 2022). Irawan et al. (2025) menjelaskan bahwa *inventory management* yang baik dapat membantu perusahaan dalam menjalankan aktivitas bisnis secara lebih efisien melalui pengendalian jumlah persediaan yang sesuai dengan kebutuhan perusahaan.

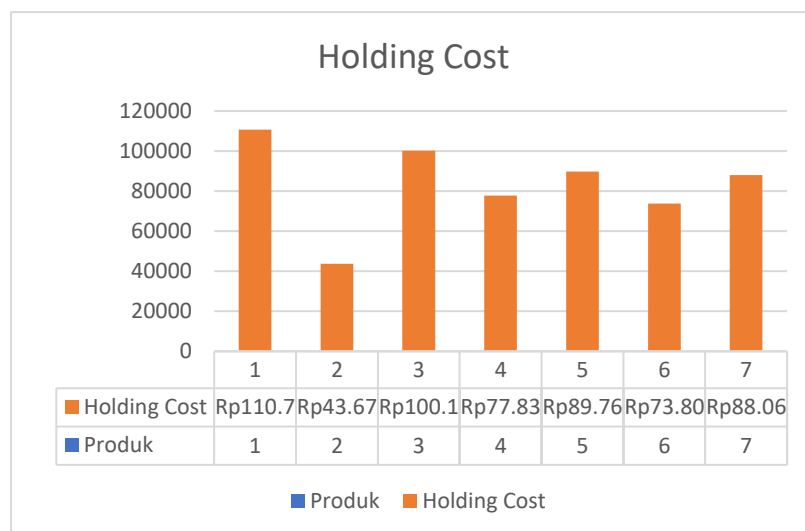
Kondisi ini juga dihadapi oleh Perusahaan X, sebuah perusahaan manufaktur yang bergerak di bidang produk *electronic controller* untuk keperluan otomasi industri dan perangkat elektronik rumah tangga. Dalam menjalankan proses distribusi, Perusahaan X melibatkan dua *vendor* utama, sembilan *retailer*, dan tujuh produk yang dikelola secara bersamaan. Selama ini, proses distribusi masih dilakukan berbasis sistem pemesanan konvensional, Di mana *retailer* memesan produk sebanyak 15 unit setiap 5 hari untuk

setiap *retailer*. Mekanisme tersebut menimbulkan ketidaksesuaian antara jumlah pasokan kebutuhan aktual *retailer* karena pengiriman.

Hal tersebut menimbulkan berbagai permasalahan, terutama dalam pengendalian persediaan. Jumlah pasokan yang tidak sesuai menyebabkan terjadinya *overstock* dan *understock* pada *retailer*. *Over stock* menyebabkan meningkatnya biaya penyimpanan akibat penumpukan persediaan, sedangkan *under stock* dapat menimbulkan *lost sales* karena perusahaan tidak mampu memenuhi permintaan pelanggan. Permasalahan tersebut menunjukkan bahwa pengadaan persediaan yang digunakan masih belum efisien dan belum mampu menjaga keseimbangan antara pasokan dan kebutuhan *retailer* secara optimal. Berikut merupakan *lost sales cost* dan *holding cost* yang terjadi pada Perusahaan X:



Gambar 1. 1 Data *Lost Sales* Perusahaan X



Gambar 1. 2 Data *Holding Cost* Perusahaan X

Berdasarkan data *lost sales* Perusahaan X pada Gambar 1.1, terlihat bahwa beberapa produk mengalami *lost sales cost* yang cukup tinggi akibat ketidaksesuaian antara jumlah pasokan dan permintaan aktual *retailer*. Produk 4 memiliki *lost sales cost* tertinggi sebesar Rp3.979.000, Kondisi tersebut menunjukkan bahwa sistem distribusi perusahaan masih belum mampu merespon perubahan permintaan secara responsif sehingga menyebabkan kehilangan penjualan pada beberapa produk. Dan berdasarkan *holding cost* pada Gambar 1.2 produk 1 memiliki *holding cost* tertinggi akibat *over stock* pada *retailer* di Perusahaan X sebesar Rp110.700,33.

Selain permasalahan ketidakseimbangan persediaan yang berdampak terhadap efisiensi biaya, Perusahaan X juga belum mempertimbangkan aspek *sustainability cost* dalam proses distribusinya. Aktivitas distribusi yang dilakukan secara berkala tanpa mempertimbangkan kondisi permintaan aktual berpotensi menyebabkan penggunaan transportasi yang kurang efisien sehingga meningkatkan konsumsi bahan bakar dan emisi karbon selama proses pengiriman produk. Selain itu, kondisi *over stock* juga dapat meningkatkan limbah persediaan dan biaya penyimpanan akibat produk yang tidak terdistribusi secara optimal.

Di sisi lain, ketidakseimbangan antara kapasitas produksi dan permintaan *retailer* juga berpotensi meningkatkan *overtime* tenaga kerja serta risiko ergonomi akibat tingginya intensitas aktivitas operasional. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa sistem distribusi perusahaan masih belum mampu mengakomodasi kompleksitas operasional dan aspek keberlanjutan rantai pasok secara optimal, terutama dalam menghadapi potensi perkembangan aktivitas distribusi di masa mendatang.

Untuk mengatasi hal ini, dikembangkan metode *Vendor Managed Inventory* (VMI), yaitu sistem di mana *vendor* bertanggung jawab penuh terhadap pengendalian dan pengisian ulang stok di pihak *retailer* berdasarkan data permintaan aktual (Deniarsyah & Fatma Putri, 2023). Dengan pendekatan ini, *vendor* dapat melakukan pengiriman proaktif (*vendor push*) tanpa menunggu pesanan dari *retailer*. Penerapan *Vendor Managed Inventory* telah terbukti mampu meningkatkan Efisiensi operasional, mengurangi biaya logistik, serta memberikan *service level* pelanggan (Astanti et al., 2022).

Meskipun *Vendor Managed Inventory* memiliki banyak keunggulan, pada penelitian ini implementasinya menjadi lebih kompleks karena melibatkan lebih dari satu *vendor* dan *retailer*, atau yang disebut dengan *multi vendor* dan *multi retailer*. Dengan fenomena ini, penelitian ini membutuhkan pendekatan optimasi yang mampu memformulasikan keputusan distribusi secara sistematis untuk menghasilkan kebijakan distribusi yang lebih efisien. Dalam konteks ini setiap *vendor* memiliki kapasitas produksi dan biaya distribusi yang berbeda, sementara pada setiap *retailer* memiliki karakteristik permintaan, lokasi, serta target tingkat layanan (*service level target*) yang bervariasi (Setyorini, 2025).

Selain itu, tantangan baru muncul dalam hal biaya keberlanjutan (*sustainability cost*), yaitu biaya yang timbul dalam aktivitas logistik seperti pengiriman produk, pengiriman emisi karbon, dan biaya sosial yang dihasilkan selama proses distribusi. Komponen biaya ini berpengaruh langsung terhadap efisiensi operasional dan total biaya rantai pasok Perusahaan. Penelitian ini dilakukan oleh Lopes et al. (2022) menjelaskan bahwa penerapan model *low carbon supply chain* berbasis kemitraan *Vendor Managed Inventory* (VMI) mampu mengintegrasikan pengendalian persediaan dengan kebijakan pengurangan emisi karbon melalui mekanisme *cap and trade policy*. Pendekatan tersebut terbukti dapat menekan total biaya logistik sekaligus mengoptimalkan kinerja lingkungan. Oleh karena itu, pertimbangan *sustainability cost* perlu dimasukkan kedalam perancangan model optimasi VMI agar Keputusan distribusi tidak hanya efisien secara ekonomi, tetapi juga mendukung praktik rantai pasok rendah karbon dan ramah lingkungan.

Untuk menyelesaikan permasalahan kompleks tersebut, diperlukan pendekatan kuantitatif yang mampu memformulasikan hubungan antar variabel keputusan secara sistematis. Salah satu metode yang banyak digunakan dalam penelitian optimasi rantai pasok adalah *Mixed Integer Linear Programming* (MILP). Metode ini termasuk dalam kategori *Mathematical programming* yang melibatkan variabel kontinu dan variabel bilangan bulat (*integer*), sehingga cocok untuk menyelesaikan permasalahan keputusan diskrit seperti penentuan jumlah produk yang dikirim, penjadwalan pengiriman, serta alokasi antara *vendor* dan *retailer*. Dengan menggunakan MILP, model dapat dikembangkan untuk meminimalkan total biaya rantai pasok yang mencakup biaya persediaan, transportasi, dan keberlanjutan, dengan tetap memperhatikan kendala

kapasitas *vendor* dan *retailer*. Pendekatan ini telah digunakan di berbagai riset, misalnya dalam optimasi persediaan rantai pasok (Vicente, 2025) dan desain aringan *supply chain* dengan simulasi (Bhowmik & Parvez, 2024) dan terbukti mampu menghasilkan solusi optimal atau mendekati optimal dalam kondisi kompleks.

Untuk mengatasi kompleksitas sistem *multi-vendor*, *multi retailer*, dengan banyak variabel keputusan, penelitian ini juga menerapkan *Evolutionary Algorithm* (EA) sebagai pendekatan komputasional. Algoritma ini bekerja berdasarkan prinsip evolusi biologis melalui proses seleksi, *crossover*, dan mutase untuk mencari solusi terbaik dari sejumlah kemungkinan yang ada. Pendekatan EA dinilai lebih fleksibel dibandingkan metode eksak karena mampu menangani fungsi non linier dan multiobjektif secara lebih efisien. Menurut Aurélio Falcone et al. (2008) dalam *supply chain optimisation using evolutionary algorithms*, EA menunjukkan performa yang stabil dalam optimasi rantai pasok. Terutama pada sistem produksi – *inventory* – produksi terpadu.

Integrasi antara VMI, MILP, dan EA diharapkan mampu menghasilkan model optimasi yang tidak hanya efisien dari sisi biaya tetapi juga memerhatikan aspek keberlanjutan rantai pasok. Melalui pendekatan ini, penelitian dapat membantu perusahaan menentukan strategi distribusi yang optimal, meminimalkan total biaya logistik, serta mendukung penerapan konsep rantai pasok berkelanjutan yang sejalan dengan prinsip efisien dan tanggung jawab lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka dapat disusun rumusan masalah pada penelitian ini adalah Bagaimana membangun model optimasi pengendalian persediaan berbasis *Vendor Managed Inventory* (VMI) pada sistem *multi-vendor*, *multi retailer*, dan *multi product* yang mempertimbangkan *sustainability cost* untuk meningkatkan efisiensi dan kinerja rantai pasok Perusahaan X?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah model optimasi pengendalian berbasis *Vendor Managed Inventory* (VMI) pada sistem *multi-vendor*, *multi retailer*, dan

multi product dengan mempertimbangkan *sustainability cost* menghasilkan solusi yang optimal yang meliputi jumlah produk yang dikirim, jadwal atau frekuensi pengiriman optimal, total biaya rantai pasok minimum, serta rekomendasi kebijakan distribusi yang dapat diterapkan oleh Perusahaan X untuk meningkatkan efisiensi dan kinerja rantai pasok.

1.4 Manfaat Penelitian

Pada penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat kepada antara lain:

1. Bagi peneliti
 - a. Memberikan pengalaman langsung dalam penerapan konsep manajemen rantai pasok berbasis data dan teknologi pada kegiatan operasional Perusahaan X.
 - b. Meningkatkan kemampuan analisis sistem, pemodelan optimasi, serta pengambilan keputusan berbasis analisis rantai pasok.
 - c. Memperluas pemahaman akademik dan praktis mengenai penerapan sistem *Vendor Managed Inventory* (VMI) dengan mempertimbangkan aspek efisiensi *sustainability cost* dalam lingkungan industri manufaktur.
2. Bagi Perusahaan X
 - a. Memperoleh rekomendasi dan solusi perbaikan berdasarkan hasil penelitian yang dapat membantu meningkatkan efisiensi serta kualitas proses produksi dan distribusi.
 - b. Membangun kolaborasi strategis antara perusahaan dan universitas dalam bidang riset serta pengembangan sistem manajemen rantai pasok dan produk.
 - c. Mendapatkan sudut pandang baru dari kalangan akademisi yang dapat dimanfaatkan untuk pengembangan inovasi produk serta penyusunan strategi pemasaran yang lebih efektif.
3. Bagi Pembaca
 - a. Dapat dijadikan sebagai sumber referensi untuk penelitian selanjutnya pada masa yang akan datang.
 - b. Menawarkan data empiris dan konteks lokal yang dapat dibandingkan dengan studi serupa di wilayah atau sektor lain.

4. Bagi Universitas

- a. Menjadi kontribusi nyata dari universitas dalam menjawab permasalahan lokal, khususnya peningkatan daya saing Perusahaan *Controller Electronic* melalui pendekatan ilmiah dan aplikatif.
- b. Memperkuat peran universitas sebagai pusat kajian dan solusi dalam bidang manajemen operasional, sistem informasi, dan pengembangan industri kreatif berbasis budaya.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan penelitian ini ditetapkan agar pembahasan lebih terarah dan fokus pada tujuan yang ingin dicapai, tanpa melebar ke luar ruang lingkup kajian. Adapun batasan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini difokuskan pada satu studi kasus, yaitu Perusahaan X.
2. Sistem rantai pasok yang diteliti merupakan sistem rantai pasok dengan 2 *vendor* (*multi-vendor*) dan multi pembeli (*multi retailer*) yang terdiri dari 9 pembeli untuk 7 produk.
3. Sistem distribusi bersifat satu arah, di mana pengiriman hanya dilakukan dari *vendor* menuju *retailer* tanpa adanya aliran barang antar *retailer*.
4. Data yang digunakan meliputi biaya *setup*, biaya persediaan, biaya transportasi, biaya kehilangan penjualan, dan *sustainability cost* (sosial, ergonomi, limbah, dan emisi karbon).
5. Selama penelitian, biaya dan parameter sistem dianggap konstan untuk memudahkan proses optimasi.
6. Periode penelitian diasumsikan selama dua minggu dengan jumlah hari tetap sebanyak 14 hari, sesuai dengan horizon waktu yang digunakan.
7. *Lead time* pengiriman dari *vendor* ke *retailer* diasumsikan tetap selama 5 hari pada seluruh periode penelitian.
8. Seluruh asumsi yang digunakan merupakan batasan dari penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Literatur

Kajian Literatur berisi tentang landasan teoritis serta meninjau teori dan hasil penelitian terdahulu yang dari penelitian yang serupa sebelumnya. Pada bagian ini dapat dijadikan pembandingan atau acuan pengembangan penelitian yang sedang dilakukan. Berikut adalah beberapa penelitian terdahulu yang peneliti gunakan sebagai landasan dalam penelitian ini.

Berdasarkan berbagai penelitian terdahulu, *Vendor Managed Inventory* (VMI) telah banyak diterapkan sebagai strategi untuk meningkatkan koordinasi antara *vendor* dan *retailer* dalam rantai pasok. Penerapan VMI terbukti mampu mengurangi ketidakpastian informasi, meningkatkan ketersediaan produk, serta menekan biaya persediaan melalui pengelolaan stok yang lebih terintegrasi. Hal tersebut ditunjukkan dalam berbagai penelitian yang dilakukan oleh (Munita et al., 2020), (Muzady & Ernawati, 2021), (Undariyanto, 2023), (Lotfi et al., 2024), (Astanti et al., 2022), dan (Ghasemi et al., 2024). Selain memberikan manfaat dari sisi efisiensi operasional, VMI juga mampu meningkatkan kualitas kolaborasi antar pelaku rantai pasok sehingga keputusan persediaan dapat dilakukan secara lebih terkoordinasi.

Salah satu permasalahan yang sering muncul dalam rantai pasok adalah *bullwhip effect* yang disebabkan oleh distorsi informasi permintaan di setiap tingkatan rantai pasok. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penerapan sistem persediaan yang terintegrasi dapat mengurangi fenomena tersebut. Penelitian yang dilakukan oleh Muzady & Ernawati (2021) menunjukkan bahwa VMI mampu menurunkan nilai *bullwhip effect* secara signifikan pada level manufaktur maupun *retailer*. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian Narto et al. (2022) yang menyatakan bahwa koordinasi informasi yang baik antar pelaku rantai pasok berperan penting dalam menjaga kestabilan persediaan dan menekan biaya penyimpanan akibat fluktuasi permintaan.

Selain berfokus pada koordinasi persediaan, beberapa penelitian juga mengembangkan model optimasi untuk menentukan keputusan rantai pasok yang lebih efisien. Pendekatan *Mixed Integer Linear Programming* (MILP) banyak digunakan karena mampu memformulasikan berbagai keputusan produksi, distribusi, dan persediaan secara matematis. Penelitian oleh Indah Pratiwi et al. (2025), Ghasemi et al. (2024) menunjukkan bahwa model MILP dapat menghasilkan keputusan distribusi dan pengiriman yang mampu meminimalkan total biaya operasional. Sementara itu, Almanaseer et al. (2024) menggunakan *Mixed Integer Nonlinear Programming* (MINLP) untuk mengintegrasikan keputusan lokasi fasilitas, persediaan, dan investasi teknologi dalam sistem kesehatan. Di sisi lain, Agustian & Dahda (2022) mengembangkan model *Economic Production Quantity* (EPQ) pada sistem *single vendor multi retailer* dengan mempertimbangkan keberadaan produk cacat dan proses *rework* guna memperoleh ukuran lot produksi yang optimal.

Perkembangan penelitian rantai pasok juga menunjukkan adanya pemanfaatan metode kecerdasan buatan dan algoritma optimasi yang semakin luas. Carvajal-Hernández & Osorio-Muriel (2022) mengombinasikan *simulation based optimization* dengan *Genetic Algorithm* (GA) untuk menentukan kebijakan persediaan optimal pada distribusi trombosit yang memiliki tingkat ketidakpastian tinggi dan umur simpan terbatas. Penelitian lain yang dilakukan oleh Alavidoost et al. (2021) mengintegrasikan *fuzzy mixed integer linear programming* dengan *multi objective evolutionary algorithm* untuk menangani ketidakpastian permintaan dan harga dalam perencanaan rantai pasok terintegrasi. Selain itu, kajian mengenai *Reinforcement Learning* dalam manajemen rantai pasok menunjukkan bahwa teknologi pembelajaran mesin memiliki potensi besar dalam mendukung pengambilan keputusan yang adaptif terhadap perubahan kondisi sistem. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian masih menggunakan data simulasi sehingga implementasi pada lingkungan industri nyata masih memerlukan pengembangan lebih lanjut.

Aspek keberlanjutan juga mulai menjadi perhatian dalam pengembangan model rantai pasok modern. Astanti et al. (2022) menunjukkan bahwa integrasi VMI dengan kebijakan *carbon cap and trade* mampu menurunkan emisi karbon sekaligus menjaga efisiensi

biaya operasional. Hasil yang serupa juga terlihat pada penelitian Lotfi et al. (2024) yang mengembangkan konsep *Viable Supply Chain* dengan mempertimbangkan risiko ekstrem, emisi lingkungan, dan konsumsi energi dalam proses pengambilan keputusan. Temuan tersebut menunjukkan bahwa pengelolaan persediaan saat ini tidak hanya berorientasi pada biaya, tetapi juga mempertimbangkan dampak lingkungan dan keberlanjutan sistem rantai pasok.

Selain pengembangan model optimasi, beberapa penelitian menyoroti peran teknologi digital dalam meningkatkan efektivitas pengelolaan persediaan. Almanaseer et al. (2024) membuktikan bahwa integrasi *Radio Frequency Identification* (RFID) dengan sistem VMI mampu meningkatkan akurasi pengendalian persediaan dan efisiensi distribusi pada sektor kesehatan. Temuan tersebut didukung oleh penelitian Ayomide Madamidola et al. (2024) yang menjelaskan bahwa teknologi seperti RFID, *Internet of Things* (IoT), dan *Artificial Intelligence* (AI) memberikan kontribusi dalam meningkatkan visibilitas, akurasi data, dan efisiensi sistem manajemen persediaan modern.

Berdasarkan hasil penelitian terdahulu, dapat disimpulkan bahwa VMI merupakan pendekatan yang efektif dalam meningkatkan koordinasi rantai pasok, mengurangi *bullwhip effect*, menekan biaya persediaan, serta mendukung penerapan teknologi dan konsep keberlanjutan. Berbagai metode optimasi seperti MILP, MINLP, *Evolutionary Algorithm*, dan *Artificial Intelligence* juga telah banyak digunakan untuk meningkatkan kualitas pengambilan keputusan dalam sistem rantai pasok. Namun, masih terdapat peluang penelitian untuk mengintegrasikan aspek pengendalian persediaan, optimasi biaya, keberlanjutan lingkungan, dan ketidakpastian sistem secara bersamaan dalam model rantai pasok multi eselon sehingga dapat menghasilkan keputusan yang lebih komprehensif dan mendekati kondisi nyata perusahaan.

2.2 Research Gap

Berdasarkan Kajian Literatur di atas, terdapat *Research Gap* yang tertera pada Tabel 2.1 sebagai berikut:

Tabel 2. 1 *Research Gap*

NO	Peneliti & Tahun	VMI	<i>Multi Vendor</i>	<i>Multi Retailer</i>	<i>Bullwhip Effect</i>	<i>Sustainability cost</i>	Optimasi (MILP, EA)
1	Lotfi et al. (2024)	✓	-	✓	-	✓	✓
2	Astanti et al. (2022)	✓	-	-	-	✓	✓
3	Munita et al. (2020)	✓	-	-	✓	-	-
4	Indah Pratiwi et al. (2025)	-	✓	✓	-	-	✓
5	Carvajal-Hernández & Osorio-Muriel (2022)	✓	-	-	-	-	✓
6	Rolf et al. (2023)	-	-	-	-	✓	✓
7	Alavidoost et al. (2021)	✓	-	-	-	✓	✓
8	Salas-Navarro et al. (2023)	✓	✓	✓	-	-	✓
9	Ayomide Madamidola et al. (2024)	✓	-	-	-	-	-
10	Almanaseer et al. (2024)	✓	-	-	✓	-	-
11	Ghasemi et al. (2024)	-	✓	✓	✓	-	✓

NO	Peneliti & Tahun	VMI	<i>Multi Vendor</i>	<i>Multi Retailer</i>	<i>Bullwhip Effect</i>	<i>Sustainability cost</i>	Optimasi (MILP, EA)
12	Undariyanto (2023)	✓	✓	✓	✓	-	-
13	Narto et al. (2022)	-	-	-	✓	-	-
14	Agustian & Dahda (2022)	-	-	-	-	✓	✓
15	Muzady & Ernawati (2021)	✓	-	-	-	✓	✓
16	Penelitian Saat Ini	✓	✓	✓	✓	✓	✓

2.3 Landasan Teori

2.3.1 *Supply Chain*.

Rantai pasok (*supply chain*) adalah sistem terpadu yang mencakup seluruh aktivitas mulai dari pengadaan bahan baku, proses produksi, penyimpanan, hingga distribusi produk jadi kepada konsumen. Rantai ini terdiri atas berbagai pihak seperti pemasok, produsen, gudang, distributor, dan pengecer yang saling berhubungan untuk menciptakan aliran barang, informasi, dan keuangan yang efisien (Bibave, 2024). Tujuan utama rantai pasok adalah memastikan produk tersedia tepat waktu dengan biaya serendah mungkin tanpa menurunkan kualitas. Pengelolaan yang baik memungkinkan perusahaan mengoptimalkan sumber daya, menekan pemborosan, serta menjaga kestabilan proses produksi. Selain itu, kemitraan yang solid dengan pemasok menjadi kunci keberhasilan rantai pasok karena menjamin kualitas bahan baku, ketepatan waktu pengiriman, dan kesiapan menghadapi perubahan pasar.

Menurut Bibave (2024), rantai pasok yang efisien tidak hanya mengurangi biaya dan meningkatkan produktivitas, tetapi juga memperkuat daya saing perusahaan. Produk yang dikirim tepat waktu dengan mutu terjaga akan meningkatkan kepuasan dan loyalitas pelanggan. Di sisi lain, kemampuan beradaptasi terhadap tren dan teknologi baru dalam manajemen rantai pasok memberikan keunggulan kompetitif yang berkelanjutan.

2.3.2 *Supply Chain Management*.

Menurut Chopra & Meindl (2016), pasok (*supply chain*) didefinisikan sebagai suatu sistem dinamis yang melibatkan aliran produk, informasi, serta dana antara berbagai entitas, mulai dari pemasok bahan baku hingga pelanggan akhir. Rantai pasok modern tidak hanya berfokus pada distribusi barang, tetapi juga menekankan koordinasi antar fungsi bisnis seperti produksi, perencanaan, pengadaan, transportasi, dan layanan pelanggan. Tujuan utama dari manajemen rantai pasok (*Supply Chain Management/SCM*) adalah meningkatkan efisiensi operasional, menurunkan biaya total sistem, dan meningkatkan nilai tambah bagi pelanggan. SCM berperan dalam memastikan bahwa setiap tahapan dalam aliran barang berjalan secara optimal, mulai dari pengadaan bahan mentah, proses produksi, penyimpanan, hingga pengiriman kepada konsumen (Shibin et al., 2017).

Menurut Chopra & Meindl (2016), dalam *supply chain management* terdapat lima bidang utama antara lain:

1. Produksi

Produksi berkaitan dengan perencanaan mengenai jenis, jumlah, dan waktu produksi agar sesuai dengan permintaan pasar. Fungsi ini mencakup pengaturan kapasitas, penjadwalan kerja, dan efisiensi proses untuk menjaga ketersediaan barang serta menekan biaya operasional.

2. Persediaan

Persediaan mengatur ketersediaan barang mulai dari bahan baku hingga produk jadi. Tujuannya adalah menjaga keseimbangan antara permintaan dan pasokan agar tidak terjadi kelebihan atau kekurangan stok, sekaligus mengurangi biaya penyimpanan dan memperlancar distribusi.

3. Lokasi

Fungsi lokasi berfokus pada pemilihan tempat strategis untuk pabrik, gudang, dan pusat distribusi. Lokasi yang tepat mempertimbangkan biaya transportasi, kedekatan pasar, dan sumber daya, sehingga mendukung efisiensi logistik dan pelayanan pelanggan.

4. Transportasi

Transportasi mengatur pergerakan barang antar lokasi dalam rantai pasok. Pemilihan moda transportasi yang efisien membantu memastikan barang tiba tepat waktu, kondisi baik, dan dengan biaya rendah, sehingga meningkatkan kecepatan layanan dan daya saing perusahaan.

5. Informasi

Informasi menjadi elemen utama dalam koordinasi rantai pasok. Data yang akurat dan *real-time* memungkinkan pengambilan keputusan yang cepat, sinkronisasi antar bagian, serta peningkatan efisiensi dan responsivitas terhadap perubahan pasar.

2.3.3 Permintaan.

Permintaan (*demand*) dalam konteks manajemen rantai pasok diartikan sebagai jumlah produk atau jasa yang diinginkan konsumen dalam jangka waktu tertentu dan pada tingkat harga tertentu. Permintaan menjadi elemen paling mendasar dalam sistem produksi dan

distribusi karena seluruh aktivitas rantai pasok yang mana mulai dari pengadaan bahan baku, penjadwalan produksi, hingga distribusi produk akhir dirancang untuk memenuhi permintaan (Chopra & Meindl, 2016) mungkin (Chopra & Meindl, 2016).

Menurut Hou & Zhao (2012), permintaan dapat dikategorikan menjadi dua jenis utama sebagai berikut:

1. Permintaan deterministik, di mana jumlah dan waktu permintaan diketahui dengan pasti. Model seperti *Economic Order Quantity (EOQ)* banyak digunakan untuk kondisi ini.
2. Permintaan stokastik, yaitu permintaan yang bersifat acak atau tidak pasti, sehingga memerlukan model probabilistik dan metode peramalan (*forecasting*) untuk mengantisipasi perubahan pasar.

Karakteristik permintaan dalam industri modern sangat bervariasi tergantung pada faktor musiman, tren, promosi, dan kondisi makroekonomi. Shibin et al. (2017) menambahkan bahwa permintaan dapat bersifat musiman (*seasonal demand*), di mana volume permintaan berubah sesuai periode tertentu, atau bersifat siklis (*cyclical demand*) yang dipengaruhi oleh perubahan ekonomi. Dalam sistem pengendalian persediaan, permintaan berperan sebagai variabel masukan utama untuk menentukan kapan dan berapa banyak stok harus dipesan. Kesalahan dalam memperkirakan permintaan dapat menyebabkan dua kondisi ekstrem: *stockout* (kehabisan stok) yang menurunkan tingkat layanan pelanggan, dan *overstock* (kelebihan stok) yang meningkatkan biaya penyimpanan (Thompson, 2024).

2.3.4 Persediaan.

Menurut Stevenson & Sum (2014), persediaan merupakan kumpulan barang atau bahan yang disimpan untuk mendukung kegiatan pengadaan, proses produksi, maupun penjualan. Keberadaan persediaan berfungsi sebagai penyeimbang agar manajemen dapat mengatur aliran material secara efisien. Selain itu, persediaan juga berperan dalam menyediakan variasi produk, memisahkan tahapan proses produksi, menjaga kelancaran antar operasi, mencegah terjadinya kekosongan stok, memanfaatkan siklus pemesanan, melindungi perusahaan dari fluktuasi harga, memastikan kelancaran kegiatan

operasional, serta memungkinkan perusahaan memperoleh manfaat dari potongan harga pembelian dalam jumlah besar.

Menurut Heizer (2020), berdasarkan proses produksi terdapat 4 jenis persediaan antara lain:

1. Persediaan Bahan Mentah (*Raw Material Inventory*)

Persediaan bahan mentah adalah bahan-bahan yang telah dibeli namun belum diproses. Sumber bahan ini dapat berasal dari alam atau diperoleh melalui *supplier* yang menyediakan bahan baku. Persediaan ini penting karena merupakan dasar bagi proses produksi dan mempengaruhi kelancaran operasional.

2. Persediaan Barang Setengah Jadi (*Work in Process*)

Persediaan barang setengah jadi atau barang dalam proses mencakup komponen atau bahan mentah yang telah melewati beberapa tahap produksi tetapi belum selesai sepenuhnya. Barang ini masih membutuhkan proses lebih lanjut sebelum menjadi barang jadi. Manajemen persediaan barang setengah jadi penting untuk memastikan efisiensi dalam alur produksi dan mengurangi waktu tunggu.

3. Persediaan Pemeliharaan, Perbaikan, dan Operasional (*Maintenance, Repair, Operating Inventory*)

Persediaan ini mencakup barang-barang yang disediakan untuk pemeliharaan, perbaikan, dan kebutuhan operasional yang diperlukan untuk menjaga mesin dan proses tetap produktif. Persediaan ini sangat penting untuk mencegah *downtime* yang dapat mengganggu proses produksi dan menyebabkan kerugian.

4. Persediaan Barang Jadi (*Finished Goods Inventory*)

Persediaan barang jadi adalah produk yang telah selesai diproduksi dan siap untuk dijual. Persediaan ini mencerminkan output dari proses produksi dan berperan penting dalam memenuhi permintaan pasar. Manajemen persediaan barang jadi perlu dilakukan dengan cermat untuk memastikan ketersediaan produk yang cukup tanpa menyebabkan kelebihan stok yang bisa meningkatkan biaya penyimpanan.

Selain itu, menurut Heizer (2020), terdapat empat fungsi persediaan bagi perusahaan sebagai berikut:

1. Memisahkan Tahapan Proses Produksi (*Decoupling Production Stages*)

Prinsip *decoupling* bertujuan untuk memisahkan antar tahap dalam proses produksi agar tidak saling bergantung secara langsung. Ketika terjadi ketidakpastian atau keterlambatan pasokan dari pemasok, perusahaan dapat menambah jumlah persediaan untuk memastikan proses produksi tetap berjalan lancar. Dengan demikian, ketersediaan stok berfungsi sebagai penyangga agar aktivitas produksi tidak terganggu oleh fluktuasi pasokan.

2. Menghadapi Variasi Permintaan (*Decoupling from Demand Fluctuations*)

Fungsi ini memungkinkan perusahaan menanggapi perubahan permintaan pasar dengan lebih fleksibel. Dengan memiliki stok cadangan, perusahaan dapat memenuhi kebutuhan pelanggan secara cepat dan menyediakan beragam pilihan produk. Pendekatan ini lazim digunakan dalam sektor ritel untuk menjaga kepuasan pelanggan dan menghindari kehilangan penjualan akibat kekurangan barang.

3. Memanfaatkan Keuntungan dari Pembelian dalam Jumlah Besar (*Quantity Discount*)

Persediaan juga berperan strategis dalam memanfaatkan potongan harga pembelian. Dengan melakukan pemesanan dalam jumlah besar, perusahaan dapat memperoleh harga per unit yang lebih rendah serta mengurangi biaya pengiriman. Strategi ini membantu menekan biaya total sekaligus mengoptimalkan penggunaan dana perusahaan.

4. Perlindungan terhadap Inflasi dan Kenaikan Harga

Menjaga stok dalam jumlah yang memadai dapat melindungi perusahaan dari dampak inflasi dan potensi kenaikan harga bahan baku. Dengan melakukan pembelian ketika harga masih stabil atau rendah, perusahaan dapat menghindari peningkatan biaya produksi di masa mendatang dan mempertahankan kestabilan margin keuntungan.

2.3.5 Metode Pengendalian Persediaan.

Metode pengendalian persediaan merupakan seperangkat strategi yang dirancang untuk menjamin ketersediaan barang atau bahan pada tingkat yang optimal, sehingga permintaan pelanggan dapat terpenuhi dengan efisiensi biaya yang maksimal. Proses ini mencakup kegiatan perencanaan, pengawasan, serta pengendalian stok agar pasokan tetap stabil sesuai kebutuhan. Tujuan utama dari pengendalian persediaan adalah menentukan jumlah dan waktu pemesanan ulang yang tepat dengan mempertimbangkan pola

permintaan, waktu pengadaan (*lead time*), serta (Chopra & Meindl, 2016) tersedia (Chopra & Meindl, 2016).

Menurut Chopra dan Meindl (2016), beberapa pendekatan yang umum digunakan dalam pengendalian persediaan antara lain sebagai berikut:

1. Pengendalian Berdasarkan Titik Pemesanan Ulang (*Reorder Point Control*)
Pendekatan ini diterapkan untuk jenis barang yang memiliki pola permintaan relatif stabil. Pemesanan kembali dilakukan saat tingkat stok telah mencapai titik batas minimum yang telah ditetapkan perusahaan, sehingga barang dapat tiba tepat waktu sesuai dengan periode pemesanan (*lead time*).
2. Sistem Peninjauan Berkala (*Periodic Review System*)
Pada metode ini, jumlah persediaan diperiksa secara berkala dalam interval waktu tertentu. Berdasarkan hasil pemeriksaan, perusahaan menentukan jumlah pemesanan yang diperlukan untuk mengembalikan stok ke tingkat optimal.
3. Perencanaan Kebutuhan Material (*Material Requirements Planning – MRP*)
Sistem MRP digunakan untuk mengelola barang yang permintaannya bergantung pada produk lain. Metode ini mengintegrasikan jadwal produksi dengan kebutuhan bahan baku, sehingga seluruh komponen yang diperlukan tersedia tepat waktu sesuai jadwal produksi.
4. Perencanaan Kebutuhan Distribusi (*Distribution Requirements Planning – DRP*)
DRP berfungsi mengatur persediaan di berbagai titik distribusi agar ketersediaan produk tetap terjamin dan risiko kekurangan atau kelebihan stok dapat diminimalkan.
5. Metode *Just-In-Time* (JIT)
Pendekatan JIT berfokus pada pengurangan jumlah persediaan dengan memastikan bahan baku atau barang datang tepat sebelum digunakan dalam proses produksi. Metode ini dapat menekan biaya penyimpanan dan menuntut koordinasi yang tinggi antara perusahaan dan pemasok.

2.3.6 *Vendor Managed Inventory*.

Menurut van den Bogaert et al. (2022), VMI merupakan strategi kolaboratif yang menempatkan *vendor* sebagai pengambil keputusan utama dalam replenishment agar *leadtime* dan *stockout* dapat ditekan, serta mengurangi efek *bullwhip* dalam rantai pasok.

Sementara itu, Kadiyala et al. (2023) menjelaskan bahwa penerapan VMI menggeser struktur pengambilan keputusan dari *retailer* ke *vendor*, sehingga koordinasi antar pihak menjadi lebih kuat karena *vendor* memiliki kendali langsung terhadap jumlah stok yang harus tersedia. Sistem ini terbukti mengurangi *bullwhip effect*, yaitu fenomena fluktuasi permintaan yang membesar di sepanjang rantai pasok akibat kurangnya integrasi informasi. Penelitian tersebut juga menegaskan bahwa keberhasilan VMI bergantung pada keakuratan data permintaan dan kapasitas *vendor* dalam memenuhi kebutuhan *retailer*.

2.3.7 Multi-vendors.

Sistem *multi-vendor* merupakan struktur rantai pasok di mana lebih dari satu pemasok (*vendor*) terlibat dalam penyediaan bahan baku atau produk kepada satu atau beberapa *retailer*. Tujuan utama sistem ini adalah untuk mengurangi ketergantungan terhadap satu pemasok tunggal, meningkatkan ketahanan rantai pasok (*supply chain resilience*), serta memperluas kapasitas suplai. Menurut Guo et al. (2025), konfigurasi *multi-vendor* sangat penting dalam menghadapi ketidakpastian permintaan dan gangguan pasokan (seperti bencana alam atau krisis logistik). Dengan adanya lebih dari satu sumber pasokan, perusahaan dapat melakukan *risk sharing* dan *load balancing* antar *vendor*.

Kumar (2018) menegaskan bahwa sistem *multi-vendor* menuntut koordinasi tinggi dalam hal penjadwalan pengiriman, kualitas produk, dan kapasitas produksi. Untuk itu, pendekatan optimasi matematis sering digunakan untuk menentukan kombinasi *vendor* yang memberikan biaya terendah dengan tingkat keandalan tertinggi. Dalam penelitian Chen et al. (2022), model *multi-vendor* diterapkan pada produk mudah rusak (*perishable goods*) dan menunjukkan bahwa koordinasi antar *vendor* dapat menurunkan total biaya sistem hingga 18% serta meningkatkan efisiensi distribusi. Sistem *multi-vendor* menjadi relevan dalam konteks penelitian ini karena mencerminkan kondisi nyata industri modern di mana perusahaan bekerja dengan berbagai pemasok yang memiliki karakteristik berbeda, sehingga membutuhkan pendekatan optimasi untuk mencapai keseimbangan antara biaya, kapasitas, dan keberlanjutan.

2.3.8 *Multi-retailers.*

Sistem *multi-retailer* merupakan konfigurasi rantai pasok di mana satu atau beberapa *vendor* melayani lebih dari satu pembeli (*retailer*) dengan karakteristik permintaan dan jadwal pemesanan yang berbeda. Model ini menggambarkan situasi nyata di mana produsen atau distributor harus memenuhi kebutuhan berbagai pelanggan secara bersamaan. Menurut Utama et al. (2024), sistem *multi-retailer* memungkinkan efisiensi pengiriman melalui penggabungan pesanan dan sinkronisasi jadwal pengiriman. Namun, kompleksitasnya meningkat seiring perbedaan volume dan frekuensi permintaan antar pembeli. Sementara Taleizadeh et al. (2011) mendefinisikan sistem *multi-retailer* sebagai jaringan distribusi dengan banyak titik permintaan yang harus dilayani secara optimal dari satu atau beberapa sumber. Tujuannya adalah meminimalkan total biaya transportasi dan penyimpanan tanpa mengorbankan tingkat layanan pelanggan.

2.3.9 *Sustainability cost.*

Sustainability cost atau biaya keberlanjutan adalah total biaya yang timbul akibat aktivitas ekonomi, lingkungan, dan sosial dalam rantai pasok. Biaya ini mencakup emisi karbon, konsumsi energi, limbah produksi, serta faktor sosial seperti keselamatan tenaga kerja dan kesejahteraan masyarakat. Menurut Santos et al. (2024), *sustainability cost* merupakan bagian dari pendekatan *Triple Bottom Line (TBL)* yang menilai kinerja organisasi berdasarkan tiga dimensi, yaitu ekonomi, lingkungan, dan sosial. Dalam konteks manajemen persediaan, biaya keberlanjutan memperhitungkan dampak dari penyimpanan, transportasi, serta pengelolaan produk yang tidak terpakai. Verma et al. (2025) menambahkan bahwa mempertimbangkan *sustainability cost* dalam perencanaan persediaan dapat membantu perusahaan menekan emisi karbon dan konsumsi energi tanpa mengurangi profitabilitas. Model ini menjadi dasar pengembangan *green supply chain management (GSCM)*.

2.3.10 *Optimasi Evolutionary Algorithm.*

Evolutionary Algorithm (EA) merupakan metode optimasi berbasis populasi yang terinspirasi dari proses evolusi alami. Metode ini bekerja dengan membentuk sekumpulan kandidat solusi, kemudian setiap solusi dievaluasi berdasarkan fungsi tujuan yang telah ditentukan. Kandidat solusi dengan nilai terbaik akan dipertahankan dan dikembangkan

melalui proses seleksi, rekombinasi atau *crossover*, dan mutasi. (n.d.) menjelaskan bahwa EA termasuk metode pencarian heuristik yang memiliki komponen utama berupa *variation operators*, yaitu *mutation* dan *recombination*, serta *selection operators*, yaitu *parent selection* dan *survivor selection*.

Dalam penerapannya, kinerja EA dipengaruhi oleh parameter yang digunakan, seperti ukuran populasi, tingkat *crossover*, tingkat *mutation* Eiben & Smit (n.d.) terminasi. Eiben & Smit (n.d.) menyatakan bahwa pemilihan nilai parameter yang sesuai berpengaruh terhadap performa EA, karena parameter tersebut menentukan bagaimana algoritma membentuk, mengevaluasi, dan memperbaiki kandidat solusi selama proses pencarian. Oleh karena itu, penggunaan EA tidak hanya bergantung pada proses evolusi yang dilakukan, tetapi juga pada bagaimana parameter algoritma ditetapkan agar mampu menghasilkan solusi yang baik untuk masalah optimasi tertentu.

Penggunaan pendekatan *evolutionary* Eiben & Smit (n.d.) didukung oleh Eiben & Smit (n.d.) yang meneliti permasalahan *Vendor Managed Inventory* pada sistem *multi-vendor* dan *multi-retailer* dengan menggunakan algoritma metaheuristik untuk meminimalkan total biaya persediaan. Penelitian tersebut relevan karena memiliki kemiripan struktur dengan penelitian ini, yaitu melibatkan lebih dari satu vendor dan lebih dari satu retailer dalam sistem VMI. Selain itu, Park et al. (2016) menggunakan *Genetic Algorithm* pada permasalahan *Vendor Managed Inventory Routing Problem* dengan *lost sales*, sehingga mendukung penggunaan pendekatan evolusioner untuk mencari keputusan replenishment dan distribusi pada sistem VMI.

2.3.11 Mixed Integer Linear Programming.

Mixed Integer Linear Programming (MILP) merupakan metode optimasi matematis yang dapat memodelkan keputusan rantai pasok dengan variabel bilangan bulat dan variabel kontinu. Metode ini banyak digunakan ketika keputusan yang dibuat tidak hanya berupa jumlah, tetapi juga pilihan aktivitas, alokasi, dan periode keputusan. Choudhary & Shankar (2015) menggunakan formulasi MILP untuk membandingkan manfaat *Vendor Managed Inventory* (VMI) dengan *information sharing* pada sistem satu *supplier* dan beberapa *retailer*. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa MILP dapat digunakan untuk

memodelkan keputusan persediaan dan distribusi dalam sistem VMI dengan permintaan yang tidak tetap serta batasan tingkat layanan.

MILP juga digunakan pada model rantai pasok yang mempertimbangkan banyak tujuan dan batasan sistem. Golpîra et al. (2023) mengembangkan model robust Mixed-Integer Linear Programming pada konfigurasi rantai pasok dua eselon dengan kebijakan *Vendor Managed Inventory* dan *supply chain visibility*. Model tersebut mempertimbangkan permintaan tidak pasti, minimasi total biaya, serta keputusan dalam struktur rantai pasok. Dengan demikian, MILP dapat menjadi dasar pemodelan untuk sistem rantai pasok yang memiliki banyak entitas, banyak periode, serta keputusan distribusi yang saling berkaitan.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Objek Penelitian

Objek penelitian berfokus pada sistem pengendalian persediaan dalam rantai pasok *multi-vendor* dan *multi retailer* yang menerapkan pendekatan *Vendor Managed Inventory* (VMI) dengan mempertimbangkan *sustainability cost* untuk mencapai efisiensi biaya dan keberlanjutan operasional yang akan diteliti dan dijelaskan untuk menjawab rumusan masalah.

3.2 Subjek Penelitian

Pada penelitian ini yang menjadi Subjek Penelitian ini adalah Perusahaan X yaitu perusahaan manufaktur yang bergerak di bidang produk *electronic controller* untuk otomasi industri dan perangkat elektronik rumah tangga. Perusahaan ini bekerja sama dengan dua *vendor* dan sembilan *retailer* yang mengelola tujuh produk dalam jaringan distribusi. Sistem pemesanan yang masih bersifat konvensional menyebabkan kelebihan stok di *vendor*, serta kekurangan stok di *retailer*, sehingga menjadi dasar perlunya penelitian ini untuk mengoptimalkan pengendalian persediaan melalui melalui pendekatan *Vendor Managed Inventory* (VMI).

3.3 Jenis Data Penelitian

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder dan kajian pustaka. Data sekunder diperoleh dari Perusahaan X yang mencakup data dari *retailer* dan *vendor*. Sementara itu, kajian pustaka menggunakan dari berbagai referensi seperti buku, jurnal, hasil penelitian terdahulu, artikel. Berikut ini data yang digunakan dari perusahaan X sebagai *vendor*:

1. Data permintaan dari masing masing *retailer* (Q)
2. Data jam kerja normal untuk seluruh pekerja
3. Data jam kerja per unit

4. Biaya *set up* per periode
5. Biaya sosial, penalti ergonomi, dan limbah sebagai *sustainability cost*.

Sedangkan kebutuhan data dari *Retailer 1* hingga *Retailer 9* adalah sebagai berikut:

1. Data permintaan.
2. Keputusan pengiriman dari *vendor*.
3. Biaya penyimpanan *retailer*.
4. Biaya *lost sales*.

3.4 Komponen Model

3.4.1 Notasi Model

a. Indeks

Berikut merupakan notasi model pada penelitian ini:

- v : pemasok (*vendor*); $v = 1, 2$
 r : pembeli (*retailer*); $r = 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9$
 p : produk; $p = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$
 t : periode; $t = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14$

b. Parameter

1) Permintaan dan Persediaan

- D_{rpt} : Permintaan *retailer* r untuk produk p pada periode t unit
 I_{rpt} : Persediaan akhir *retailer* unit
 I_{rpt0} : Persediaan awal *retailer* unit
 I_{vtp} : Persediaan *vendor* v unit

2) Parameter Produksi *Vendor*

- C_{up}^{prod} : Biaya produksi *vendor* per unit Rp/unit
 h_{vp} : *Holding cost vendor* per unit per periode Rp/unit/Periode
 $time_{vp}$: Waktu proses per unit Menit/unit
 Cap_v^{labor} : kapasitas waktu kerja *vendor* per periode unit
 C^{OT} : Biaya lembur Rp/jam

3) Parameter Pengiriman (*Transport Cost*)

$dist_{vr}$	: Jarak <i>vendor retailer</i>	Rp/unit
C^{km}	: Biaya transport per km	Rp/km
A_{rp}	: Biaya tetap pengiriman ke <i>retailer r</i>	Rp/pengiriman
4) Parameter Biaya Emisi Karbon		
EF	: Emisi faktor per unit per km	$kg\ CO_2/(unit.km)$
C^{carbon}	: Biaya karbon per kg CO_2	Rp/kg CO_2
C^{scrap}	: Biaya <i>scrap</i>	Rp/kg
5) Parameter Ergonomi		
C^{ergo}	: Biaya penalti ergonomi	Rp/jam
EF	: Total jam kerja	Unit
6) Parameter <i>Setup</i> Produksi		
S_{vp}	: Biaya setup produk p di <i>vendor v</i>	Rp
f_{vtp}	: Frekuensi setup	Kali/periode
7) Parameter Biaya <i>Retailer</i>		
h_{rp}	: Biaya penyimpanan per unit per periode	Rp/unit/periode
so_{rp}	: Biaya <i>stock out</i> per unit	Rp/unit
8) Parameter <i>Lost Sales</i>		
LS_{rpt}	: <i>Lost sales retailer</i>	unit
9) Parameter Model		
T	: Jumlah periode	Hari
10) Parameter Biaya Keseluruhan		
TC_r	: Total biaya <i>retailer</i>	Rp
TC_v	: Total biaya <i>vendor</i>	Rp
JTC	: <i>Joint total cost</i>	Rp
c. Variabel Keputusan		
Q_{vpt}^{prod}	: Jumlah produksi <i>vendor</i>	Unit
Q_{vrpt}^{ship}	: Jumlah unit dikirim dari <i>vendor</i> ke <i>retailer</i>	Unit
y_{vrpt}	: 1 jika ada pengiriman	0/1

I_{rpt}	: <i>Inventory retailer</i>	Unit
I_{vtp}	: <i>Inventory vendor</i>	Unit
LS_{rtp}	: <i>Lost sales retailer</i>	Unit
S_{vtp}	: <i>Setup produksi vendor</i>	Kali

3.5 Pengembangan Model Matematis

3.5.1 Fungsi Tujuan.

Fungsi tujuan pada sistem rantai pasok Perusahaan X adalah tingginya ketidakpastian permintaan, kurangnya koordinasi antar *vendor* dan *retailer*, serta biaya distribusi yang semakin meningkat akibat kompleksitas jaringan *multi vendor* dan *multi retailer*. Kondisi ini menyebabkan terjadinya kenaikan frekuensi setup produksi, serta pemborosan biaya transportasi dan emisi karbon. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, model yang dikembangkan dalam penelitian ini menetapkan fungsi tujuan berupa minimasi total biaya gabungan (*Joint Total Cost*) pada seluruh entitas dalam rantai pasok. Fokus utamanya adalah menurunkan biaya biaya yang muncul akibat ketidakefisien proses produksi, penyimpanan, dan distribusi. Melalui penerapan sistem *Vendor Managed Inventory* (VMI), vendor diberi otoritas untuk menentukan jumlah produksi dan jumlah pengiriman kepada masing masing *retailer* secara terintegrasi. Pendekatan ini diharapkan mampu mengurangi ketidaksesuaian informasi, menekan biaya persediaan, menurunkan *lost sales*, serta meningkatkan efisien pengiriman. Berikut merupakan fungsi tujuan dari model yang dibuat pada penelitian ini:

$$\begin{aligned}
 \text{Minimasi } JTC &= (TC_r + TC_v) \\
 \text{Minimasi } JTC &= (\sum HC_r + \sum LSC_r) + (\sum DC^{disp} + \sum EC^{disp} + \sum OC^{OT} \\
 &\quad + \sum SC + \sum EC^{ergo} + \sum PCO2 + \sum TC^{del} + \sum EC^{del})
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

Berikut dibawah ini merupakan penjabaran dari biaya yang terlibat pada fungsi tujuan:

3.5.2 Total Biaya Retailer.

1) Joint Total Cost

Total biaya *retailer* merupakan akumulasi seluruh komponen biaya yang timbul dari aktivitas distribusi dan pengendalian persediaan. Biaya ini mencakup biaya penyimpanan persediaan dan biaya *lost sales*. Seluruh komponen biaya tersebut dijumlahkan untuk mengetahui total biaya yang ditanggung *retailer* dalam sistem rantai pasok. Nilai ini kemudian digunakan sebagai bagian dari perhitungan total biaya sistem dalam model optimasi.

$$TC_{retailer} = HC_r + LSC_r \quad (3.2)$$

$TC_{retailer}$: Biaya gabungan *retailer*

HC_r : Biaya Penyimpanan *retailer*

LS_r : Biaya *Lost Sales* *retailer*

2) Biaya Penyimpanan (Holding Cost)

Biaya penyimpanan pembeli merupakan biaya yang muncul karena adanya penyimpanan persediaan di gudang *retailer*. Besarnya biaya ini dipengaruhi oleh jumlah stok yang tertahan dan biaya simpan per unit untuk setiap produk. Semakin besar persediaan, semakin tinggi biaya yang harus ditanggung. Berikut merupakan rumus perhitungan biaya penyimpanan pembeli:

$$HC_r = \sum_{r=1}^r \sum_{p=1}^p \sum_{t=1}^t I_{rpt} \times h_{rp} \quad (3.3)$$

HC_r : Biaya Penyimpanan *Retailer*

I_{rpt} : *Inventory* akhir *retailer* r untuk produk p pada periode t

h_{rp} : Biaya penyimpanan per unit produk p oleh *retailer* r

3) Biaya *Lost Sales* Pembeli

Biaya *lost sales* pembeli muncul ketika *retailer* tidak memenuhi permintaan karena stok habis. Pada penelitian ini, permintaan yang tidak terpenuhi dianggap *lost sales* karena tidak ada mekanisme *backorder* atau pemesanan ulang secara medadak oleh *retailer* menuju *vendor*. Berikut merupakan rumus perhitungan biaya *lost sales* pembeli:

$$LSC_r = \sum_{r=1}^r \sum_{t=1}^t \sum_{p=1}^p LS_{rtp} \times l_{rp} \quad (3.4)$$

LS_r : Biaya *Lost Sales retailer*

LS_{rtp} : *Lost Sales* yang terjadi pada *retailer r* pada produk p

l_{rp} : Biaya *lost sales retailer r* pada produk p

3.5.3 Total Biaya Vendor.

1) Joint Total Cost

Total biaya *vendor* merupakan akumulasi seluruh komponen biaya yang timbul dari aktivitas produksi dan distribusi pada sisi *vendor*. Biaya ini mencakup biaya operasional seperti lembur, *setup*, dan transportasi, serta biaya keberlanjutan seperti limbah, emisi karbon, dan ergonomi. Seluruh komponen biaya tersebut dijumlahkan untuk mengetahui total biaya yang ditanggung vendor dalam sistem rantai pasok. Nilai ini kemudian digunakan sebagai bagian dari perhitungan total biaya sistem dalam model optimasi.

$$TC_{vendor} = DC^{disp} + EC^{disp} + OC^{OT} + SC + EC^{ergo} + PCO2 + TC^{del} + EC^{del} \quad (3.5)$$

TC_{vendor} : Total biaya *vendor*

DC^{disp} : biaya pembuangan limbah (*disposal cost*)

EC^{disp} : biaya emisi karbon dari disposal

OC_v^{OT} : biaya lembur pada vendor v

SC : total biaya *setup*

EC_v^{ergo} : biaya ergonomi pada vendor v

$PCO2_{v,p,t}$: biaya CO2 produksi

DC_{vpt} : total biaya pengiriman *vendor v* untuk produk p pada periode t

EC^{del} : total biaya emisi karbon pengiriman

2) Biaya Pembuangan Limbah

Disposal cost merupakan biaya yang timbul akibat pembuangan limbah atau produk cacat (*scrap*) yang dihasilkan selama proses produksi. *Scrap* adalah bagian dari output yang tidak memenuhi standar kualitas sehingga tidak dapat digunakan dan harus dibuang. Biaya ini umumnya dihitung berdasarkan jumlah limbah yang dihasilkan dalam satuan tertentu (misalnya kilogram) yang kemudian dikalikan dengan biaya pembuangan per satuan. Dalam penelitian ini, *disposal cost* digunakan untuk merepresentasikan dampak inefisiensi produksi sekaligus mempertimbangkan aspek lingkungan dalam sistem rantai pasok. Berikut merupakan rumus biaya pembuangan limbah:

$$DC^{disp} = \sum_{r=1}^R \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T Scrap_{rpt} \times C^{disp} \quad (3.6)$$

DC^{disp} : biaya pembuangan limbah (*disposal cost*)

$Scrap_{rpt}$: jumlah limbah atau produk cacat dalam kilogram

C^{disp} : biaya pembuangan limbah per kilogram

3) Biaya Pembuangan Limbah CO2

Biaya emisi karbon dari disposal merupakan biaya lingkungan yang timbul akibat pembuangan limbah atau scrap yang dihasilkan selama proses produksi. Dalam penelitian ini, disposal CO2 cost dihitung berdasarkan jumlah *scrap* yang dihasilkan dalam satuan kilogram, kemudian dikalikan dengan faktor emisi disposal per kilogram *scrap* serta *scrap rate* sebagai faktor penyesuaian. Secara matematis, disposal CO2 cost dirumuskan sebagai berikut:

$$EC^{disp} = Scrap_{p,t} \times EF_p^{disp} \times \left(\frac{SR_p}{1000}\right) \quad (3.7)$$

EC^{disp} : biaya emisi karbon dari disposal

$Scrap_{p,t}$: jumlah *scrap* produk *p* pada periode *t* dalam kilogram

EF_p^{disp} : faktor emisi disposal per kilogram scrap

$\left(\frac{SR_p}{1000}\right)$: biaya emisi karbon (Rp/kg)

4) Biaya Lembur Tenaga Kerja

Overtime cost merupakan biaya tambahan yang timbul akibat penggunaan jam kerja lembur ketika kebutuhan produksi melebihi kapasitas kerja normal. Dalam penelitian ini, waktu lembur yang tercatat dalam satuan menit dikonversi terlebih dahulu ke dalam satuan jam dengan membagi nilai *overtime* dengan 60. Selanjutnya, nilai tersebut dikalikan dengan biaya lembur per jam untuk memperoleh total biaya lembur yang dikeluarkan oleh *vendor*.

$$OC_v^{OT} = \frac{OT_v}{60} \times C_v^{OT} \quad (3.8)$$

OC_v^{OT} : biaya lembur pada vendor v

OT_v : total waktu lembur pada vendor v

C_v^{OT} : biaya lembur per jam

5) Biaya Setup

Biaya setup merupakan biaya tetap yang timbul ketika vendor melakukan aktivitas produksi atau pengiriman pada suatu periode. Dalam penelitian ini, biaya setup dimodelkan menggunakan variabel biner yang menunjukkan apakah pada periode tertentu terdapat aktivitas pengiriman produk dari vendor ke retailer.

Nilai variabel biner ditentukan berdasarkan total jumlah produk yang dikirim ke seluruh retailer. Apabila total pengiriman lebih besar dari nol, maka vendor dianggap melakukan aktivitas produksi atau pengiriman sehingga biaya setup dikenakan. Sebaliknya, jika tidak terdapat pengiriman pada periode tersebut, maka vendor tidak melakukan setup dan biaya setup tidak muncul.

Pendekatan ini digunakan untuk merepresentasikan kondisi nyata bahwa biaya setup hanya terjadi ketika terdapat aktivitas operasional, sehingga model dapat menggambarkan biaya secara lebih realistis sesuai dengan keputusan distribusi yang dihasilkan.

$$SC = \sum_{v=1}^V \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T K_{v,p}^{setup} \times Y_{v,p,t} \quad (3.9)$$

$$\text{dengan: } Y_{v,p,t} = \begin{cases} 1, & \text{jika } \sum_{r=1}^R Q_{v,r,p,t} > 0 \\ 0, & \text{jika } \sum_{r=1}^R Q_{v,r,p,t} = 0 \end{cases}$$

SC : total biaya *setup*

$K_{v,p}^{setup}$: biaya *setup* vendor v untuk produk p

$Y_{v,p,t}$: variabel biner yang menunjukkan ada atau tidaknya aktivitas pengiriman/produksi

$Q_{v,r,p,t}$: jumlah produk p yang dikirim dari vendor v ke *retailer* r pada periode t

6) Biaya Ergonomi

Ergonomic cost merupakan biaya yang timbul akibat beban kerja tenaga kerja dalam proses produksi. Biaya ini dihitung berdasarkan total jam kerja yang dibutuhkan (*required hours*), yang kemudian dikalikan dengan biaya penalti ergonomi per jam kerja. Semakin besar kebutuhan jam kerja, maka beban kerja yang ditanggung tenaga kerja akan semakin tinggi, sehingga biaya ergonomi yang dihasilkan juga meningkat.

$$EC_v^{ergo} = RH_v \times C_v^{ergo} \quad (3.10)$$

EC_v^{ergo} : biaya ergonomi pada vendor v

RH_v : *required hours* (total jam kerja yang dibutuhkan)

C_v^{ergo} : biaya penalti ergonomi per jam kerja

7) Biaya Produksi CO_2

Biaya emisi karbon merupakan biaya yang timbul akibat gas emisi CO_2 yang dihasilkan selama proses pengiriman produk dari *vendor* ke *retailer*. Biaya emisi karbon produksi dihitung berdasarkan total kuantitas produk yang diproduksi atau dikirim ke seluruh *retailer* pada periode tertentu, kemudian dikalikan dengan standard waktu kerja per unit sebagai representasi aktivitas produksi. Nilai tersebut selanjutnya dikalikan dengan harga karbon yang telah dikonversi untuk memperoleh biaya emisi karbon produksi. Dengan demikian, semakin besar jumlah produk dan semakin tinggi kebutuhan waktu kerja per unit, maka biaya CO_2 produksi yang dihasilkan juga akan semakin besar. Kalau untuk vendor v , produk p , dan periode t :

$$PCO2_{v,p,t} = \left(\sum_{r=1}^R Q_{v,r,p,t} \cdot \alpha_p \right) \cdot \left(\frac{CP}{1000} \right) \quad (3.11)$$

$PCO2_{v,p,t}$: biaya CO_2 produksi

$Q_{v,r,p,t}$: jumlah produk p yang dikirim dari vendor v ke *retailer* r pada periode t

α_p : waktu kerja per unit produk p
 $\frac{CP}{1000}$: konversi harga karbon ke basis kilogram

8) Biaya Pengiriman

Biaya pengiriman merupakan biaya yang timbul dari proses pengiriman produk dari *vendor* ke *retailer*. Besarnya biaya telah ditetapkan dari *vendor*. Biaya pengiriman akan muncul Ketika *vendor* mengirim produk ke *retailer*. Berapapun produk yang dikirim *vendor*, maka total biaya pengiriman yang muncul Rp125.000 untuk seluruh *retailer*. Berikut merupakan rumus perhitungan dari biaya transportasi:

$$DC_{vpt} = F_v \cdot Y_{vpt}$$

$$\text{Dengan: } Y_{vpt} = \begin{cases} 1, & \text{jika } \sum_{r=1}^9 Q_{vrpt} > 0 \\ 0, & \text{jika } \sum_{r=1}^9 Q_{vrpt} = 0 \end{cases} \quad (3.12)$$

DC_{vpt} : total biaya pengiriman *vendor* v untuk produk p pada periode t

F_v : biaya tetap pengiriman

Y_{vpt} : variabel indikator pengiriman

Q_{vrpt} : jumlah produk yang dikirim

9) Biaya Pengiriman Emisi Karbon

Biaya emisi karbon pengiriman dalam penelitian ini dihitung berdasarkan jumlah produk yang dikirim dari *vendor* ke *retailer* pada setiap periode, kemudian dikalikan dengan standar jam kerja per unit, jarak distribusi, faktor emisi, serta harga karbon. Perhitungan ini digunakan untuk merepresentasikan dampak lingkungan yang timbul dari aktivitas distribusi dalam sistem rantai pasok. Dengan pendekatan ini, semakin besar jumlah pengiriman, semakin jauh jarak distribusi, dan semakin tinggi aktivitas kerja yang terlibat, maka biaya emisi karbon yang dihasilkan juga akan semakin besar. Rumus biaya emisi karbon pengiriman dirumuskan sebagai berikut:

Secara matematis, biaya emisi karbon pengiriman dirumuskan sebagai berikut:

$$EC^{del} = \sum_{v=1}^V \sum_{r=1}^R \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T Q_{vrpt} \times \alpha_p \times d_{v,r} \times EF^{del} \cdot \left(\frac{CP}{1000} \right) \quad (3.13)$$

EC^{del} : total biaya emisi karbon pengiriman

$Q_{v,r,p,t}$: jumlah produk p yang dikirim dari *vendor* v ke *retailer* r pada periode t

α_p : standard labor hours per unit untuk produk p

$d_{v,r}$: jarak antara *vendor* v dan *retailer* r

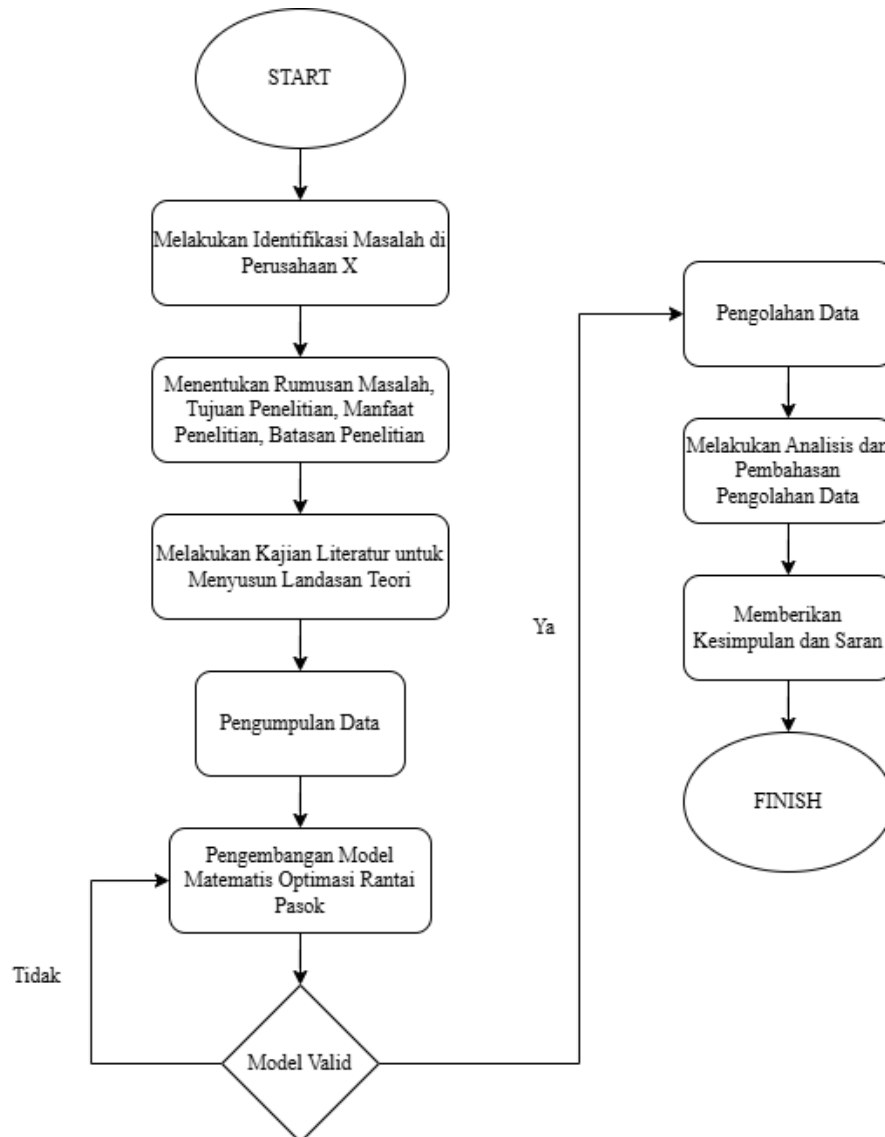
EF^{del} : faktor emisi pengiriman

CP : harga karbon dalam IDR per ton CO_2

Komponen $\frac{CP}{1000}$ digunakan untuk mengonversi harga karbon dari satuan ton CO_2 ke kilogram CO_2 , sehingga sesuai dengan satuan faktor emisi yang digunakan dalam perhitungan.

3.6 Alur Penelitian

Berikut merupakan alur penelitian dari penelitian ini:



Gambar 3. 1 Alur Penelitian

Berikut merupakan penjelasan dari Alur Penelitian pada Gambar 3.1:

1. *START*

Tahap awal (*Start*) merupakan fase pemulaan dari keseluruhan proses penelitian. Pada tahap ini, peneliti mulai menyusun arah dan fokus penelitian dengan cara menetapkan tujuan utama serta menentukan batasan permasalahan yang akan dikaji. Proses ini juga melibatkan pemahaman awal terhadap konteks dan isu utama yang

ingin diselesaikan, sehingga menjadi dasar dalam penyusunan langkah - langkah penelitian berikutnya.

2. Identifikasi masalah

Pada tahap Identifikasi Masalah dilakukan untuk memahami secara menyeluruh kondisi nyata sistem rantai pasok di Perusahaan X serta menemukan penyebab utama ketidak efisienan yang terjadi. Pada tahap ini, peneliti meninjau bagaimana proses kerja antara *vendor* dan *retailer* masih berjalan secara konvensional, di mana pemesanan belum terkoordinasi dengan baik sehingga menimbulkan kelebihan stok di vendor, dan kekurangan stok di retailer. Selain itu, peneliti juga memperhatikan bahwa aspek *sustainability cost*, seperti biaya sosial, ergonomic, limbah, dan emisi karbon belum menjadi bagian dari pertimbangan bagian keputusan.

3. Rumusan Masalah, Tujuan Penelitian, dan Batasan Penelitian

Pada tahap ini, peneliti merumuskan inti permasalahan yang akan diselesaikan berdasarkan hasil identifikasi masalah yang telah dilakukan sebelumnya. Rumusan masalah disusun agar arah penelitian lebih jelas dan terukur. Selanjutnya, penelitian menetapkan tujuan penelitian yang menggambarkan hasil akhir yang ingin dicapai melalui proses pengembangan model optimasi berbasis *Vendor Managed Inventory* (VMI). Selain itu, batasan juga ditentukan untuk memperjelas ruang lingkup kajian agar pembahasan tetap dan tidak melebar dari konteks penelitian yang berkaitan dengan sistem *multi vendor*, *multi retailer* dan pertimbangan *sustainability cost* di Perusahaan X.

4. Kajian Literatur dan Landasan Teori

Kajian literatur pada penelitian menggunakan penelitian terdahulu serta mencari landasan teori yang relevan dengan topik yang di teliti. Hasil dari kajian literatur untuk menyusun *research gap* untuk menyempurnakan teori serta menjadikan dasar perumusan masalah. Pada landasan teori menjelaskan terkait *supply chain*, *supply chain management*, persediaan, metode pengendalian persediaan, permintaan, *vendor managed inventory*, *multi vendors*, *multi retailers*, *sustainability cost*, algoritma genetika.

5. Pengumpulan Data

Pada tahap pengumpulan data menggunakan data sekunder dari Perusahaan X. Jenis penelitian menggunakan data kualitatif dan menggunakan uji validitas. Dan akan diolah pada tahap pengembangan model.

6. Pengembangan Model

Pengembangan model guna peenyusun model matematis yang menjadi fokus dalam penelitian ini. Langkah pertama diawali dengan menjelaskan karakter sistem yang diteliti. Langkah kedua, melakukan pengembangan model matematis dengan mempertimbangkan variabel yang digunakan. Model yang telah terbentuk akan di verifikasi kembali guna memastikan apakah sesuai dengan realita dan menggunakan satuan yang konsistensi pada setiap komponennya.

7. Validasi Model

Tahap validasi model dilakukan untuk memastikan bahwa model matematis yang dikembangkan sudah secara logis dan konsisten sebelum digunakan dalam proses optimasi. Pada tahap ini, peneliti meninjau kembali setiap komponen dan rumus dalam model untuk memastikan kesesuaian satuan serta keterhubungan antar variabel, sehingga hasil perhitungan yang dihasilkan dapat dipercaya dan digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam sistem rantai pasok. Tabel 3.1 menunjukkan validasi model dari semua biaya yang digunakan dalam penelitian ini:

Tabel 3. 1 Validasi Model

Persamaan	Pemeriksaan Satuan	Status
Biaya penyimpanan <i>retailer</i>	$HC_r = \sum_{r=1}^r \sum_{p=1}^p \sum_{t=1}^t I_{rpt} \times h_{rp}$ $HC_r = \cancel{unit} \times \frac{Rp}{\cancel{unit}}$ $HC_r = Rp$	Valid
Biaya <i>lost sales retailer</i>	$LSC_r = \sum_{r=1}^r \sum_{t=1}^t \sum_{p=1}^p LS_{rtp} \times l_{rp}$ $LSC_r = unit \times \frac{Rp}{unit}$	Valid

Persamaan	Pemeriksaan Satuan	Status
	$LSC_r = \cancel{unit} \times \frac{Rp}{\cancel{unit}}$ $LSC_r = Rp$	
Biaya Pembuangan Limbah <i>vendor</i>	$DC^{disp} = \sum_{r=1}^R \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T Scrap_{rpt} \times C^{disp}$ $DC^{disp} = kg \times \frac{Rp}{kg}$ $DC^{disp} = \cancel{kg} \times \frac{Rp}{\cancel{kg}}$ $DC^{disp} = Rp$	Valid
Biaya Pembuangan Limbah CO_2 <i>vendor</i>	$EC^{disp} = Scrap_{p,t} \times EF_p^{disp} \times (\frac{SR_p}{1000})$ $EC^{disp} = kg \times \frac{kgCO_2}{kg} \times \frac{Rp/tonCO_2}{1000}$ $EC^{disp} = \cancel{kg} \times \frac{kgCO_2}{\cancel{kg}} \times \frac{Rp}{kgCO_2}$ $EC^{disp} = \cancel{kgCO_2} \times \frac{Rp}{\cancel{kgCO_2}}$ $EC^{disp} = Rp$	Valid
Biaya Lembur Tenaga Kerja	$OC_v^{OT} = \frac{OT_v}{60} \times C_v^{OT}$ $OC_v^{OT} = \frac{menit}{60} \times \frac{Rp}{jam}$ $OC_v^{OT} = \cancel{jam} \times \frac{Rp}{\cancel{jam}}$ $OC_v^{OT} = Rp$	Valid
Biaya <i>setup vendor</i>		Valid

Persamaan	Pemeriksaan Satuan	Status
	$SC = \sum_{v=1}^V \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T K_{v,p}^{setup} \times Y_{v,p,t}$ dengan: $Y_{v,p,t} =$ $\begin{cases} 1, & \text{jika } \sum_{r=1}^R Q_{v,r,p,t} > 0 \\ 0, & \text{jika } \sum_{r=1}^R Q_{v,r,p,t} = 0 \end{cases}$ $SC = Rp \times 1; Rp \times 0$ $SC = Rp$	
Biaya Ergonomi <i>vendor</i>	$EC_v^{ergo} = RH_v \times C_v^{ergo}$ $EC_v^{ergo} = jam \times \frac{Rp}{jam}$ $EC_v^{ergo} = \cancel{jam} \times \frac{Rp}{\cancel{jam}}$ $EC_v^{ergo} = Rp$	Valid
Biaya Produksi CO_2	$PCO2_{v,p,t} = \left(\sum_{r=1}^R Q_{v,r,p,t} \cdot \alpha_p \right)$ $\times \left(\frac{CP}{1000} \right)$ $PCO2_{v,p,t} = \left(unit \times \frac{kgCO_2}{unit} \right)$ $\times \left(\frac{Rp/ton}{1000} \right)$ $PCO2_{v,p,t} = \left(\cancel{unit} \times \frac{kgCO_2}{\cancel{unit}} \right) \times \left(\frac{Rp}{kgCO_2} \right)$ $PCO2_{v,p,t} = Rp$	Valid
Biaya pengiriman <i>vendor</i> ke <i>retailer</i> n	$DC_{vpt} = F_v \cdot Y_{vpt}$ Dengan: $Y_{vpt} =$ $\begin{cases} 1, & \text{jika } \sum_{r=1}^9 Q_{vrpt} > 0 \\ 0, & \text{jika } \sum_{r=1}^9 Q_{vrpt} = 0 \end{cases}$ $DC_{rv} = Rp \times 1$	Valid

Persamaan	Pemeriksaan Satuan	Status
	$DC_{rv} = Rp$	
	$EC^{del} = \sum_{v=1}^V \sum_{r=1}^R \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T Q_{vrpt} \times \alpha_p \times d_{v,r}$ $\times EF^{del} \cdot \left(\frac{CP}{1000} \right)$	
Biaya Pengiriman Emisi Karbon	$EC = unit \times \frac{jam}{unit} \times km \times \frac{kgCO_2}{jam \times km}$ $\times \frac{Rp}{kgCO_2}$ $EC = \cancel{unit} \times \frac{\cancel{jam}}{\cancel{unit}} \times \cancel{km} \times \frac{\cancel{kgCO_2}}{\cancel{jam} \times \cancel{km}}$ $\times \frac{Rp}{\cancel{kgCO_2}}$ $EC = Rp$	Valid

8. Pengolahan Data

Pada tahap ini dilakukan pengolahan data sekunder yang diperoleh dari Perusahaan X, mencakup dari dua vendor dan sembilan *retailer* untuk tujuh produk yang dikelola. Proses pengolahan diawali dengan penyusunan serta pembersihan data agar sesuai dengan variabel penelitian. Data tersebut kemudian digunakan untuk membangun model matematis berbasis MILP dengan mempertimbangkan hubungan antar *vendor*, *retailer*, dan produk. Tahap selanjutnya adalah proses optimasi menggunakan EA melalui Excel Solver untuk memperoleh hasil optimasi berupa total biaya rantai pasok minimum (*Joint Total Cost*), frekuensi pengiriman terbaik, serta kebijakan distribusi yang paling efisien.

9. Analisis dan Pembahasan

Tahap analisis dan pembahasan untuk memahami hasil perhitungan dari model optimasi berbasis *Vendor Managed Inventory* (VMI) yang dikembangkan melalui *Mixed Integer Linear Programming* (MILP) dan diselesaikan menggunakan *Evolutionary Algorithm* (EA). Pada tahap ini, peneliti membandingkan kondisi awal

rantai pasok Perusahaan X yang masih bersifat konvensional dengan hasil optimasi yang diperoleh dari model. Perbandingan mencakup perubahan sistem pemesanan, frekuensi pengiriman, serta total biaya rantai pasok yang terdiri dari biaya pesanan, persediaan, kehilangan penjualan, dan *sustainability cost*. Melalui hasil tersebut, dilakukan pembahasan mengenai sejauh mana penerapan model mampu menekan biaya dan meningkatkan efisiensi distribusi. Selain itu, kinerja algoritma juga ditinjau dengan seberapa cepat dan stabil hasil dari penelitian untuk memastikan solusi yang dihasilkan benar benar mendukung istem rantai pasok yang efisien dan berkelanjutan di Perusahaan X.

10. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan disusun untuk merangkum hasil analisis dan menjawab tujuan penelitian, terutama mengenai bagaimana model optimasi berbasis *Vendor Managed Inventory* (VMI) pada sistem *multi vendor* dan *multi retailer* dengan pertimbangan *sustainability cost* mampu meningkatkan efisiensi rantai pasok. Sementara itu, bagian saran memuat rekomendasi pengembangan yang dapat dilakukan pada penelitian berikutnya maupun penerapan praktis di perusahaan agar hasil penelitian ini dapat diimplementasikan secara lebih optimal dan berkelanjutan.

11. *FINISH*

Penelitian dianggap selesai ketika seluruh tahapannya telah diselesaikan dan laporan aktif berhasil disusun. Hasil dari penelitian tersebut dapat dipublikasikan atau dimanfaatkan untu berbagai tujuan, seperti mendukung perumusan kebijakan maupun mendorong terciptanya inovasi baru.

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data merupakan tahap untuk memperoleh informasi yang dibutuhkan dalam penyusunan model optimasi. Pada penelitian ini, data yang digunakan menggunakan data sekunder yang meliputi data permintaan, data jam kerja, biaya pembuangan limbah, biaya lembur, biaya penyimpanan, biaya pengieiman, biaya *lost sales*, serta komponen *sustainability cost* seperti biaya emisi karbon dan biaya sosial. Berikut merupakan pengumpulan data dari penelitian saat ini.

4.1.1 Deskripsi Sistem.

Sistem rantai pasok pada penelitian ini menggunakan pendekatan *Vendor Managed Inventory* (VMI) dalam struktur multi eselon yang terdiri dari dua tingkatan utama, yaitu *vendor* sebagai eselon pertama dan *retailer* sebagai eselon kedua. Sistem ini melibatkan dua *vendor* yang berperan sebagai pemasok utama, sembilan *retailer* sebagai pihak yang melayani permintaan pelanggan, serta tujuh jenis produk yang dikelola dalam satu jaringan distribusi. Seluruh aktivitas produksi, pengiriman, dan pengelolaan persediaan diamati dalam horizon perencanaan selama 14 hari, sehingga setiap keputusan yang diambil dalam model mempertimbangkan kondisi permintaan dan persediaan setiap periode harian.

Berdasarkan struktur aliran distribusi yang hanya berlangsung dari *vendor* menuju *retailer* tanpa adanya *lateral transshipment*, sistem dalam penelitian ini dikategorikan sebagai sistem distribusi satu arah. Dalam mekanisme pemenuhan permintaan, terdapat beberapa skenario yang dapat terjadi. Skenario 1 terjadi ketika di mana setiap *retailer* dapat menerima pasokan lebih dari satu *vendor* sesuai hasil keputusan optimasi. Dengan struktur tersebut, keputusan produksi, pengiriman, dan pengendalian persediaan ditentukan ditentukan melalui proses optimasi yang mempertimbangkan data permintaan harian masing masing *retailer*, kapasitas produksi tiap *vendor*, serta kondisi persediaan pada setiap periode. Keberadaan dua *vendor* memberikan fleksibilitas dalam alokasi

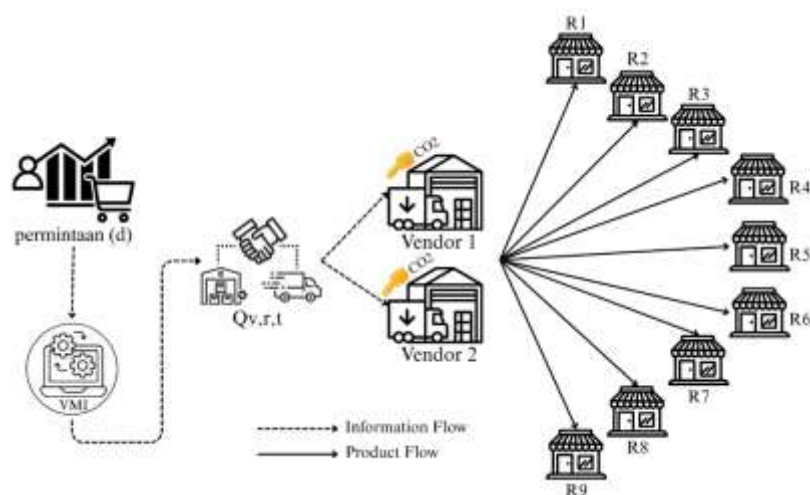
pasokan, sehingga apabila salah satu *vendor* mengalami keterbatasan kapasitas atau ketersediaan stok pada periode tertentu, permintaan masih dapat dipenuhi oleh *vendor* lainnya selama kapasitas mencukupi. Namun, apabila total kapasitas kedua *vendor* tidak mampu memenuhi permintaan, maka selisih permintaan akan dianggap sebagai *lost sales*.

Oleh karena itu, model yang dikembangkan dalam penelitian ini berperan dalam menentukan keputusan produksi, distribusi, dan persediaan secara terintegrasi dengan mempertimbangkan biaya operasional serta *sustainability cost*. Pemilihan *vendor* dan jumlah distribusi pada setiap periode tidak dilakukan secara acak, melainkan ditentukan berdasarkan hasil optimasi yang meminimal *total cost*, sehingga alternatif dengan biaya rendah akan dipilih sebagai solusi. Selain itu, sistem ini juga mempertimbangkan bahwa permintaan pada setiap periode bersifat dinamis dan tidak selalu pasti. Dengan mekanisme tersebut, sistem dalam penelitian ini cenderung menggunakan pendekatan *push system*, di mana *vendor* secara proaktif menentukan jumlah dan waktu pengiriman berdasarkan informasi permintaan yang tersedia.

Sejalan dengan kondisi sistem tersebut, permintaan pada setiap *retailer* dalam penelitian ini tidak diasumsikan sebagai nilai yang tetap, melainkan bersifat dinamis dan dapat berubah pada setiap periode. Oleh karena itu, permintaan dimodelkan sebagai variabel stokastik untuk merepresentasikan ketidakpastian pada kondisi nyata. Pembangkitan data permintaan dilakukan menggunakan distribusi lognormal dengan parameter rata rata dan standar deviasi yang diperoleh dari data yang tersedia, yang kemudian dikonversi ke dalam skala harian. Proses ini dilakukan melalui pendekatan *inverse transform sampling* dengan menggunakan fungsi *lognormal inverse* dengan mengambil angka random (0-1) ditransformasikan menjadi nilai *demand* yang mengikuti distribusi lognormal sehingga mampu merepresentasikan pola permintaan yang selalu bernilai positif dan fluktuasi secara realistis. Nilai permintaan yang dihasilkan selanjutnya digunakan sebagai input dalam proses optimasi untuk menentukan keputusan produksi dan distribusi yang optimal. Dalam hal ini, permintaan tidak secara langsung menentukan keputusan, melainkan menjadi dasar pertimbangan dalam model yang bertujuan meminimalkan total biaya. Dengan pendekatan ini, model yang dikembangkan tidak

hanya mencerminkan kondisi rata rata, tetapi juga mampu menangkap dinamika sistem yang lebih mendekati kondisi nyata.

Berdasarkan nilai permintaan yang telah dihasilkan pada setiap periode, sistem selanjutnya merespons kebutuhan tersebut melalui penentuan keputusan distribusi yang direpresentasikan dalam variabel $Q_{v,r,t}$ yaitu jumlah produk yang dikirim dari *vendor* ke masing masing *retailer* pada periode tertentu. (Q) menunjukkan jumlah produk yang dikirim, (v) merepresentasikan *vendor* sebagai pihak pemasok, (r) menunjukkan *retailer* sebagai pihak penerima, (t) adalah periode pengiriman. Nilai $Q_{v,r,t}$ ditentukan melalui proses optimasi dengan mempertimbangkan permintaan yang terjadi, kapasitas produksi *vendor* serta kondisi persediaan pada setiap periode. Dalam hal ini, pemilihan *vendor* untuk setiap produk berdasarkan hasil minimasi total biaya, sehingga untuk setiap produk dan periode, model akan memilih *vendor* akan memilih total biaya paling rendah diantara dua alternatif *vendor* yang tersedia. Dengan demikian, setiap produk akan dipasok oleh *vendor* yang berbeda tergantung pada kombinasi biaya yang paling efisien. Komponen ini secara langsung memengaruhi jumlah persediaan yang tersedia di *retailer* serta menentukan apakah permintaan dapat terpenuhi atau berpotensi *lost sales*. Sehingga variabel $Q_{v,r,t}$ menjadi komponen utama yang mempertimbangkan permintaan, distribusi, dan kinerja sistem secara keseluruhan. Berikut merupakan visualisasi diagram pada sistem rantai pasok Perusahaan X:



Gambar 4. 1 Visualisasi Diagram Rantai Pasok Perusahaan X

Pada gambar 4.1 dijelaskan bahwa sistem rantai pasok multi eselon dalam penelitian ini menerapkan konsep *Vendor Managed Inventory* (VMI) yang terdiri dari dua *vendor* yang dituliskan pada Gambar 4.1 sebagai “Vendor 1” dan “Vendor 2” dan sembilan *retailer* yang dituliskan “R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9” yang menjadi input utama dalam sistem dan diproses oleh VMI sebagai pusat pengambilan keputusan yang kemudian menghasilkan keputusan distribusi yang direpresentasikan dalam variabel “ $Q_{v,r,t}$ ”. Variabel ini menunjukkan jumlah produk yang dikirim dari *vendor* ke masing masing *retailer* pada setiap periode, sekaligus merepresentasikan pemilihan *vendor* yang digunakan untuk memenuhi permintaan.

Information flow digambarkan melalui garis putus putus yang menunjukkan bagaimana data permintaan diproses oleh sistem VMI hingga menghasilkan keputusan produksi. Selanjutnya, keputusan tersebut diterjemahkan ke dalam *Product flow* yang ditunjukkan oleh garis panah solid, di mana produk dikirim dari *vendor* menuju *retailer* secara langsung. Dalam sistem ini, tidak terdapat *lateral transshipment* sehingga setiap *retailer* hanya menerima pasokan dari *vendor* tanpa adanya perpindahan produk antar *retailer*. Melalui mekanisme tersebut, sistem mampu menentukan kombinasi distribusi yang paling efisien berdasarkan hasil optimasi yang meminimalkan total biaya. Dengan demikian, pemilihan *vendor* untuk semua produk dan periode dilakukan berdasarkan alternatif dengan biaya terendah, sehingga sistem dapat menjaga keseimbangan antara pemenuhan permintaan dan efisiensi biaya dalam rantai pasok secara keseluruhan.

4.1.2 Deskripsi Produk.

Sistem dalam penelitian ini melibatkan beberapa jenis produk elektronik yang memiliki karakteristik teknis dan operasional yang berbeda. Setiap produk dirancang untuk fungsi tertentu, seperti pengendalian sistem, pengaturan daya, serta pengolahan sinyal pada berbagai perangkat elektronik rumah tangga. Perbedaan fungsi tersebut menyebabkan variasi pada parameter produk, seperti berat, volume, kebutuhan tenaga kerja, tingkat emisi karbon, dan tingkat cacat produksi. Berikut merupakan estimasi dari masing masing produk.

1. Refrigerator Mainboard (P1)

Produk ini merupakan papan kontrol utama pada kulkas yang mengatur fungsi kompresor, sistem *defrost*, dan sensor suhu. Dengan berat 2,99 kg dan volume 0,0185 m³, produk ini termasuk yang paling besar secara fisik. Kebutuhan tenaga kerja mencapai 105,6 menit per unit, menunjukkan kompleksitas perakitan yang tinggi. Selain itu, produk ini menghasilkan emisi sebesar 6,13 kg CO₂ per unit dengan tingkat *scrap* sebesar 4,8%.

2. *Washing Machine Control Panel (P2)*

Panel kontrol mesin cuci ini berfungsi untuk pengaturan siklus pencucian serta pengendalian motor dan katup air. Produk memiliki berat 1,33 kg dengan volume 0,0138 m³. Waktu produksi relatif sedang yaitu 54,6 menit per unit. Emisi karbon yang dihasilkan sebesar 6,23 kg CO₂, dengan tingkat cacat produksi 4,7%.

3. *AC Display & Control Board (P3)*

Produk ini digunakan pada unit AC *indoor* sebagai antarmuka pengguna, termasuk penerima sinyal *remote* dan pengaturan mode operasi. Memiliki berat 2,53 kg dan volume 0,0064 m³. Kebutuhan tenaga kerja relatif rendah dari produk lain yaitu 21 menit per unit, namun menghasilkan emisi tertinggi sebesar 8,6 kg CO₂ per unit. *Scrap rate* berada di angka 4%.

4. *Induction Cooker Power Control Board (P4)*

Modul ini berfungsi untuk mengatur daya dan suhu pada kompor induksi menggunakan teknologi IGBT. Dengan berat 2,56 kg dan volume 0,0084 m³, produk ini membutuhkan 60,6 menit tenaga kerja per unit. Emisi karbon relatif rendah yaitu 2,38 kg CO₂, dengan *scrap rate* sebesar 4,1%.

5. *Smart Lock Motor Driver (P5)*

Produk ini merupakan pengendali motor pada *smart lock*, termasuk fungsi sensor dan keamanan. Beratnya mencapai 2,93 kg dengan volume 0,0054 m³. Waktu produksi sebesar 42 menit per unit. Emisi karbon sebesar 5,47 kg CO₂, namun memiliki tingkat cacat paling rendah yaitu 2,1%, menunjukkan proses produksi yang lebih stabil.

6. *Air Purifier Control Module (P6)*

Modul ini digunakan untuk mengontrol kipas, ionizer, dan sensor kualitas udara pada *air purifier*. Produk ini paling ringan dengan berat 0,51 kg dan volume 0,0042 m³.

Kebutuhan tenaga kerja sebesar 34,8 menit per unit. Emisi karbon sebesar 3,82 kg CO₂ dengan scrap rate 3,1%.

7. LED Lamp Driver (P7)

Driver ini berfungsi untuk mengatur arus listrik pada lampu LED, termasuk fitur dimming berbasis PWM. Berat produk sebesar 1,16 kg dengan volume 0,0039 m³. Waktu produksi 34,2 menit per unit. Emisi karbon mencapai 5,39 kg CO₂, dengan tingkat cacat produksi sebesar 4,2%.

4.1.3 Data Penelitian.

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh kebutuhan informasi yang diperlukan dalam proses pemodelan dan analisis dapat terpenuhi dengan baik. Data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari sumber yang relevan dengan sistem yang diteliti, khususnya yang berkaitan dengan parameter produk, *vendor*, serta komponen biaya dalam rantai pasok. Data tersebut selanjutnya disajikan secara terstruktur pada Tabel 4.1 sebagai dasar dalam pengolahan dan perhitungan pada model yang dikembangkan.

Tabel 4. 1 Data Biaya *Vendor* 1 dan Produk

VENDOR 1		
Jenis Biaya	P1	Satuan
Biaya Produksi per Unit	770476	Rp/Unit
Biaya Setup	38370	Rp/Produk/Unit
Jam Kerja per Unit	1,684	Jam/Unit
<i>ScrapRate</i>	0,0584	Proporsi
VENDOR 1		
Jenis Biaya	P2	Satuan
Biaya Produksi per Unit	638568	Rp/Unit
Biaya Setup	27280	Rp/Produk/Unit
Jam Kerja per Unit	0,92	Jam/Unit
<i>ScrapRate</i>	0,051	Proporsi
VENDOR 1		
Jenis Biaya	P3	Satuan
Biaya Produksi per Unit	829080	Rp/Unit
Biaya Setup	29700	Rp/Produk/Unit

Jam Kerja per Unit	0,36	Jam/Unit
<i>ScrapRate</i>	0,0472	Proporsi

VENDOR 1		
Jenis Biaya	P4	Satuan
Biaya Produksi per Unit	829472	Rp/Unit
Biaya Setup	26860	Rp/Produk/Unit
Jam Kerja per Unit	1,009	Jam/Unit
<i>ScrapRate</i>	0,0363	Proporsi

VENDOR 1		
Jenis Biaya	P5	Satuan
Biaya Produksi per Unit	499604	Rp/Unit
Biaya Setup	18880	Rp/Produk/Unit
Jam Kerja per Unit	0,658	Jam/Unit
<i>ScrapRate</i>	0,0191	Proporsi

VENDOR 1		
Jenis Biaya	P6	Satuan
Biaya Produksi per Unit	558600	Rp/Unit
Biaya Setup	44420	Rp/Produk/Unit
Jam Kerja per Unit	0,582	Jam/Unit
<i>ScrapRate</i>	0,0321	Proporsi

VENDOR 1		
Jenis Biaya	P7	Satuan
Biaya Produksi per Unit	451584	Rp/Unit
Biaya Setup	29280	Rp/Produk/Unit
Jam Kerja per Unit	0,563	Jam/Unit
<i>ScrapRate</i>	0,0427	Proporsi

Tabel 4. 2 Data Biaya *Vendor 2* dan Produk

VENDOR 2		
Jenis Biaya	P1	Satuan
Biaya Produksi per Unit	801924	Rp/Unit
Biaya Setup	38370	Rp/Produk/Unit
Jam Kerja per Unit	1,994	Jam/Unit
<i>ScrapRate</i>	0,0354	Proporsi

VENDOR 2		
Jenis Biaya	P2	Satuan
Biaya Produksi per Unit	664632	Rp/Unit
Biaya Setup	27280	RP/Produk/Unit
Jam Kerja per Unit	0,916	Jam/Unit
<i>ScrapRate</i>	0,0504	Proporsi

VENDOR 2		
Jenis Biaya	P3	Satuan
Biaya Produksi per Unit	862920	Rp/Unit
Biaya Setup	29700	Rp/Produk/Unit
Jam Kerja per Unit	0,342	Jam/Unit
<i>ScrapRate</i>	0,043	Proporsi

VENDOR 2		
Jenis Biaya	P4	Satuan
Biaya Produksi per Unit	863328	Rp/Unit
Biaya Setup	26860	Rp/Produk/Unit
Jam Kerja per Unit	1,025	Jam/Unit
<i>ScrapRate</i>	0,0361	Proporsi

VENDOR 2		
Jenis Biaya	P5	Satuan
Biaya Produksi per Unit	519996	Rp/Unit
Biaya Setup	18880	Rp/Produk/Unit
Jam Kerja per Unit	0,72	Jam/Unit
<i>ScrapRate</i>	0,0204	Proporsi

VENDOR 2		
Jenis Biaya	P6	Satuan
Biaya Produksi per Unit	581400	Rp/Unit
Biaya Setup	44420	RP/Produk/Unit
Jam Kerja per Unit	0,591	Jam/Unit
<i>ScrapRate</i>	0,0351	Proporsi

VENDOR 2		
Jenis Biaya	P7	Satuan
Biaya Produksi per Unit	470016	Rp/Unit

Biaya Setup	29280	RP/Produk/Unit
Jam Kerja per Unit	0,58	Jam/Unit
<i>ScrapRate</i>	0,0459	Proporsi

4.2 Pengolahan Data

Pada tahap pengolahan data dalam penelitian ini, dilakukan pemrosesan data sekunder yang telah diperoleh untuk menyesuaikan dengan kebutuhan model optimasi yang dikembangkan. Data yang digunakan meliputi parameter permintaan, karakteristik produk, serta parameter biaya dari masing-masing *vendor* dan *retailer*. Selanjutnya, data tersebut diolah mengikuti tahapan perhitungan yang telah disusun dalam algoritma penyelesaian model. Proses pengolahan data bertujuan untuk memperoleh kombinasi keputusan yang menghasilkan nilai total biaya minimum dalam sistem rantai pasok. Perhitungan dilakukan secara terintegrasi dengan mempertimbangkan komponen biaya pada sisi *vendor* maupun *retailer*, sehingga diperoleh total biaya gabungan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan. Dalam penelitian ini, proses perhitungan dilakukan untuk setiap kombinasi produk, *vendor*, dan periode, sehingga dapat diketahui keputusan distribusi yang paling efisien, termasuk pemilihan *vendor* yang optimal untuk setiap produk berdasarkan hasil minimasi total biaya.

4.2.1 Perhitungan Biaya Retailer

Langkah 1: Generate Data pada Demand Retailer

Langkah pertama pada *generate data* penelitian ini adalah penentuan parameter permintaan dan pembangkitan data permintaan untuk setiap produk. Parameter yang digunakan meliputi nilai rata-rata dan standar deviasi yang diperoleh dari data yang bervariasi. Berikut merupakan contoh perhitungan dari *retailer 1* untuk periode 1 selama 14 hari. Pada *retailer 1* data menunjukkan memiliki rata-rata distribusi permintaan pada produk 1 sebesar 74 dengan standar deviasi 12. Berdasarkan data yang dimiliki *generate data* permintaan *customer* pada *retailer 1* untuk produk 1 dengan periode 14 hari yang ditampilkan sebagai berikut.

Tabel 4. 3 Permintaan Harian *Retailer* 1 Produk 1

periode (t)	Daily Demand (unit)	periode (t)	Daily Demand (unit)
1	2	8	3
2	1	9	6
3	2	10	3
4	5	11	1
5	2	12	2
6	2	13	5
7	4	14	1

Langkah 2: Membuat Model Simulasi Perhitungan

Pada tahap ini dilakukan pembentukan model simulasi perhitungan dengan menggunakan satu contoh kasus, yaitu *retailer* 1 untuk produk 1. Contoh ini digunakan untuk menggambarkan alur perhitungan dalam model yang dikembangkan, sedangkan perhitungan lengkap untuk seluruh kombinasi *retailer* dan produk disajikan pada bagian lampiran. Model simulasi ini menunjukkan perubahan kondisi persediaan pada setiap periode yang dipengaruhi oleh persediaan awal, permintaan harian, jumlah barang yang diterima dari *vendor*, persediaan akhir, serta potensi *lost sales* yang terjadi dengan periode 1 hingga periode 5, belum terdapat produk yang diterima dari vendor sehingga nilai jumlah diterima bernilai 0. Hal tersebut disebabkan oleh lead time pengiriman selama 5 hari, sehingga pengiriman pertama baru diterima pada periode ke 6. Melalui simulasi ini, aliran persediaan dapat diamati secara bertahap dari satu periode ke periode berikutnya sehingga memberikan gambaran bagaimana sistem bekerja sebelum dilakukan proses optimasi. Pada tahap ini, jumlah barang yang diterima dari *vendor* masih digunakan sebagai bagian dari alur perhitungan model. Nilai tersebut nantinya akan menjadi variabel keputusan yang dioptimasi pada tahap selanjutnya untuk memperoleh kombinasi keputusan yang menghasilkan total biaya yang lebih rendah. Data awal serta hasil perhitungan model untuk *retailer* 1 pada produk 1 selanjutnya disajikan dalam bentuk tabel sebagai representasi dari proses pengolahan data yang dilakukan sebagai berikut:

Tabel 4. 4 Simulasi Perhitungan

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian (d)	Persediaan Akhir (I)	Jumlah Diterima dari Vendor	Lost Sales (Unit)
1	28	2	26	Periode <i>Leadtime</i>	0
2	26	1	25	Periode <i>Leadtime</i>	0
3	25	2	23	Periode <i>Leadtime</i>	0
4	23	5	18	Periode <i>Leadtime</i>	0
5	18	2	16	Periode <i>Leadtime</i>	0
6	16	2	19	5	0
7	19	4	17	2	0
8	17	3	14	0	0
9	14	6	8	0	0
10	8	3	13	8	0
11	13	1	13	1	0
12	13	2	12	1	0
13	12	5	15	8	0
14	15	1	14	0	0

Langkah 3: Melakukan Optimasi Keputusan Pengiriman

Pada tahap ini ditentukan keputusan jumlah produk yang dikirim dari *vendor* ke *retailer* pada setiap periode. Variabel keputusan yang digunakan adalah $Q_{v,r,p,t}$, yaitu jumlah produk yang dikirim dari *vendor* v ke *retailer* r untuk produk p pada periode t .

Variabel ini merepresentasikan keputusan pengiriman dalam sistem yang melibatkan beberapa *vendor* dan *retailer*, sehingga memungkinkan terjadinya *multi sourcing* dalam pemenuhan permintaan. Nilai pengiriman ini akan mempengaruhi kondisi persediaan, pemenuhan permintaan, serta biaya yang timbul dalam sistem.

$$Q_{r,p,t} = \sum_v Q_{v,r,p,t}$$

Dalam penelitian ini, karena memiliki dua *vendor* sehingga persamaan tersebut dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Q_{r,p,t} = Q1_{r,p,t} + Q2_{r,p,t}$$

Sebagai contoh, pada contoh kasus produk 1, *retailer* 1 yang di sajikan sebagai berikut:

$$Q_{r,p,t} = 2 + 3$$

$$Q_{r,p,t} = 5$$

Langkah 4: Menghitung Biaya Persediaan *Retailer*.

Pada tahap ini dilakukan perhitungan biaya persediaan pada sisi pembeli yang diperoleh dari hasil perkalian antara jumlah persediaan akhir yang disimpan dengan biaya simpan per unit. Biaya persediaan pembeli dihitung untuk mengetahui besarnya biaya yang timbul akibat penyimpanan produk selama periode perencanaan. Sesuai dengan yang terjadi pada *retailer* 1 dan produk 1, maka dituliskan sesiai persamaan 3.3:

$$HC_{r,p} = \sum_{t=1}^{14} I_{1,1,14} \times h_{1,1}$$

$$\begin{aligned} HC_{1,1} = & (26 \times 44,3333) + (25 \times 44,3333) + (23 \times 44,3333) + (18 \times 44,333) + \\ & (16 \times 44,333) + (19 \times 44,33333) + (17 \times 44,33333) + (14 \times 44,33333) + \\ & (8 \times 44,33333) + (13 \times 44,33333) + (13 \times 44,33333) + (12 \times 44,33333) + \\ & (15 \times 44,33333) + (14 \times 44,33333) = \text{Rp}10.329,67 \end{aligned}$$

Tabel 4. 5 Biaya Persediaan *Retailer*

periode (t)	Persediaan Akhir (I)	Biaya Penyimpanan
1	26	Rp1.152,67
2	25	Rp1.108,33
3	23	Rp1.019,67
4	18	Rp798,00
5	16	Rp709,33
6	19	Rp842,33
7	17	Rp753,67
8	14	Rp620,67
9	8	Rp354,67
10	13	Rp576,33
11	13	Rp576,33
12	12	Rp532,00

periode (t)	Persediaan Akhir (I)	Biaya Penyimpanan
13	15	Rp665,00
14	14	Rp620,67
TOTAL	233	Rp10.329,67

Langkah 5: Menghitung Biaya *Lost Sales*.

Biaya *lost sales* dihitung berdasarkan jumlah produk yang tidak terpenuhi pada setiap periode dikalikan dengan biaya *lost sales* per unit. Sebagai contoh, pada *retailer* 1 produk 1 total *lost sales* yang terjadi adalah 0 unit dengan biaya *lost sales* sebesar Rp69.100 per unit, menggunakan rumus sesuai dengan persamaan 3.4 sebagai berikut:

$$LSC_1 = 0 \times 69.100$$

$$LSC_1 = Rp0$$

Langkah 6: Menghitung Total Biaya *Retailer*

Pada tahap ini dilakukan perhitungan total biaya pada sisi *retailer*. Total biaya *retailer* merupakan akumulasi dari seluruh komponen biaya yang telah dihitung sebelumnya, yaitu biaya penyimpanan (*holding cost*) dan biaya kehilangan penjualan (*lost sales*). Perhitungan total biaya ini bertujuan untuk mengetahui besarnya biaya yang harus ditanggung oleh *retailer* dalam memenuhi permintaan selama periode perencanaan. Dengan menggabungkan seluruh komponen biaya, model dapat memberikan gambaran menyeluruh mengenai kinerja biaya pada sistem rantai pasok sesuai dengan persamaan 3.2.

$$TC_{rp} = \sum HC_r + \sum LSC_r$$

$$TC_{1,1} = Rp10.329,67 + Rp0$$

$$TC_{1,1} = Rp10.329,67$$

4.2.2 Perhitungan Biaya *Vendor*

Langkah 1: Menghitung Simulasi Keputusan dari *vendor* untuk *retailer*

Pada tahap ini ditentukan keputusan pengiriman produk dari *vendor* ke masing-masing *retailer* pada setiap periode. Keputusan ini direpresentasikan dalam variabel $Q_{v,r,p,t}$, yang menunjukkan jumlah produk yang dikirim dari *vendor* v ke *retailer* r pada periode t . Nilai variabel ini diperoleh melalui proses optimasi menggunakan *Solver*, dengan tujuan

meminimasi total biaya dalam sistem. Pada tabel dibawah ini akan menunjukkan data *vendor* untuk produk 1 *retailer 1*:

Tabel 4. 6 Simulasi Keputusan *Vendor* untuk Produk 1 *Retailer 1* Periode 1

Periode (t)	Persediaan Awal (I0)	Pesanan Diterima dari <i>Vendor 1</i>	Pesanan Diterima dari <i>Vendor 2</i>
1	28	0	0

Pada tabel diatas, pesanan yang diterima dari *vendor* mendapatkan hasil keputusan 0 dikarenakan *leadtime* pada Perusahaan X adalah 5 hari. Oleh karena itu, periode 1, periode 2, periode 3, periode 4, periode 5 tidak mendapatkan stok dari *vendor 1* dan *vendor 2*. Keputusan pengiriman ini menjadi komponen utama dalam sistem karena secara langsung memengaruhi pemenuhan permintaan, kondisi persediaan, serta biaya yang timbul baik pada sisi *vendor* maupun *retailer*. Dalam sistem *multi-vendor* dan *multi-retailer*, setiap *retailer* dapat menerima pasokan dari lebih dari satu *vendor*, sehingga memungkinkan terjadinya fleksibilitas dalam alokasi distribusi berdasarkan kombinasi biaya yang paling efisien.

Hasil dari proses optimasi tersebut kemudian disajikan dalam bentuk tabel keputusan pengiriman yang menunjukkan jumlah produk yang dikirim dari *vendor* ke masing-masing *retailer* untuk setiap periode perencanaan. Tabel ini menjadi dasar dalam perhitungan biaya-biaya selanjutnya, seperti biaya transportasi, biaya emisi karbon, serta komponen biaya lainnya dalam sistem rantai pasok.

Tabel 4. 7 Simulasi Keputusan *Vendor 1* untuk *Retailer 1*

Periode (t)	Q to R1	Q to R2	Q to R3	Q to R4	Q to R5	Q to R6	Q to R7	Q to R8	Q to R9
1	2	5	4	0	0	3	2	1	8
2	0	1	1	4	5	0	1	0	5
3	0	0	13	2	1	3	2	2	0
4	0	0	0	2	0	0	1	0	0
5	4	2	3	3	0	3	0	1	1
6	1	4	5	3	1	1	0	3	2
7	1	1	1	0	0	1	1	0	2
8	3	0	0	0	3	2	0	4	3
9	0	0	1	0	0	0	2	0	1

Periode (t)	Q to R1	Q to R2	Q to R3	Q to R4	Q to R5	Q to R6	Q to R7	Q to R8	Q to R9
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Langkah 2: Menghitung Biaya Pengiriman dari *vendor*.

Pada tahap ini dilakukan perhitungan biaya pengiriman produk dari *vendor* ke *retailer*. Biaya pengiriman merupakan salah satu komponen biaya utama dalam sistem rantai pasok karena berkaitan langsung dengan aktivitas distribusi produk dari *vendor* ke seluruh *retailer*. Biaya pengiriman pada Perusahaan X adalah Rp125.000 untuk 1 periode, jika pada 1 periode terjadi pengiriman, maka akan muncul biaya Rp125.000, tetapi jika terjadi pengiriman maka biaya yang muncul Rp0. Karena terjadi 25 pengiriman pada *vendor* 1 ke seluruh *retailer* *r* pada periode 1, maka biaya pengiriman sesuai dengan persamaan 3.12 adalah sebagai berikut:

$$DC_{1,1} = Rp125.000$$

Tabel 4. 8 Biaya Pengiriman dari *Vendor* 1 Periode 1

periode (t)	Biaya Pengiriman ($DC_{1,1}$)
1	Rp125.000

Langkah 3: Menghitung Biaya Pembuangan Limbah

Pada tahap ini dilakukan perhitungan biaya pembuangan limbah (*disposal cost*) yang timbul akibat adanya produk cacat atau sisa produksi (*scrap*). Nilai *scrap* diperoleh dari hasil produksi yang tidak dapat digunakan dan dinyatakan dalam satuan kilogram. Selanjutnya, biaya pembuangan limbah dihitung dengan mengalikan jumlah *scrap* dengan biaya pembuangan per kilogram sesuai dengan persamaan 3.6.

$$DC^{disp} = 2,399475 \times 2500$$

$$DC^{disp} = Rp5.998,688$$

Berdasarkan perhitungan, jumlah scrap yang dihasilkan sebesar 2,399475 kg, dengan biaya pembuangan sebesar Rp2.500 per kilogram. Sehingga total biaya pembuangan limbah yang diperoleh adalah sebesar Rp5.998,688. Meskipun nilainya

relatif kecil dibandingkan komponen biaya lainnya, biaya ini tetap mencerminkan efisiensi proses produksi dan menjadi bagian dari total biaya sistem yang dipertimbangkan dalam optimasi.

Langkah 4: Menghitung Biaya Pembuangan Limbah CO_2

Pada tahap ini dilakukan perhitungan biaya emisi karbon yang timbul akibat pembuangan limbah (*scrap*) dari proses produksi. Limbah yang dihasilkan tidak hanya menimbulkan biaya operasional, tetapi juga berdampak pada lingkungan dalam bentuk emisi karbon. Oleh karena itu, perhitungan ini dilakukan untuk mengakomodasi aspek lingkungan dalam model. Biaya emisi karbon dari limbah dihitung berdasarkan jumlah *scrap* yang dihasilkan dalam satuan kilogram, kemudian dikalikan dengan faktor emisi disposal serta harga karbon. Dalam perhitungan ini, *scrap* dengan satuan kg digunakan sebagai faktor yang merepresentasikan karakteristik limbah dari produk sesuai dengan persamaan 3.7.

$$EC^{disp} = 2,399475 \times 0,35 \times \left(\frac{100000}{1000} \right)$$

$$EC^{disp} = Rp83,98163$$

Berdasarkan data yang diperoleh, jumlah *scrap* sebesar 2,399475 kg, faktor emisi sebesar 0,35 dan harga karbon sebesar Rp100/kg. Sehingga diperoleh biaya emisi karbon dari pembuangan limbah sebesar Rp83,98163. Nilai ini menunjukkan bahwa semakin besar jumlah limbah yang dihasilkan, maka semakin besar pula dampak lingkungan yang ditimbulkan dalam bentuk biaya emisi karbon.

Langkah 5: Menghitung Biaya Lembur Tenaga Kerja

Pada tahap ini dilakukan perhitungan biaya lembur tenaga kerja yang timbul akibat kebutuhan produksi yang melebihi kapasitas kerja normal. Ketika jumlah jam kerja yang dibutuhkan lebih besar dari waktu kerja standar, maka kelebihan waktu tersebut dikategorikan sebagai lembur dan menimbulkan biaya tambahan. Biaya lembur dihitung berdasarkan total waktu lembur yang terjadi, yang dinyatakan dalam satuan menit. Nilai tersebut kemudian dikonversi ke dalam satuan jam dengan membagi 60, dan selanjutnya dikalikan dengan biaya lembur per jam untuk memperoleh total biaya lembur dengan rumus sesuai persamaan 3.8.

$$OC_1^{OT} = \frac{0}{60} \times 65.000$$

$$OC_1^{OT} = Rp0$$

Berdasarkan hasil perhitungan, terdapat 0 jam untuk 9 pekerja, dengan biaya lembur sebesar Rp65.000 per jam, diperoleh total biaya lembur sebesar Rp0. Nilai ini menunjukkan bahwa semakin besar kebutuhan produksi yang melampaui kapasitas normal, maka biaya lembur yang harus ditanggung oleh *vendor* juga akan semakin tinggi.

Langkah 6: Menghitung Biaya Setup

Perhitungan biaya setup diawali dengan menjumlahkan seluruh nilai pengiriman produk ke *retailer* pada periode yang ditinjau. Berdasarkan data, total pengiriman ke seluruh *retailer* adalah sebesar 140 unit. Selanjutnya, nilai tersebut dibandingkan dengan kondisi nol untuk menentukan apakah terdapat aktivitas pengiriman atau tidak. Karena total pengiriman lebih besar dari nol, maka variabel biner bernilai 1 sehingga biaya setup dikenakan sesuai dengan persamaan 3.9.

$$SC = \begin{cases} 0, & \text{jika } 140 = 0 \\ 38370, & \text{jika } 140 > 0 \end{cases}$$

Karena $140 > 0$

$$SC = Rp38.370$$

Dengan demikian, biaya *setup* pada periode 1 bernilai Rp38.370 sesuai dengan biaya *setup* yang telah ditetapkan.

Langkah 7: Menghitung Biaya Ergonomi

Pada tahap ini dilakukan perhitungan biaya ergonomi yang timbul akibat beban kerja tenaga kerja dalam proses produksi. Biaya ini digunakan untuk merepresentasikan dampak dari aktivitas kerja terhadap kondisi fisik pekerja, seperti kelelahan dan tekanan kerja yang meningkat seiring dengan tingginya jam kerja. Biaya ergonomi dihitung berdasarkan total kebutuhan jam kerja (*required hours*) yang kemudian dikalikan dengan biaya penalti ergonomi per jam kerja. Semakin besar jumlah jam kerja yang dibutuhkan dalam proses produksi, maka beban kerja tenaga kerja akan semakin tinggi dan biaya ergonomi yang dihasilkan juga akan meningkat sesuai dengan persamaan 3.10.

$$EC_1^{ergo} = 2640 \times 75$$

$$EC_1^{ergo} = Rp198.000$$

Berdasarkan hasil perhitungan, total kebutuhan jam kerja sebesar 2640 jam dan biaya penalti ergonomi sebesar Rp75 per jam. Sehingga diperoleh total biaya ergonomi sebesar Rp198.000. Nilai ini menunjukkan bahwa peningkatan aktivitas produksi tidak hanya berdampak pada biaya operasional, tetapi juga pada aspek kesejahteraan tenaga kerja.

Langkah 8: Menghitung Biaya Produksi CO_2

Pada tahap ini dilakukan perhitungan biaya emisi karbon yang dihasilkan dari aktivitas produksi. Emisi karbon pada proses produksi dihitung berdasarkan total jumlah produk yang diproduksi, yang diperoleh dari akumulasi jumlah pengiriman ke seluruh *retailer* pada setiap periode. Nilai pengiriman produk tersebut direpresentasikan dalam tabel variabel keputusan $Q_{v,r,p,t}$, yang menunjukkan jumlah produk yang dikirim dari *vendor* ke masing-masing *retailer* pada setiap periode. Tabel Tabel 4. 10 menjadi dasar utama dalam perhitungan karena mencerminkan keputusan distribusi yang dihasilkan dari proses optimasi.

Tabel 4. 9 Variabel Keputusan *Vendor* 1 Periode 1

t	Q to R1	Q to R2	Q to R3	Q to R4	Q to R5	Q to R6	Q to R7	Q to R8	Q to R9
1	2	5	4	0	0	3	2	1	8

Total produksi dihitung dengan menjumlahkan seluruh nilai Q pada setiap *retailer* dalam satu periode. Selanjutnya, total produksi tersebut dikalikan dengan standard waktu kerja per unit sebagai representasi tingkat aktivitas produksi. Nilai tersebut kemudian dikalikan dengan harga karbon yang telah dikonversi ke satuan kilogram CO_2 untuk memperoleh biaya emisi karbon produksi yang telah tertera pada persamaan 11.

$$PCO2_{1,1,1} = (2 + 5 + 4 + 0 + 0 + 3 + 2 + 1 + 8) \times 6,23 \times \left(\frac{100000}{1000} \right)$$

$$PCO2_{1,1,1} = Rp15.325$$

Berdasarkan perhitungan pada periode pertama, total pengiriman produk ke seluruh *retailer* dikalikan dengan standard labor hours sebesar 6,13, kemudian dikalikan dengan harga karbon sebesar Rp100.000 per ton CO_2 . Sehingga diperoleh biaya produksi

CO₂ sebesar Rp15.325. Nilai ini menunjukkan bahwa keputusan pengiriman yang diambil dalam tabel variabel Q secara langsung memengaruhi besarnya emisi karbon yang dihasilkan dari proses produksi.

Total produksi dihitung dengan menjumlahkan seluruh nilai Q pada setiap retailer dalam satu periode. Selanjutnya, total produksi tersebut dikalikan dengan standard jam kerja per unit sebagai representasi tingkat aktivitas produksi. Nilai tersebut kemudian dikalikan dengan harga karbon yang telah dikonversi ke satuan kilogram CO₂ untuk memperoleh biaya emisi karbon produksi.

Langkah 9: Biaya Pengiriman Emisi Karbon

Pada tahap ini dilakukan perhitungan biaya emisi karbon yang dihasilkan dari aktivitas pengiriman produk dari vendor ke retailer. Perhitungan ini didasarkan pada jumlah produk yang dikirim ke masing-masing retailer pada setiap periode, yang direpresentasikan dalam tabel variabel keputusan $Q_{v,r,p,t}$. Setiap pengiriman memiliki jarak distribusi yang berbeda, sehingga kontribusi emisi karbon juga bervariasi. Oleh karena itu, biaya emisi karbon dihitung dengan mengalikan jumlah produk yang dikirim dengan standard labor hours per unit, jarak distribusi, faktor emisi pengiriman, serta harga karbon yang telah dikonversi ke satuan kilogram CO₂. Rumus yang digunakan pada biaya pengiriman emisi karbon pada persamaan 3.12.

Tabel 4. 10 Variabel Keputusan *Vendor* 1 Periode 1

t	Q to R1	Q to R2	Q to R3	Q to R4	Q to R5	Q to R6	Q to R7	Q to R8	Q to R9
1	2	5	4	0	0	3	2	1	8

$$\begin{aligned}
EC^{del} = & ((2 \times 1,76 \times 27 \times 0,062) \times (100000 \div 1000)) \\
& + (5 \times 1,76 \times 8 \times 0,062) \times (100000 \div 1000)) \\
& + ((4 \times 1,76 \times 20 \times 0,062) \times (100000 \div 1000)) \\
& + ((0 \times 1,76 \times 17 \times 0,062) \times (100000 \div 1000)) \\
& + ((0 \times 1,76 \times 11 \times 0,062) \times (100000 \div 1000)) \\
& + ((3 \times 1,76 \times 32 \times 0,062) \times (100000 \div 1000)) \\
& + ((2 \times 1,76 \times 62 \times 0,062) \times (100000 \div 1000)) \\
& + ((1 \times 1,76 \times 44 \times 0,062) \times (100000 \div 1000)) \\
& + ((8 \times 1,76 \times 21 \times 0,062) \times (100000 \div 1000))
\end{aligned}$$

$$EC^{del} = Rp6.612,672$$

Berdasarkan hasil perhitungan pada periode pertama, diperoleh total biaya emisi karbon pengiriman sebesar Rp6.612,672. Nilai ini menunjukkan bahwa keputusan pengiriman dalam sistem secara langsung memengaruhi besarnya emisi karbon, di mana peningkatan jumlah pengiriman dan jarak distribusi akan meningkatkan biaya emisi yang dihasilkan.

Langkah 10: Menghitung *Joint Total Cost*

Total biaya *vendor* merupakan akumulasi seluruh komponen biaya yang timbul dari aktivitas produksi dan distribusi pada sisi *vendor*. Biaya ini mencakup biaya operasional seperti lembur, *setup*, dan transportasi, serta biaya keberlanjutan seperti limbah, emisi karbon, dan ergonomi. Seluruh komponen biaya tersebut dijumlahkan untuk mengetahui total biaya yang ditanggung *vendor* dalam sistem rantai pasok. Nilai ini kemudian digunakan sebagai bagian dari perhitungan total biaya sistem dalam model optimasi. Rumus *Joint Total Cost* sesuai dengan persamaan 3.5.

$$\begin{aligned}
TC_{vendor} = & Rp26.364,17 + Rp83,98163 + Rp0 + Rp38.370 + Rp198.000 \\
& + Rp15.325 + Rp6.612,672
\end{aligned}$$

$$TC_{vendor} = Rp3.229.335$$

4.2.3 Rekapitulasi Hasil Pengolahan Data

4.2.3.1 Refrigerator Mainboard (P1)

1. Hasil Perhitungan Biaya *Retailer*

Hasil dari perhitungan biaya *retailer* pada produk *Refrigerator Mainboard* (P1) menggunakan *solver evolutionary* tertera pada Tabel 4.12 hingga Tabel 4.15.

Tabel 4. 11 Biaya Penyimpanan *Retailer*

Pembeli	Total Persediaan Akhir (unit)	Biaya Penyimpanan (Rp/unit)	Total Biaya Penyimpanan (Rp)
<i>Retailer 1</i>	233	44,33	10.329,67
<i>Retailer 2</i>	212	44,33	9.398,667
<i>Retailer 3</i>	198	44,33	8.778
<i>Retailer 4</i>	217	44,33	9.620,333
<i>Retailer 5</i>	341	44,33	15.117,67
<i>Retailer 6</i>	472	44,33	20.925,33
<i>Retailer 7</i>	125	44,33	5.541,667
<i>Retailer 8</i>	395	44,33	17.511,67
<i>Retailer 9</i>	124	44,33	5.497,333

Tabel 4. 12 Total Biaya *Lost Sales*

Pembeli	Total Lost Sales (unit)	Biaya Lost Sales (Rp/unit)	Total Biaya Lost Sales (Rp)
<i>Retailer 1</i>	0	69.100	0
<i>Retailer 2</i>	0	73.900	0
<i>Retailer 3</i>	1	69.100	69.100
<i>Retailer 4</i>	0	76.000	0
<i>Retailer 5</i>	0	68.400	0
<i>Retailer 6</i>	0	75.300	0
<i>Retailer 7</i>	0	67.700	0
<i>Retailer 8</i>	0	68.400	0
<i>Retailer 9</i>	0	74.600	0

Tabel 4. 13 *Joint Total Cost*

Pembeli	Biaya Penyimpanan (Rp)	Biaya <i>Lost Sales</i> (Rp)	Total Biaya Pembeli (Rp)
<i>Retailer 1</i>	10.329,67	0	10.329,67
<i>Retailer 2</i>	9.398,667	0	9.398,67
<i>Retailer 3</i>	8.778	69.100	77.878,00
<i>Retailer 4</i>	9.620,333	0	9.620,33
<i>Retailer 5</i>	15.117,67	0	15.117,67
<i>Retailer 6</i>	20.925,33	0	20.925,33
<i>Retailer 7</i>	5.541,667	0	5.541,67
<i>Retailer 8</i>	17.511,67	0	17.511,67
<i>Retailer 9</i>	5.497,333	0	5.497,33

2. Hasil Perhitungan Biaya *Vendor*

Hasil dari perhitungan biaya *vendor* pada *Refrigerator Mainboard* (P1) menggunakan *solver evolutionary* pada Tabel 4.15 hingga 4.23.

Tabel 4. 14 Total Pembuangan Limbah

<i>Vendor</i>	Total Scrap (kg)	Biaya Scrap (Rp)	Total Biaya Pembuangan Limbah (Rp)
<i>Vendor 1</i>	10,27035	2.500	25.675,88
<i>Vendor 2</i>	8,546018	2.500	21.365,05

Tabel 4. 15 Total Biaya Pembuangan Emisi Karbon

<i>Vendor</i>	Total Scrap (kg)	Biaya <i>Disposal</i> (kg)	Biaya Emisi Karbon CO_2 (Rp)	Total Biaya Pembuangan Limbah CO_2 (Rp)
<i>Vendor 1</i>	10,27035	0,35	100	359,4623
<i>Vendor 2</i>	8,546018	0,35	100	749,7111

Tabel 4. 16 Total Biaya Lembur

<i>Vendor</i>	Lembur (jam)	Biaya Lembur (Rp)	Total Biaya Lembur (Rp)
<i>Vendor 1</i>	0	65.000	0
<i>Vendor 2</i>	0	70.000	0

Tabel 4. 17 Total Biaya *Setup*

<i>Vendor</i>	Biaya <i>Setup</i> (Rp)	Total <i>Setup</i>	Total Biaya <i>Setup</i> (Rp)
<i>Vendor 1</i>	38.370	9	345.330
<i>Vendor 2</i>	38.370	9	345.330

Tabel 4. 18 Total Biaya Ergonomi

<i>Vendor</i>	Jam Kerja yang dibutuhkan (jam)	Total Biaya Ergonomi (Rp)
<i>Vendor 1</i>	13833,6	1.037.520
<i>Vendor 2</i>	14889,6	1.116.720

Tabel 4. 19 Total Biaya Produksi Emisi Karbon

<i>Vendor</i>	Keputusan Pengiriman	Emisi Karbon (unit)	Biaya Emisi Karbon CO_2 (Rp)	Total Biaya Produksi Emisi Karbon (Rp)
<i>Vendor 1</i>	131	6,13	100	80.303
<i>Vendor 2</i>	141	6,13	100	86.433

Tabel 4. 20 Total Biaya Pengiriman

<i>Vendor</i>	Keputusan Pengiriman	Total Biaya Pengiriman (Rp)
<i>Vendor 1</i>	131	1.125.000
<i>Vendor 2</i>	141	1.125.000

Tabel 4. 21 Total Biaya Pengiriman CO_2

<i>Vendor</i>	Keputusan Pengiriman	Biaya Emisi Karbon CO_2 (Rp)	Total Biaya Pengiriman CO_2 (Rp)
<i>Vendor 1</i>	131	100	35.234,85
<i>Vendor 2</i>	141	100	41.127,33

Tabel 4. 22 Joint Total Cost Vendor

<i>Vendor</i>	<i>Vendor 1</i>	<i>Vendor 2</i>
Keputusan Pengiriman	131	141
Total Biaya Pembuangan Limbah (Rp)	25.675,88	21.365,05
Total Biaya Pembuangan Limbah (Rp)	359,4623	749,7111
Total Biaya Lembur (Rp)	0	0
Biaya Setup	345.330	345.330
Biaya Ergonomi (Rp)	1.037.520	1.116.720
Total Biaya Pengiriman (Rp)	1.125.000	1.125.000
Total Biaya Pengiriman	1.704.912	1.990.032
Total Biaya Produksi Emisi Karbon (Rp)	35.234,85	41.127,33
TOTAL	4.274.032,19	4.640.324,09

4.2.3.2 Washing Machine Control Panel (P2)

1. Hasil Perhitungan Biaya *Retailer*

Berikut ini akan memaparkan perhitungan *retailer* untuk produk 2 yaitu *washing machine control panel* yang tertera pada Tabel 4.24 hingga Tabel 4.26 dengan menggunakan *Solver Evolutionary Algorithm* pada *Microsoft Excel*:

Tabel 4. 23 Total Biaya Penyimpanan *Vendor*

Pembeli	Total Persediaan Akhir (unit)	Biaya Penyimpanan (Rp/unit)	Total Biaya Penyimpanan (Rp)
<i>Retailer 1</i>	168	16,33333	2.744
<i>Retailer 2</i>	601	16,33333	9.816,333
<i>Retailer 3</i>	398	16,33333	6.500,667
<i>Retailer 4</i>	306	16,33333	4.998
<i>Retailer 5</i>	133	16,33333	2.172,333
<i>Retailer 6</i>	551	16,33333	8.999,667
<i>Retailer 7</i>	407	16,33333	6.647,667
<i>Retailer 8</i>	370	16,33333	6.043,333
<i>Retailer 9</i>	396	16,33333	6.468

Tabel 4. 24 Total Biaya *Lost Sales*

Pembeli	Total <i>Lost Sales</i> (unit)	Biaya <i>Lost Sales</i> (Rp/unit)	Total Biaya <i>Lost Sales</i> (Rp)
<i>Retailer 1</i>	0	144.500	0
<i>Retailer 2</i>	0	151.700	0
<i>Retailer 3</i>	0	137.300	0
<i>Retailer 4</i>	0	150.300	0
<i>Retailer 5</i>	0	151.700	0
<i>Retailer 6</i>	0	156.100	0
<i>Retailer 7</i>	0	154.600	0
<i>Retailer 8</i>	0	153.200	0
<i>Retailer 9</i>	0	148.800	0

Tabel 4. 25 *Joint Total Cost*

Pembeli	Biaya Penyimpanan (Rp)	Biaya <i>Lost Sales</i> (Rp)	Total Biaya Pembeli (Rp)
<i>Retailer 1</i>	2.744	0	2.744

Pembeli	Biaya Penyimpanan (Rp)	Biaya <i>Lost Sales</i> (Rp)	Total Biaya Pembeli (Rp)
<i>Retailer 2</i>	9.816,333	0	9.816,333
<i>Retailer 3</i>	6.500,667	0	6.500,667
<i>Retailer 4</i>	4.998	0	4.998
<i>Retailer 5</i>	2.172,333	0	2.172,333
<i>Retailer 6</i>	8.999,667	0	8.999,667
<i>Retailer 7</i>	6.647,667	0	6.647,667
<i>Retailer 8</i>	6.043,333	0	6.043,333
<i>Retailer 9</i>	6.468	0	6.468

2. Hasil Perhitungan Biaya *Vendor*

Berikut ini akan memaparkan perhitungan *vendor* untuk produk 2 yaitu *washing machine control panel* yang tertera pada Tabel 4.27 hingga Tabel 4.35 dengan menggunakan *Solver Evolutionary Algorithm* pada *Microsoft Excel*:

Tabel 4. 26 Total Biaya Pembuangan Limbah

<i>Vendor</i>	Total Scrap (kg)	Biaya Scrap (Rp)	Total Biaya Pembuangan Limbah (Rp)
<i>Vendor 1</i>	18,81667	2.500	47.041,67
<i>Vendor 2</i>	13,4242	2.500	33.560,51

Tabel 4. 27 Total Biaya Pembuangan Emisi Karbon

<i>Vendor</i>	Total Scrap (kg)	Biaya <i>Disposal</i> (kg)	Biaya Emisi Karbon CO_2 (Rp)	Total Biaya Pembuangan Limbah CO_2(Rp)
<i>Vendor 1</i>	18,81667	0,35	100	658,5834
<i>Vendor 2</i>	13,4242	0,35	100	1.147,623

Tabel 4. 28 Total Biaya Lembur

<i>Vendor</i>	Lembur (jam)	Biaya Lembur (Rp)	Total Biaya Lembur (Rp)
<i>Vendor 1</i>	0	65.000	0
<i>Vendor 2</i>	0	70.000	0

Tabel 4. 29 Total Biaya Setup

<i>Vendor</i>	Biaya Setup (Rp)	Total Setup	Total Biaya Setup (Rp)
<i>Vendor 1</i>	27.280	9	245.520
<i>Vendor 2</i>	27.280	9	245.520

Tabel 4. 30 Total Biaya Ergonomi

<i>Vendor</i>	Jam Kerja yang dibutuhkan (jam)	Total Biaya Ergonomi (Rp)
<i>Vendor 1</i>	12558	941.850
<i>Vendor 2</i>	11193	839.475

Tabel 4. 31 Total Produksi Emisi Karbon

<i>Vendor</i>	Keputusan Pengiriman	Emisi Karbon (unit)	Biaya Emisi Karbon CO₂ (Rp)	Total Biaya Produksi Emisi Karbon CO₂ (Rp)
<i>Vendor 1</i>	230	6,23	100	143.290
<i>Vendor 2</i>	205	6,23	100	127.715

Tabel 4. 32 Total Biaya Pengiriman

<i>Vendor</i>	Keputusan Pengiriman	Total Biaya Pengiriman (Rp)
<i>Vendor 1</i>	230	1.125.000
<i>Vendor 2</i>	205	1.125.000

Tabel 4. 33 Total Biaya Pengiriman Emisi Karbon

<i>Vendor</i>	Keputusan Pengiriman	Biaya Emisi Karbon CO_2 (Rp)	Total Biaya Pengiriman CO_2 (Rp)
<i>Vendor 1</i>	230	100	34.608,03
<i>Vendor 2</i>	205	100	33.406,28

Tabel 4. 34 Joint Total Cost Vendor

<i>Vendor</i>	<i>Vendor 1</i>	<i>Vendor 2</i>
Keputusan Pengiriman	230	205
Total Biaya Pembuangan Limbah (Rp)	47.041,67	33.560,51
Total Biaya Pembuangan Limbah CO_2 (Rp)	658,5834	1.147,62
Total Biaya Lembur (Rp)	0	0
Biaya Setup	245.520	245.520
Biaya Ergonomi (Rp)	941.850	839.475
Total Biaya Produksi Emisi Karbon (Rp)	143.290	127.715
Total Biaya Pengiriman (Rp)	1.125.000	1.125.000
Total Biaya Pengiriman CO_2 (Rp)	34.608,03	33.406,28
TOTAL	2.537.968,28	2.405.824,41

4.2.3.3 AC Display & Control Board (P3)

1. Hasil Perhitungan Biaya Retailer

Berikut ini akan memaparkan perhitungan *retailer* untuk produk 3 yaitu *AC display & control board* yang tertera pada Tabel 4.36 hingga Tabel 4.38 dengan menggunakan *Solver Evolutionary Algorithm* pada *Microsoft Excel*:

Tabel 4. 35 Total Biaya Penyimpanan *Retailer*

Pembeli	Total Persediaan Akhir (unit)	Biaya Penyimpanan (Rp/unit)	Total Biaya Penyimpanan (Rp)
<i>Retailer 1</i>	573	40	22.920
<i>Retailer 2</i>	88	40	3.520
<i>Retailer 3</i>	193	40	7.720
<i>Retailer 4</i>	383	40	15.320
<i>Retailer 5</i>	477	40	19.080
<i>Retailer 6</i>	480	40	19.200
<i>Retailer 7</i>	483	40	19.320
<i>Retailer 8</i>	182	40	7.280
<i>Retailer 9</i>	427	40	17.080

Tabel 4. 36 Tabel Biaya *Lost Sales*

Pembeli	Total <i>Lost Sales</i> (unit)	Biaya <i>Lost Sales</i> (Rp/unit)	Total Biaya <i>Lost Sales</i> (Rp)
<i>Retailer 1</i>	0	84.000	0
<i>Retailer 2</i>	2	86.500	173.000
<i>Retailer 3</i>	2	83.200	166.400
<i>Retailer 4</i>	0	81.500	0
<i>Retailer 5</i>	0	79.800	0
<i>Retailer 6</i>	0	80.600	0
<i>Retailer 7</i>	0	85.700	0
<i>Retailer 8</i>	1	85.700	85.700
<i>Retailer 9</i>	0	79.800	0

Tabel 4. 37 *Joint Total Cost*

Pembeli	Biaya Penyimpanan (Rp)	Biaya <i>Lost Sales</i> (Rp)	Total Biaya Pembeli (Rp)
<i>Retailer 1</i>	22.920	0	22.920

Pembeli	Biaya Penyimpanan (Rp)	Biaya <i>Lost Sales</i> (Rp)	Total Biaya Pembeli (Rp)
<i>Retailer 2</i>	3.520	173.000	176.520
<i>Retailer 3</i>	7.720	166.400	174.120
<i>Retailer 4</i>	15.320	0	15.320
<i>Retailer 5</i>	19.080	0	19.080
<i>Retailer 6</i>	19.200	0	19.200
<i>Retailer 7</i>	19.320	0	19.320
<i>Retailer 8</i>	7.280	85.700	92.980
<i>Retailer 9</i>	17.080	0	17.080

2. Hasil Perhitungan Biaya *Vendor*

Berikut ini akan memaparkan perhitungan *vendor* untuk produk 3 yaitu *AC display & control board* yang tertera pada Tabel 4.39 hingga Tabel 4.47 dengan menggunakan *Solver Evolutionary Algorithm* pada *Microsoft Excel*:

Tabel 4. 38 Total Pembuangan Limbah

<i>Vendor</i>	Total Scrap (kg)	Biaya Scrap (Rp)	Total Biaya Pembuangan Limbah (Rp)
<i>Vendor 1</i>	21,41139	2.500	53.528,48
<i>Vendor 2</i>	15,30671	2.500	38.266,77

Tabel 4. 39 Total Biaya Pembuangan Emisi Karbon

<i>Vendor</i>	Total Scrap (kg)	Biaya Disposal (kg)	Biaya Emisi Karbon CO_2 (Rp)	Total Biaya Pembuangan Limbah CO_2 (Rp)
<i>Vendor 1</i>	21,41139	0,35	100	749,3987
<i>Vendor 2</i>	15,30671	0,35	100	38.266,77

Tabel 4. 40 Total Biaya Lembur

<i>Vendor</i>	Lembur (jam)	Biaya Lembur (Rp)	Total Biaya Lembur (Rp)
<i>Vendor 1</i>	0	65.000	0
<i>Vendor 2</i>	0	70.000	0

Tabel 4. 41 Total Biaya *Setup*

<i>Vendor</i>	Biaya <i>Setup</i> (Rp)	Total <i>Setup</i>	Biaya <i>Setup</i> (Rp)
<i>Vendor 1</i>	29.700	9	267.300
<i>Vendor 2</i>	29.700	9	267.300

Tabel 4. 42 Total Biaya Ergonomi

<i>Vendor</i>	Jam Kerja yang dibutuhkan (jam)	Biaya Ergonomi (Rp)
<i>Vendor 1</i>	5271	395.325
<i>Vendor 2</i>	4809	360.675

Tabel 4. 43 Total Biaya Produksi Emisi Karbon

<i>Vendor</i>	Keputusan Pengiriman	Emisi Karbon (unit)	Biaya Emisi Karbon CO_2 (Rp)	Total Biaya Produksi Emisi Karbon CO_2 (Rp)
<i>Vendor 1</i>	251	8,6	100	215.860
<i>Vendor 2</i>	229	8,6	100	196.940

Tabel 4. 44 Total Biaya Pengiriman

<i>Vendor</i>	Keputusan Pengiriman	Total Biaya Pengiriman (Rp)
<i>Vendor 1</i>	251	1.125.000
<i>Vendor 2</i>	229	1.125.000

Tabel 4. 45 Total Biaya Pengiriman Emisi Karbon

<i>Vendor</i>	Keputusan Pengiriman	Biaya Emisi Karbon CO_2 (Rp)	Total Biaya Pengiriman CO_2 (Rp)
<i>Vendor 1</i>	251	100	12.972,26
<i>Vendor 2</i>	229	100	14.057,26

Tabel 4. 46 Joint Total Cost Vendor

<i>Vendor</i>	<i>Vendor 1</i>	<i>Vendor 2</i>
Keputusan Pengiriman	251	229
Total Biaya Pembuangan Limbah (Rp)	53.528,48	38.266,77
Total Biaya Pembuangan Limbah CO_2 (Rp)	749,3987	38.266,77
Total Biaya Lembur (Rp)	0	0
Biaya Setup	267.300	267.300
Biaya Ergonomi (Rp)	395.325	360.675
Total Biaya Produksi Emisi Karbon (Rp)	215.860	196.940
Total Biaya Pengiriman (Rp)	1.125.000	1.125.000
Total Biaya Pengiriman CO_2 (Rp)	12.972,26	14.057,26
TOTAL	Rp2.070.735,14	Rp2.040.505,80

4.2.3.4 Induction Cooker Power Control Board (P4)

1. Hasil Perhitungan Biaya *Retailer*

Berikut ini akan memaparkan perhitungan *retailer* untuk produk 4 yaitu *induction cooker power control board* yang tertera pada Tabel 4.48 hingga Tabel 4.50 dengan menggunakan *Solver Evolutionary Algorithm* pada *Microsoft Excel*:

Tabel 4. 47 Total Biaya Penyimpanan *Retailer*

Pembeli	Total Persediaan Akhir (unit)	Biaya Penyimpanan (Rp/unit)	Total Biaya Penyimpanan (Rp)
<i>Retailer 1</i>	349	34,33333	11.982,33
<i>Retailer 2</i>	279	34,33333	9.579
<i>Retailer 3</i>	180	34,33333	6.180
<i>Retailer 4</i>	335	34,33333	11.501,67
<i>Retailer 5</i>	348	34,33333	11.948
<i>Retailer 6</i>	482	34,33333	16.548,67
<i>Retailer 7</i>	436	34,33333	14.969,33
<i>Retailer 8</i>	559	34,33333	19.192,33
<i>Retailer 9</i>	271	34,33333	9.304,333

Tabel 4. 48 Total Biaya *Lost Sales*

Pembeli	Total <i>Lost Sales</i> (unit)	Biaya <i>Lost Sales</i> (Rp/unit)	Total Biaya <i>Lost Sales</i> (Rp)
<i>Retailer 1</i>	0	127.400	0
<i>Retailer 2</i>	0	128.700	0
<i>Retailer 3</i>	0	124.900	0
<i>Retailer 4</i>	0	128.700	0
<i>Retailer 5</i>	0	138.900	0
<i>Retailer 6</i>	0	135.000	0
<i>Retailer 7</i>	0	137.600	0
<i>Retailer 8</i>	0	129.900	0
<i>Retailer 9</i>	0	138.900	0

Tabel 4. 49 *Joint Total Cost Retailer*

Pembeli	Biaya Penyimpanan (Rp)	Biaya <i>Lost Sales</i> (Rp)	Total Biaya Pembeli (Rp)
<i>Retailer 1</i>	11.982,33	0	11.982,33

Pembeli	Biaya Penyimpanan (Rp)	Biaya <i>Lost Sales</i> (Rp)	Total Biaya Pembeli (Rp)
<i>Retailer 2</i>	9.579	0	9.579
<i>Retailer 3</i>	6.180	0	6.180
<i>Retailer 4</i>	11.501,67	0	11.501,67
<i>Retailer 5</i>	11.948	0	11.948
<i>Retailer 6</i>	16.548,67	0	16.548,67
<i>Retailer 7</i>	14.969,33	0	14.969,33
<i>Retailer 8</i>	19.192,33	0	19.192,33
<i>Retailer 9</i>	9.304,333	0	9.304,333

2. Hasil Perhitungan Biaya *Vendor*

Berikut ini akan memaparkan perhitungan *vendor* untuk produk 4 yaitu *induction cooker power control board* yang tertera pada Tabel 4.51 hingga Tabel 4.59 dengan menggunakan *Solver Evolutionary Algorithm* pada *Microsoft Excel*:

Tabel 4. 50 Total Biaya Pembuangan Limbah

<i>Vendor</i>	Total Scrap (kg)	Biaya Scrap (Rp)	Total Biaya Pembuangan Limbah (Rp)
<i>Vendor 1</i>	22,2465	2.500	55.616,24
<i>Vendor 2</i>	14,38639	2.500	35.965,96

Tabel 4. 51 Total Biaya Pembuangan Emisi Karbon

<i>Vendor</i>	Total Scrap (kg)	Biaya <i>Disposal</i> (kg)	Biaya Emisi Karbon CO_2 (Rp)	Total Biaya Pembuangan Limbah CO_2 (Rp)
<i>Vendor 1</i>	22,2465	0,35	100	778,6274
<i>Vendor 2</i>	14,38639	0,35	100	1.298,784

Tabel 4. 52 Total Biaya Lembur

<i>Vendor</i>	Lembur (jam)	Biaya Lembur (Rp)	Total Biaya Lembur (Rp)
<i>Vendor 1</i>	0	65.000	0
<i>Vendor 2</i>	0	70.000	0

Tabel 4. 53 Total Biaya Setup

<i>Vendor</i>	Biaya Setup (Rp)	Total Setup	Total Biaya Setup (Rp)
<i>Vendor 1</i>	26860	9	241.740
<i>Vendor 2</i>	26860	9	241.740

Tabel 4. 54 Total Biaya Ergonomi

<i>Vendor</i>	Jam Kerja yang dibutuhkan (jam)	Total Biaya Ergonomi (Rp)
<i>Vendor 1</i>	16907,4	1.268.055
<i>Vendor 2</i>	14422,8	1.081.710

Tabel 4. 55 Total Biaya Emisi Karbon

<i>Vendor</i>	Keputusan Pengiriman	Emisi Karbon (unit)	Biaya Emisi Karbon CO₂ (Rp)	Total Biaya Produksi Emisi Karbon CO₂ (Rp)
<i>Vendor 1</i>	258	2,38	100	66.402
<i>Vendor 2</i>	206	2,38	100	56.644

Tabel 4. 56 Total Biaya Pengiriman

<i>Vendor</i>	Keputusan Pengiriman	Total Biaya Pengiriman (Rp)
<i>Vendor 1</i>	258	1.125.000
<i>Vendor 2</i>	206	1.125.000

Tabel 4. 57 Total Biaya Pengiriman Emisi Karbon

<i>Vendor</i>	Keputusan Pengiriman	Biaya Emisi Karbon CO_2 (Rp)	Total Biaya Pengiriman CO_2 (Rp)
<i>Vendor 1</i>	258	100	45.794,01
<i>Vendor 2</i>	206	100	42.043,07

Tabel 4. 58 Joint Total Cost Vendor

<i>Vendor</i>	<i>Vendor 1</i>	<i>Vendor 2</i>
Keputusan Pengiriman	258	206
Total Biaya Pembuangan Limbah (Rp)	55.616,24	35.965,96
Total Biaya Pembuangan Limbah CO_2 (Rp)	778,6274	1.298,78
Total Biaya Lembur (Rp)	0	0
Biaya Setup	241.740	241.740
Biaya Ergonomi (Rp)	1.268.055	1.081.710
Total Biaya Produksi Emisi Karbon (Rp)	66.402	56.644
Total Biaya Pengiriman (Rp)	1.125.000	1.125.000
Total Biaya Pengiriman CO_2 (Rp)	45.794,01	42.043,07
TOTAL	Rp2.803.385,88	Rp2.584.401,81

4.2.3.5 Smart Lock Motor Driver (P5)

1. Hasil Perhitungan Biaya Retailer

Berikut ini akan memaparkan perhitungan *vendor* untuk produk 5 yaitu *induction cooker power control board* yang tertera pada Tabel 4.60 hingga Tabel 4.62 dengan menggunakan *Solver Evolutionary Algorithm* pada *Microsoft Excel*:

Tabel 4. 59 Total Biaya Pengiriman *Retailer*

Pembeli	Total Persediaan Akhir (unit)	Biaya Penyimpanan (Rp/unit)	Total Biaya Penyimpanan (Rp)
<i>Retailer 1</i>	165	32	5.280
<i>Retailer 2</i>	355	32	11.360
<i>Retailer 3</i>	346	32	11.072
<i>Retailer 4</i>	557	32	17.824
<i>Retailer 5</i>	381	32	12.192
<i>Retailer 6</i>	181	32	5.792
<i>Retailer 7</i>	274	32	8.768
<i>Retailer 8</i>	545	32	17.440
<i>Retailer 9</i>	322	32	10.304

Tabel 4. 60 Total Biaya *Lost Sales*

Pembeli	Total Lost Sales (unit)	Biaya Lost Sales (Rp/unit)	Total Biaya Lost Sales (Rp)
<i>Retailer 1</i>	0	78000	0
<i>Retailer 2</i>	0	80300	0
<i>Retailer 3</i>	0	79600	0
<i>Retailer 4</i>	0	75700	0
<i>Retailer 5</i>	0	81900	0
<i>Retailer 6</i>	0	81900	0
<i>Retailer 7</i>	0	85800	0
<i>Retailer 8</i>	0	84200	0
<i>Retailer 9</i>	0	83500	0

Tabel 4. 61 *Joint Total Cost Retailer*

Pembeli	Biaya Penyimpanan (Rp)	Biaya Lost Sales (Rp)	Total Biaya Pembeli (Rp)
<i>Retailer 1</i>	5.280	0	5.280

Pembeli	Biaya Penyimpanan (Rp)	Biaya <i>Lost Sales</i> (Rp)	Total Biaya Pembeli (Rp)
<i>Retailer 2</i>	11.360	0	11.360
<i>Retailer 3</i>	11.072	0	11.072
<i>Retailer 4</i>	17.824	0	17.824
<i>Retailer 5</i>	12.192	0	12.192
<i>Retailer 6</i>	5.792	0	5.792
<i>Retailer 7</i>	8.768	0	8.768
<i>Retailer 8</i>	17.440	0	17.440
<i>Retailer 9</i>	10.304	0	10.304

2. Hasil Perhitungan Biaya *Vendor*

Berikut ini akan memaparkan perhitungan *vendor* untuk produk 5 yaitu *induction cooker power control board* yang tertera pada Tabel 4.63 hingga Tabel 4.71 dengan menggunakan *Solver Evolutionary Algorithm* pada *Microsoft Excel*:

Tabel 4. 62 Total Biaya Pembuangan Limbah

<i>Vendor</i>	Total Scrap (kg)	Biaya Scrap (Rp)	Total Biaya Pembuangan Limbah (Rp)
<i>Vendor 1</i>	19,554	2.500	48.885,01
<i>Vendor 2</i>	12,41747	2.500	31.043,68

Tabel 4. 63 Total Biaya Pembuangan Limbah Emisi Karbon

<i>Vendor</i>	Total Scrap (kg)	Biaya <i>Disposal</i> (kg)	Biaya Emisi Karbon CO_2 (Rp)	Total Biaya Pembuangan Limbah CO_2 (Rp)
<i>Vendor 1</i>	19,554	0,35	100	684,3901
<i>Vendor 2</i>	12,41747	0,35	100	1.136,856

Tabel 4. 64 Total Biaya Lembur

<i>Vendor</i>	Lembur (jam)	Biaya Lembur (Rp)	Total Biaya Lembur (Rp)
<i>Vendor 1</i>	0	65.000	0
<i>Vendor 2</i>	0	70.000	0

Tabel 4. 65 Total Biaya *Setup*

<i>Vendor</i>	Biaya <i>Setup</i> (Rp)	Total <i>Setup</i>	Total Biaya <i>Setup</i> (Rp)
<i>Vendor 1</i>	18880	9	169.920
<i>Vendor 2</i>	18880	9	169.920

Tabel 4. 66 Total Biaya Ergonomi

<i>Vendor</i>	Jam Kerja yang dibutuhkan (jam)	Total Biaya Ergonomi (Rp)
<i>Vendor 1</i>	8862	664.650
<i>Vendor 2</i>	8568	642.600

Tabel 4. 67 Total Biaya Produksi Emisi Karbon CO_2

<i>Vendor</i>	Keputusan Pengiriman	Emisi Karbon (unit)	Biaya Emisi Karbon CO_2 (Rp)	Total Biaya Produksi Emisi Karbon CO_2 (Rp)
<i>Vendor 1</i>	211	5,47	100	115.417
<i>Vendor 2</i>	204	5,47	100	111.588

Tabel 4. 68 Total Biaya Pengiriman

<i>Vendor</i>	Keputusan Pengiriman	Total Biaya Pengiriman (Rp)
<i>Vendor 1</i>	211	1.125.000
<i>Vendor 2</i>	204	1.125.000

Tabel 4. 69 Total Biaya Pengiriman Emisi Karbon

<i>Vendor</i>	Keputusan Pengiriman	Biaya Emisi Karbon CO_2 (Rp)	Total Biaya Pengiriman CO_2 (Rp)
<i>Vendor 1</i>	211	100	23.123,52
<i>Vendor 2</i>	204	100	24.082,66

Tabel 4. 70 Joint Total Cost Vendor

<i>Vendor</i>	<i>Vendor 1</i>	<i>Vendor 2</i>
Keputusan Pengiriman	211	204
Total Biaya Pembuangan Limbah (Rp)	48.885,01	31.043,68
Total Biaya Pembuangan Limbah CO_2 (Rp)	684,3901	1.136,86
Total Biaya Lembur (Rp)	0	0
Biaya Setup	169.920	169.920
Biaya Ergonomi (Rp)	664.650	642.600
Total Biaya Produksi Emisi Karbon (Rp)	115.417	111.588
Total Biaya Pengiriman (Rp)	1.125.000	1.125.000
Total Biaya Pengiriman CO_2 (Rp)	23.123,52	24.082,66
TOTAL	Rp2.147.679,92	Rp2.105.371,20

4.2.3.6 Air Purifier Control Module (P6)

1. Hasil Perhitungan Biaya Retailer

Berikut ini akan memaparkan perhitungan *retailer* untuk produk 6 yaitu *air purifier control module* yang tertera pada Tabel 4.72 hingga Tabel 4.80 dengan menggunakan *Solver Evolutionary Algorithm* pada *Microsoft Excel*:

Tabel 4. 71 Total Biaya Penyimpanan

Pembeli	Total Persediaan Akhir (unit)	Biaya Penyimpanan (Rp/unit)	Total Biaya Penyimpanan (Rp)
<i>Retailer 1</i>	224	36,33333	8.138,667
<i>Retailer 2</i>	257	36,33333	9.337,667
<i>Retailer 3</i>	324	36,33333	11.772
<i>Retailer 4</i>	242	36,33333	8.792,667
<i>Retailer 5</i>	395	36,33333	14.351,67
<i>Retailer 6</i>	223	36,33333	8.102,333
<i>Retailer 7</i>	526	36,33333	19.111,33
<i>Retailer 8</i>	398	36,33333	14.460,67
<i>Retailer 9</i>	216	36,33333	7.848

Tabel 4. 72 Total Biaya *Lost Sales*

Pembeli	Total <i>Lost Sales</i> (unit)	Biaya <i>Lost Sales</i> (Rp/unit)	Total Biaya <i>Lost Sales</i> (Rp)
<i>Retailer 1</i>	0	74700	0
<i>Retailer 2</i>	0	71700	0
<i>Retailer 3</i>	0	72500	0
<i>Retailer 4</i>	1	79900	79.900
<i>Retailer 5</i>	0	79900	0
<i>Retailer 6</i>	0	79200	0
<i>Retailer 7</i>	0	79900	0
<i>Retailer 8</i>	0	79900	0
<i>Retailer 9</i>	0	76900	0

Tabel 4. 73 *Joint Total Cost*

Pembeli	Biaya Penyimpanan (Rp)	Biaya <i>Lost Sales</i> (Rp)	Total Biaya Pembeli (Rp)
<i>Retailer 1</i>	8.138,667	0	8.138,667

Pembeli	Biaya Penyimpanan (Rp)	Biaya <i>Lost Sales</i> (Rp)	Total Biaya Pembeli (Rp)
<i>Retailer 2</i>	9.337,667	0	9.337,667
<i>Retailer 3</i>	11.772	0	11.772
<i>Retailer 4</i>	8.792,667	79.900	88.692,67
<i>Retailer 5</i>	14.351,67	0	14.351,67
<i>Retailer 6</i>	8.102,333	0	8.102,333
<i>Retailer 7</i>	19.111,33	0	19.111,33
<i>Retailer 8</i>	14.460,67	0	14.460,67
<i>Retailer 9</i>	7.848	0	7.848

2. Hasil Perhitungan Biaya *Vendor*

Berikut ini akan memaparkan perhitungan *vendor* untuk produk 6 yaitu *air purifier control module* yang tertera pada Tabel 4.75 hingga Tabel 4.83 dengan menggunakan *Solver Evolutionary Algorithm* pada *Microsoft Excel*:

Tabel 4. 74 Total Biaya Pembuangan Limbah

<i>Vendor</i>	Total Scrap (kg)	Biaya Scrap (Rp)	Total Biaya Pembuangan Limbah (Rp)
<i>Vendor 1</i>	18,5682	2.500	46.420,5
<i>Vendor 2</i>	13,62065	2.500	34.051,62

Tabel 4. 75 Total Biaya Pembuangan Limbah CO₂

<i>Vendor</i>	Total Scrap (kg)	Biaya Disposal (kg)	Biaya Emisi Karbon CO₂ (Rp)	Total Biaya Pembuangan Limbah CO₂ (Rp)
<i>Vendor 1</i>	18,5682	0,35	100	649,887
<i>Vendor 2</i>	13,62065	0,35	100	1.317,111

Tabel 4. 76 Total Biaya Lembur

<i>Vendor</i>	Lembur (jam)	Biaya Lembur (Rp)	Total Biaya Lembur (Rp)
<i>Vendor 1</i>	0	65.000	0
<i>Vendor 2</i>	0	70.000	0

Tabel 4. 77 Total Biaya Setup

<i>Vendor</i>	Biaya Setup (Rp)	Total Setup	Total Biaya Setup (Rp)
<i>Vendor 1</i>	44420	9	399.780
<i>Vendor 2</i>	44420	9	399.780

Tabel 4. 78 Total Biaya Ergonomi

<i>Vendor</i>	Jam Kerja yang dibutuhkan (jam)	Total Biaya Ergonomi (Rp)
<i>Vendor 1</i>	8038,8	602.910
<i>Vendor 2</i>	8630,4	647.280

Tabel 4. 79 Total Biaya Produksi Emisi Karbon

<i>Vendor</i>	Keputusan Pengiriman	Emisi Karbon (unit)	Biaya Emisi Karbon CO₂ (Rp)	Total Biaya Produksi Emisi Karbon CO₂ (Rp)
<i>Vendor 1</i>	231	3,82	100	88.242
<i>Vendor 2</i>	248	3,82	100	94.736

Tabel 4. 80 Total Biaya Pengiriman

<i>Vendor</i>	Keputusan Pengiriman	Total Biaya Pengiriman (Rp)
<i>Vendor 1</i>	231	1.125.000
<i>Vendor 2</i>	248	1.125.000

Tabel 4. 81 Total Biaya Pengiriman CO₂

<i>Vendor</i>	Keputusan Pengiriman	Biaya Emisi Karbon CO₂ (Rp)	Total Biaya Pengiriman CO₂ (Rp)
<i>Vendor 1</i>	231	100	21.780,97
<i>Vendor 2</i>	248	100	22.658,4

Tabel 4. 82 Joint Total Cost Vendor

<i>Vendor</i>	<i>Vendor 1</i>	<i>Vendor 2</i>
Keputusan Pengiriman	231	248
Total Biaya Pembuangan Limbah (Rp)	46.420,50	34.051,62
Total Biaya Pembuangan Limbah CO₂ (Rp)	649,887	1.317,11
Total Biaya Lembur (Rp)	0	0
Biaya Setup	399.780	399.780
Biaya Ergonomi (Rp)	602.910	647.280
Total Biaya Produksi Emisi Karbon (Rp)	88.242	94.736
Total Biaya Pengiriman (Rp)	1.125.000	1.125.000
Total Biaya Pengiriman CO₂ (Rp)	21.780,97	22.658,40
TOTAL	Rp2.284.783,36	Rp2.324.823,13

4.2.3.7 LED Lamp Driver (P7)

1. Hasil Perhitungan Biaya *Retailer*

Berikut ini akan memaparkan perhitungan *retailer* untuk produk 7 yaitu LED lamp driver yang tertera pada Tabel 4.84 hingga Tabel 4.86 dengan menggunakan *Solver Evolutionary Algorithm* pada *Microsoft Excel*:

Tabel 4. 83 Total Biaya Penyimpanan *Retailer*

Pembeli	Total Persediaan Akhir (unit)	Biaya Penyimpanan (Rp/unit)	Total Biaya Penyimpanan (Rp)
<i>Retailer 1</i>	308	49,33333	15.194,67
<i>Retailer 2</i>	798	49,33333	39.368
<i>Retailer 3</i>	298	49,33333	14.701,33
<i>Retailer 4</i>	357	49,33333	17.612
<i>Retailer 5</i>	418	49,33333	20.621,33
<i>Retailer 6</i>	578	49,33333	28.514,67
<i>Retailer 7</i>	577	49,33333	28.465,33
<i>Retailer 8</i>	364	49,33333	17.957,33
<i>Retailer 9</i>	368	49,33333	18.154,67

Tabel 4. 84 Total Biaya *Lost Sales*

Pembeli	Total <i>Lost Sales</i> (unit)	Biaya <i>Lost Sales</i> (Rp/unit)	Total Biaya <i>Lost Sales</i> (Rp)
<i>Retailer 1</i>	0	56.200	0
<i>Retailer 2</i>	0	61.300	0
<i>Retailer 3</i>	0	61.800	0
<i>Retailer 4</i>	0	60.700	0
<i>Retailer 5</i>	0	56.200	0
<i>Retailer 6</i>	0	55.600	0
<i>Retailer 7</i>	0	57.900	0
<i>Retailer 8</i>	0	57.900	0
<i>Retailer 9</i>	0	58.400	0

Tabel 4. 85 *Joint Total Cost Retailer*

Pembeli	Biaya Penyimpanan (Rp)	Biaya <i>Lost Sales</i> (Rp)	Total Biaya Pembeli (Rp)
<i>Retailer 1</i>	15.194,67	0	15.194,67
<i>Retailer 2</i>	39.368	0	39.368

Pembeli	Biaya Penyimpanan (Rp)	Biaya <i>Lost Sales</i> (Rp)	Total Biaya Pembeli (Rp)
<i>Retailer 3</i>	14.701,33	0	14.701,33
<i>Retailer 4</i>	17.612	0	17.612
<i>Retailer 5</i>	20.621,33	0	20.621,33
<i>Retailer 6</i>	28.514,67	0	28.514,67
<i>Retailer 7</i>	28.465,33	0	28.465,33
<i>Retailer 8</i>	17.957,33	0	17.957,33
<i>Retailer 9</i>	18.154,67	0	18.154,67

2. Hasil Perhitungan Biaya *Vendor*

Berikut ini akan memaparkan perhitungan *vendor* untuk produk 7 yaitu LED *lamp driver* yang tertera pada Tabel 4.87 hingga Tabel 4.95 dengan menggunakan *Solver Evolutionary Algorithm* pada *Microsoft Excel*:

Tabel 4. 86 Total Biaya Pembuangan Limbah

<i>Vendor</i>	Total Scrap (kg)	Biaya Scrap (Rp)	Total Biaya Pembuangan Limbah (Rp)
<i>Vendor 1</i>	35,03622	2.500	87.590,56
<i>Vendor 2</i>	26,96322	2.500	67.408,06

Tabel 4. 87 Total Biaya Pembuangan Limbah CO₂

<i>Vendor</i>	Total Scrap (kg)	Biaya <i>Disposal</i> (kg)	Biaya Emisi Karbon CO₂ (Rp)	Total Biaya Pembuangan Limbah CO₂ (Rp)
<i>Vendor 1</i>	35,03622	0,35	100	1.226,268
<i>Vendor 2</i>	26,96322	0,35	100	2.476,551

Tabel 4. 88 Total Biaya Lembur

<i>Vendor</i>	Lembur (jam)	Biaya Lembur (Rp)	Total Biaya Lembur (Rp)
<i>Vendor 1</i>	0	65.000	0
<i>Vendor 2</i>	0	70.000	0

Tabel 4. 89 Total Biaya Setup

<i>Vendor</i>	Biaya Setup (Rp)	Total Setup	Total Biaya Setup (Rp)
<i>Vendor 1</i>	29280	9	263.520
<i>Vendor 2</i>	29280	9	263.520

Tabel 4. 90 Total Biaya Ergonomi

<i>Vendor</i>	Jam Kerja yang dibutuhkan (jam)	Total Biaya Ergonomi (Rp)
<i>Vendor 1</i>	14364	1.077.300
<i>Vendor 2</i>	14603,4	1.095.255

Tabel 4. 91 Total Biaya Produksi Emisi Karbon

<i>Vendor</i>	Keputusan Pengiriman	Emisi Karbon (unit)	Biaya Emisi Karbon CO₂ (Rp)	Total Biaya Produksi Emisi Karbon CO₂ (Rp)
<i>Vendor 1</i>	420	5,39	100	226.380
<i>Vendor 2</i>	427	5,39	100	230.153

Tabel 4. 92 Total Biaya Pengiriman

<i>Vendor</i>	Keputusan Pengiriman	Total Biaya Pengiriman (Rp)
<i>Vendor 1</i>	420	1.125.000
<i>Vendor 2</i>	427	1.125.000

Tabel 4. 93 Total Biaya Pengiriman Emisi Karbon

<i>Vendor</i>	Keputusan Pengiriman	Biaya Emisi Karbon CO_2 (Rp)	Total Biaya Pengiriman CO_2 (Rp)
<i>Vendor 1</i>	420	100	31.940,29
<i>Vendor 2</i>	427	100	41.545,7

Tabel 4. 94 Joint Total Cost Vendor

<i>Vendor</i>	<i>Vendor 1</i>	<i>Vendor 2</i>
Keputusan Pengiriman	420	427
Total Biaya Pembuangan Limbah (Rp)	87.590,56	67.408,06
Total Biaya Pembuangan Limbah CO_2 (Rp)	1.226,27	2.476,55
Total Biaya Lembur (Rp)	0	0
Biaya Setup	263.520	263.520
Biaya Ergonomi (Rp)	1.077.300	1.095.255
Total Biaya Produksi Emisi Karbon (Rp)	226.380	230.153
Total Biaya Pengiriman (Rp)	1.125.000	1.125.000
Total Biaya Pengiriman CO_2 (Rp)	31.940,29	41.545,70
TOTAL	Rp2.812.957,12	Rp2.825.358,31

BAB V

PEMBAHASAN

5.1 Analisis Variabel Keputusan Model

Berdasarkan hasil pengolahan data yang telah dilakukan, bab ini akan menyajikan analisis yang telah dibangun. Model tersebut merepresentasikan variabel keputusan pengiriman produk dari *vendor* ke *retailer* yang bertujuan untuk meminimalkan *joint total cost* (JTC). Dalam model ini, aspek ekonomi diintegrasikan dengan faktor operasional dan keberlanjutan seperti waktu kerja, biaya sosial, dan emisi karbon, sehingga keputusan yang dihasilkan mencerminkan keseimbangan antara efisiensi biaya dan dampak sistem secara keseluruhan.

Tabel 5. 1 Hasil Optimasi Keputusan *Vendor 1*

VENDOR 1							
Hasil Optimasi	Produk 1	Produk 2	Produk 3	Produk 4	Produk 5	Produk 6	Produk 7
<i>Retailer 1</i>	11	14	28	20	23	24	23
<i>Retailer 2</i>	13	13	32	31	33	38	98
<i>Retailer 3</i>	28	11	33	38	11	34	39
<i>Retailer 4</i>	14	13	30	54	25	28	35
<i>Retailer 5</i>	10	15	29	36	27	21	55
<i>Retailer 6</i>	13	19	30	8	30	27	54
<i>Retailer 7</i>	9	27	21	35	19	22	15
<i>Retailer 8</i>	11	19	9	36	20	31	38
<i>Retailer 9</i>	22	10	39	21	23	6	63

Tabel 5. 2 Hasil Optimasi Keputusan *Vendor 2*

VENDOR 2							
Hasil Optimasi	Produk 1	Produk 2	Produk 3	Produk 4	Produk 5	Produk 6	Produk 7
<i>Retailer 1</i>	27	28	21	15	14	22	43

VENDOR 2							
Hasil Optimasi	Produk 1	Produk 2	Produk 3	Produk 4	Produk 5	Produk 6	Produk 7
<i>Retailer 2</i>	35	25	24	30	13	14	67
<i>Retailer 3</i>	32	11	17	11	34	14	30
<i>Retailer 4</i>	17	13	15	30	55	26	50
<i>Retailer 5</i>	18	5	29	22	13	23	47
<i>Retailer 6</i>	24	25	28	25	20	34	54
<i>Retailer 7</i>	27	23	32	34	30	56	59
<i>Retailer 8</i>	22	39	38	39	15	43	50
<i>Retailer 9</i>	28	36	25	32	10	16	27

Berdasarkan hasil optimasi pada Tabel 5.1 dan Tabel 5.2, terlihat bahwa kedua *vendor* sama-sama berkontribusi dalam memenuhi kebutuhan setiap *retailer* untuk produk 1 sampai produk 7. Namun, proporsi pengiriman dari masing-masing *vendor* berbeda pada setiap *retailer*, sehingga membentuk pola distribusi yang tidak seragam. Kondisi ini menunjukkan bahwa setiap *retailer* menerima jumlah pengiriman yang berbeda sesuai dengan kebutuhan masing-masing.

Jika dilihat secara keseluruhan, terdapat perbedaan kontribusi antar *vendor* pada beberapa *retailer*. *Vendor 2* memberikan kontribusi pengiriman yang lebih besar untuk *retailer 2*, terutama pada produk 1 dan produk 7. Sementara itu, kontribusi *vendor 1* untuk *retailer 3* terlihat lebih dominan, khususnya pada produk 3 dan produk 4. Pada *retailer 7*, *vendor 1* memiliki kontribusi yang relatif lebih besar dibandingkan *vendor 2*. *Retailer* yang menunjukkan distribusi yang lebih seimbang antara kedua *vendor*, yaitu seperti *retailer 4* dan *retailer 6*. Hal ini menunjukkan bahwa kebutuhan pada *retailer 4* dan *6* dipenuhi oleh kedua *vendor* secara bersamaan. Dari sisi produk, terlihat bahwa tidak semua produk dipenuhi oleh satu *vendor*. Beberapa produk seperti Produk 7 memiliki kontribusi yang cukup besar dari kedua *vendor* untuk berbagai *retailer*, sedangkan produk lain menunjukkan variasi distribusi yang berbeda-beda. Hal ini mengindikasikan bahwa alokasi pengiriman tidak bersifat tetap, melainkan menyesuaikan dengan kebutuhan dan kondisi pada masing-masing *retailer*. Secara keseluruhan, hasil optimasi menunjukkan

bahwa distribusi pengiriman terbentuk dari kontribusi kedua *vendor* yang berbeda pada setiap *retailer* dan produk. Pola ini mencerminkan bahwa sistem mampu mengalokasikan pengiriman secara fleksibel sesuai dengan kebutuhan, tanpa bergantung pada satu sumber tertentu.

5.2 Analisis Biaya Sistem

Pada Tabel 5.3 memaparkan JTC *retailer* dan *vendor* yang ada pada produk 1, produk 2, produk 3, produk 4, produk 5, produk 6, produk 7 yang telah diperhitungkan dari *retailer* 1 hingga *retailer* 9 yang telah dijelaskan pada bab 4. Berikut adalah Tabel 5.3:

Tabel 5. 3 Biaya Sistem *Retailer* dan *Vendor*

PRODUK	JTC <i>Retailer</i>	JTC <i>Vendor 1</i>	JTC <i>Vendor 2</i>	GTC
P1	Rp171.820,33	Rp1.470.330,00	Rp1.470.330,00	Rp3.112.480,33
P2	Rp54.390,00	Rp1.370.520,00	Rp1.370.520,00	Rp2.795.430,00
P3	Rp556.540,00	Rp1.392.300,00	Rp1.392.300,00	Rp3.341.140,00
P4	Rp111.205,67	Rp1.366.740,00	Rp1.366.740,00	Rp2.844.685,67
P5	Rp100.032,00	Rp1.294.920,00	Rp1.294.920,00	Rp2.689.872,00
P6	Rp181.815,00	Rp1.524.780,00	Rp1.524.780,00	Rp3.231.375,00
P7	Rp200.589,33	Rp1.388.520,00	Rp1.388.520,00	Rp2.977.629,33

Berdasarkan Tabel 5.3, JTC *retailer* mencakup biaya penyimpanan *retailer* dan biaya *lost sales retailer* dari *retailer* 1 hingga *retailer* 9. Pada JTC *vendor* pada Tabel 5.3 hanya mencakup biaya operasional yang terjadi pada *vendor* 1 dan 2, yaitu biaya *setup*, biaya lembur pekerja, dan biaya pengiriman.

Nilai total biaya sistem (GTC) pada setiap produk menunjukkan perbedaan yang cukup jelas. Produk 3 memiliki nilai GTC tertinggi sebesar Rp3.341.140,00, lalu Produk 6 sebesar Rp3.231.375,00 dan Produk 1 sebesar Rp3.112.480,33. Sementara itu, Produk 5 memiliki nilai GTC terendah sebesar Rp2.689.872,00. Perbedaan ini menunjukkan bahwa setiap produk memiliki tingkat aktivitas operasional yang berbeda dalam sistem, baik dari sisi pemenuhan permintaan, frekuensi pengiriman, maupun proses produksi yang dilakukan oleh *vendor*. Produk 3 memiliki nilai GTC tertinggi karena aktivitas pengiriman dan

produksi yang lebih tinggi dibandingkan produk lainnya, sehingga meningkatkan akumulasi biaya dalam sistem.

Jika dilihat dari komponen penyusunnya, nilai JTC *retailer* pada seluruh produk relatif kecil dibandingkan dengan JTC *vendor*. Sebagai contoh, pada Produk 2, JTC *retailer* hanya sebesar Rp54.390,00, sedangkan JTC *Vendor* 1 dan *Vendor* 2 masing-masing mencapai Rp1.370.520,00 dan Rp1.370.520,00. Pola yang sama juga terlihat pada produk lainnya, di mana kontribusi biaya dari *retailer* tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap total biaya sistem, pada produk 3 dengan JTC *retailer* Rp556.540,00 hanya mencakup 16% dari GTC produk 3. Kondisi ini dipengaruhi oleh struktur biaya *retailer* yang terbatas pada biaya penyimpanan dan *lost sales*, serta biaya pengiriman yang dihitung berdasarkan frekuensi pengiriman. Sebaliknya, JTC pada sisi *vendor* menjadi komponen utama dalam pembentukan GTC. Hal ini disebabkan oleh adanya akumulasi biaya operasional seperti biaya *setup*, biaya lembur pekerja, dan biaya pengiriman yang terjadi selama proses produksi dan distribusi. *Vendor* 1 dan 2 memiliki biaya yang sama karena biaya pengiriman yang selalu sama dalam 14 periode dan biaya *setup* yang sama. Dengan demikian, perubahan pada aktivitas produksi maupun pengiriman di sisi *vendor* akan secara langsung mempengaruhi besarnya total biaya sistem.

Perbedaan nilai GTC antar produk juga mencerminkan variasi kebutuhan operasional pada masing-masing produk. Produk dengan nilai GTC yang lebih tinggi cenderung memiliki intensitas aktivitas produksi dan distribusi yang lebih tinggi, sehingga menghasilkan akumulasi biaya yang lebih besar dibandingkan produk lainnya.

5.3 Analisis *Sustainability Cost*

Pada sub bab ini akan menjelaskan aspek *sustainability cost* yang terjadi pada *vendor* 1 dan *vendor* 2. *Sustainability cost* yang akan dianalisis adalah biaya pembuangan limbah, biaya pembuangan limbah CO_2 , biaya ergonomi, biaya produksi CO_2 , biaya pengiriman CO_2 . Akan di jabarkan pada Tabel 5.4 sebagai berikut.

Tabel 5. 4 *Sustainability Cost*

Produk	Biaya Pembuangan Limbah	Biaya Pembuangan Limbah CO2	Biaya Ergonomi	Biaya Produksi CO2	Biaya Pengiriman CO2
P1	Rp47.040,92	Rp1.109,17	Rp2.154.240,00	Rp166.736,00	Rp76.362,18
P2	Rp80.602,18	Rp1.806,21	Rp1.781.325,00	Rp271.005,00	Rp68.014,31
P3	Rp91.795,24	Rp2.085,27	Rp756.000,00	Rp412.800,00	Rp27.029,52
P4	Rp91.582,21	Rp2.077,41	Rp2.349.765,00	Rp123.046,00	Rp87.837,07
P5	Rp79.928,68	Rp1.821,25	Rp1.307.250,00	Rp227.005,00	Rp47.206,18
P6	Rp80.472,11	Rp1.967,00	Rp1.250.190,00	Rp182.978,00	Rp44.439,37
P7	Rp154.998,61	Rp3.702,82	Rp2.172.555,00	Rp456.533,00	Rp73.486,00

Berdasarkan Tabel 5.4, total *sustainability cost* pada setiap produk menunjukkan perbedaan nilai yang cukup jelas. Produk 7 memiliki total *sustainability cost* tertinggi sebesar Rp2.861.275,42, selanjutnya oleh Produk 4 sebesar Rp2.654.307,69 dan Produk 1 sebesar Rp2.445.488,27. Sementara itu, Produk 3 memiliki nilai terendah sebesar Rp1.289.710,03. Jika dilihat dari komponen pembentuknya, biaya ergonomi menjadi pengaruh terbesar pada seluruh produk. Nilai tertinggi terdapat pada Produk 4 sebesar Rp2.349.765,00 dan Produk 7 sebesar Rp2.172.555,00. Hal ini menunjukkan bahwa aktivitas yang melibatkan tenaga kerja memberikan kontribusi terbesar dalam pembentukan *sustainability cost*. Tingginya biaya ergonomi mengindikasikan bahwa intensitas pekerjaan dan beban kerja dalam proses operasional memiliki peran signifikan dibandingkan dengan dampak lingkungan yang dihasilkan. Biaya emisi karbon yang berasal dari biaya Biaya Pembuangan Limbah CO2, biaya produksi CO2, dan biaya pengiriman CO2 juga memberikan kontribusi yang cukup signifikan, dengan nilai tertinggi pada Produk 7 sebesar Rp533.721,81 dan Produk 3 sebesar Rp441.914,79. Hal ini menunjukkan bahwa aktivitas produksi dan distribusi turut memberikan dampak terhadap peningkatan biaya keberlanjutan, meskipun kontribusinya masih berada di bawah biaya ergonomi.

Sementara itu, biaya *scrap* memiliki nilai yang relatif lebih kecil dibandingkan kedua komponen lainnya, dengan nilai tertinggi pada Produk 7 sebesar Rp154.998,61. Hal ini

menunjukkan bahwa limbah yang dihasilkan dalam Perusahaan X masih berada pada tingkat yang lebih rendah dibandingkan dengan dampak tenaga kerja dan emisi.

Jika dibandingkan antar produk, Produk 7 memiliki nilai *sustainability cost* tertinggi karena seluruh komponen biaya, terutama biaya ergonomi dan emisi karbon, berada pada nilai yang relatif tinggi. Sebaliknya, Produk 3 memiliki nilai terendah karena biaya ergonomi dan komponen lainnya berada pada tingkat yang lebih rendah dibandingkan produk lain. Secara keseluruhan, *sustainability cost* pada setiap produk didominasi oleh biaya ergonomi, biaya emisi karbon, sedangkan biaya scrap memberikan kontribusi paling kecil terhadap total *sustainability cost*. Hal ini menunjukkan bahwa pengendalian *sustainability cost* dalam sistem tidak hanya berkaitan dengan pengurangan emisi, tetapi juga perlu memperhatikan efisiensi penggunaan tenaga kerja.

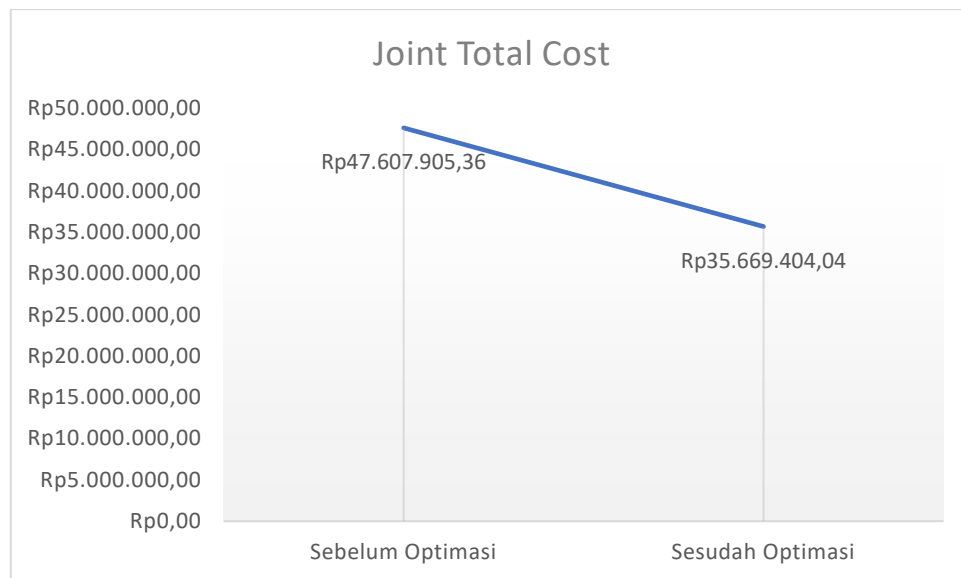
5.4 Analisis Total Biaya Sistem

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, diperoleh nilai *Joint Total Cost* (JTC) sebelum optimasi sebesar Rp47.607.905,36. Nilai ini menggambarkan total biaya sistem pada kondisi awal perusahaan, yaitu ketika keputusan pengiriman masih dilakukan secara konstan. Pada kondisi tersebut, *vendor* 1 mengirimkan 10 unit dan *vendor* 2 mengirimkan 5 unit untuk setiap periode pengiriman. Kebijakan ini belum mempertimbangkan variasi permintaan aktual pada setiap *retailer*, kondisi persediaan, maupun perbedaan biaya yang timbul dari masing-masing *vendor*. Akibatnya, jumlah produk yang dikirim berpotensi tidak sesuai dengan kebutuhan sistem, sehingga dapat memunculkan biaya persediaan, *lost sales*, biaya pengiriman, serta *sustainability cost* yang lebih tinggi.

Sementara itu, nilai JTC sesudah optimasi diperoleh sebesar Rp35.669.404,04. Nilai ini merupakan hasil dari proses optimasi menggunakan *Solver* dengan pendekatan *Evolutionary Algorithm*, di mana jumlah pengiriman, waktu pengiriman, dan alokasi *vendor* ditentukan berdasarkan minimasi total biaya sistem. Berbeda dengan kondisi sebelum optimasi, keputusan sesudah optimasi tidak lagi menggunakan jumlah pengiriman tetap, tetapi menyesuaikan kebutuhan permintaan, kapasitas *vendor*, serta biaya yang muncul pada setiap kombinasi *vendor*, *retailer*, produk, dan periode. Dengan demikian, model optimasi mampu menghasilkan keputusan distribusi yang lebih adaptif terhadap kondisi sistem.

Tabel 5. 5 Perbandingan Total Biaya Gabungan

JTC	Sebelum Optimasi	Sesudah Optimasi
	Rp47.607.905,36	Rp35.669.404,04



Gambar 5. 1 Grafik Perbandingan Total Biaya Gabungan

Berdasarkan Tabel 5.5 dan Gambar 5.1 dapat diketahui bahwa terjadi penurunan total biaya sistem sebesar Rp11.938.501,32 atau setara dengan efisiensi sekitar 25,08%. Penurunan ini menunjukkan bahwa model optimasi mampu menghasilkan biaya sistem yang lebih rendah dibandingkan kebijakan awal perusahaan. Efisiensi tersebut terjadi karena sistem tidak lagi menggunakan jumlah pengiriman tetap dari *vendor* 1 dan *vendor* 2, melainkan menentukan keputusan pengiriman berdasarkan kebutuhan aktual dan kombinasi biaya terendah. Pada kondisi awal, pengiriman konstan sebesar 10 unit dari *vendor* 1 dan 5 unit dari *vendor* 2 dapat menyebabkan ketidaksesuaian antara jumlah pasokan dan kebutuhan *retailer*. Setelah optimasi, jumlah pengiriman dapat disesuaikan dengan permintaan dan kondisi persediaan sehingga biaya sistem dapat ditekan.

Secara keseluruhan, hasil perbandingan sebelum dan sesudah optimasi menunjukkan bahwa model *Vendor Managed Inventory* (VMI) yang dikembangkan mampu memperbaiki kebijakan distribusi pada sistem multi-vendor, multi-retailer, dan multi-product. Kebijakan awal yang bersifat tetap dapat digantikan dengan keputusan distribusi

yang lebih fleksibel melalui proses optimasi. Dengan demikian, penurunan JTC sebesar 25,08% menunjukkan bahwa model tidak hanya mampu menekan biaya, tetapi juga memberikan dasar pengambilan keputusan yang lebih sesuai dengan kondisi rantai pasok Perusahaan X.

5.5 Pertimbangan *Sustainability Cost* dalam Optimasi Rantai Pasok

Meskipun model optimasi yang dikembangkan telah mampu memperbaiki keputusan distribusi dan mempertimbangkan *sustainability cost* dalam proses pengambilan keputusan, penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan dalam merepresentasikan kondisi rantai pasok secara menyeluruh. Pada penelitian ini, aspek *sustainability* telah diakomodasi melalui komponen biaya ergonomi, limbah produksi, dan emisi karbon sehingga keputusan distribusi tidak hanya berorientasi pada minimasi biaya ekonomi. Model juga berhasil mengurangi ketidakseimbangan persediaan akibat pola pengiriman tetap yang sebelumnya berpotensi menimbulkan *over stock* dan *under stock* pada *retailer*. Namun, aspek *defect* atau produk cacat masih direpresentasikan secara sederhana melalui parameter *scrap* dan biaya pembuangan limbah, sehingga belum mampu menggambarkan penyebab *defect*, tingkat kecacatan tiap produk, maupun pengaruh *defect* terhadap keputusan produksi dan distribusi secara lebih detail. Padahal, pada kondisi nyata, peningkatan *defect* dapat memengaruhi jumlah produksi, kebutuhan pengiriman ulang, beban kerja produksi, hingga peningkatan limbah dan *sustainability cost* dalam sistem rantai pasok.

Selain itu, model penelitian masih menggunakan beberapa asumsi yang bersifat konstan, seperti *lead time* pengiriman, kapasitas sistem, dan kondisi distribusi selama horizon penelitian. Pendekatan ini membantu proses optimasi menjadi lebih terstruktur, tetapi belum sepenuhnya menggambarkan kondisi operasional nyata yang dinamis. Dalam praktiknya, aktivitas rantai pasok dapat dipengaruhi oleh berbagai ketidakpastian seperti keterlambatan transportasi, kerusakan mesin produksi, keterbatasan kapasitas *vendor*, maupun perubahan permintaan yang fluktuatif. Kondisi tersebut berpotensi memengaruhi efisiensi distribusi, penggunaan energi, beban kerja, serta emisi karbon yang dihasilkan selama proses produksi dan pengiriman. Selain itu, horizon penelitian

yang masih relatif pendek menyebabkan pola distribusi dan *sustainability cost* yang dihasilkan belum sepenuhnya menunjukkan perilaku sistem dalam jangka panjang. Oleh karena itu, pengembangan model pada penelitian selanjutnya masih diperlukan agar keputusan distribusi yang dihasilkan dapat menjadi lebih adaptif, realistis, dan mampu merepresentasikan kondisi rantai pasok secara lebih menyeluruh.

5.6 Pertimbangan *Sustainability* dan KPI Keseimbangan

Dalam penelitian ini, model optimasi VMI digunakan untuk menentukan keputusan produksi dan pengiriman secara terintegrasi. Keputusan itu mencakup jumlah produk yang dikirim, waktu pengiriman, serta alokasi *vendor* yang menghasilkan total biaya sistem paling rendah. Namun, karena model juga mempertimbangkan *sustainability cost*, hasil optimasi tidak hanya dinilai dari dampaknya terhadap biaya ergonomic, limbah produksi, emisi karbon, dan pemenuhan permintaan *retailer*.

Berdasarkan hasil perbandingan sebelum dan sesudah di optimasi, model mampu menurunkan JTC dari Rp47.607.905,36 menjadi Rp35.669.404,04 atau turun sebesar 25,08%. Pernurunan ini menunjukkan keputusan distribusi lebih lebih efisien dibandingkan kebijakan awal perusahaan yang masih menggunakan jumlah pengiriman tetap. Namun, efisiensi biaya tetap perlu dibaca bersama dengan indikator lain, karena keputusan dengan biaya rendah belum tentu selalu menjadi keputusan yang paling seimbang apabila menimbulkan beban kerja tinggi, emisi besar, atau risiko lost sales.

Oleh karena itu, KPI keseimbangan dapat digunakan sebagai indikator evaluasi setelah proses optimasi dilakukan. KPI ini tidak hanya berfungsi untuk melihat apakah biaya sistem sudah menurun, tetapi juga untuk menilai apakah hasil keputusan masih layak dari sisi operasional dan *sustainability*. Beberapa indikator yang dapat digunakan adalah efisiensi biaya sistem melalui nilai JTC, tingkat pemenuhan permintaan melalui *lost sales*, keseimbangan distribusi pengiriman antar *vendor*, serta kendali terhadap *sustainability cost* yang mencakup biaya ergonomi, limbah produksi, dan emisi karbon. Dengan adanya KPI keseimbangan, Perusahaan X dapat melihat hasil optimasi secara lebih menyeluruh. Apabila suatu keputusan distribusi menghasilkan biaya rendah tetapi menyebabkan beban kerja atau emisi yang tinggi, maka keputusan tersebut tetap perlu dievaluasi. Sebaliknya,

apabila keputusan distribusi mampu menekan biaya, memenuhi permintaan, dan menjaga *sustainability cost* pada tingkat yang wajar, maka hasil tersebut dapat dianggap sebagai solusi yang lebih seimbang bagi sistem rantai pasok.

BAB VI PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian ini adalah model optimasi *Vendor Managed Inventory* (VMI) pada sistem *multi vendor*, *multi retailer*, dan *multi product* dengan mempertimbangkan *sustainability cost* mampu menghasilkan keputusan distribusi yang lebih optimal pada Perusahaan X. Model yang dikembangkan mampu menentukan jumlah pengiriman produk, alokasi *vendor*, serta jadwal pengiriman yang lebih sesuai dengan kebutuhan permintaan *retailer* dan kondisi sistem rantai pasok dibandingkan kebijakan awal perusahaan yang masih menggunakan jumlah pengiriman tetap. Hasil optimasi menunjukkan bahwa nilai *Joint Total Cost* (JTC) sebelum optimasi sebesar Rp47.607.905,36 berhasil diturunkan menjadi Rp35.669.404,04 setelah optimasi dilakukan. Dengan demikian, terjadi penurunan total biaya sebesar Rp11.938.501,32 atau setara dengan efisiensi sebesar 25,08%. Penurunan biaya tersebut menunjukkan bahwa keputusan distribusi yang dihasilkan model lebih efisien karena mampu menyesuaikan jumlah pasokan dengan kebutuhan aktual *retailer* sehingga dapat mengurangi ketidakseimbangan persediaan dalam sistem. Selain itu, model optimasi yang dikembangkan juga mampu mengintegrasikan pertimbangan *sustainability cost* ke dalam proses pengambilan keputusan distribusi. Dengan demikian, penelitian ini menghasilkan rekomendasi kebijakan distribusi yang lebih efisien, adaptif, dan dapat digunakan sebagai alternatif pengendalian persediaan pada sistem *supply chain multi-echelon* Perusahaan X.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan dan kesimpulan yang telah didapatkan. Berikut merupakan saran dari peneliti untuk penelitian selanjutnya dengan topik yang serupa dengan mempertimbangkan aspek-aspek dibawah ini:

1. Pada penelitian ini, aspek *defect* atau produk cacat masih di sirepresentasikan melalui parameter scrap dan biaya pembuangan limbah, maka peneleitian selanjutnya

disarankan dapat membahas *defect* secara lebih detail, seperti penyebab *defect*, tingkat kecacatan setiap produk, biaya inspeksi, serta pengaruh *defect* terhadap jumlah produksi dan keputusan pengiriman.

2. Penelitian selanjutnya dapat mempertimbangkan ketidakpastian pada sisi produksi dan distribusi, seperti kerusakan mesin, keterlambatan bahan baku, keterbatasan kapasitas *vendor*, serta keterlambatan transportasi.
3. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan horizon waktu yang lebih panjang agar pola permintaan, frekuensi pengiriman, persediaan, dan *sustainability cost* dapat dianalisis secara lebih stabil.
4. Diharapkan Perusahaan X dapat menggunakan penelitian ini sebagai dasar pertimbangan dalam menyusun kebijakan distribusi berbasis VMI. Model yang dikembangkan melalui pendekatan MILP dapat memberikan rekomendasi jumlah pasokan yang optimal, dengan implementasi VMI dilakukan secara bertahap melalui peningkatan koordinasi dan pertukaran informasi antara *vendor* dan *retailer*.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustian, M. A., & Dahda, S. S. (2022). Pengembangan Model Persediaan Single Vendor Multi Buyer Dengan Kebijakan Rework. *Gn. Malang, Randu Agung, Kec. Kebomas. Kab. Gresik*, 19(2), 61121.
- Alavidoost, M. H., Jafarnejad, A., & Babazadeh, H. (2021). A novel fuzzy mathematical model for an integrated supply chain planning using multi-objective evolutionary algorithm. *Soft Computing*, 25(3), 1777–1801. <https://doi.org/10.1007/s00500-020-05251-6>
- Almanaseer, M., Zhang, G., & Huang, Z. (2024). Optimal supply network with vendor managed inventory in a healthcare system with RFID. *IFAC-PapersOnLine*, 58(19), 7–12. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2024.09.076>
- Astanti, R. D., Daryanto, Y., & Dewa, P. K. (2022). *Low-Carbon Supply Chain Model under a Vendor-Managed Inventory Partnership and Carbon Cap-and-Trade Policy*. <https://doi.org/10.3390/joitmc>
- Aurélio Falcone, M., Silvério Lopes, H., & Santos Coelho, L. dos. (2008). Supply chain optimisation using evolutionary algorithms. *International Journal of Computer Applications in Technology*, 31(3–4), 158–167. <https://doi.org/10.1504/IJCAT.2008.018154>
- Ayomide Madamidola, O., Daramola, O., Adeboje, O., Ayomide, O., Oladunni Abosede, D., & Kolawole Gabriel, A. (2024). A Review of Existing Inventory Management Systems. In *International Journal of Research in Engineering and Science (IJRES) ISSN (Vol. 12)*. www.ijres.org
- Bhowmik, O., & Parvez, S. (2024). Supply chain network design: an MILP and Monte Carlo simulation approach. *Brazilian Journal of Operations and Production Management*, 21(1). <https://doi.org/10.14488/BJOPM.1936.2024>
- Bibave, Dr. A. R. (2024). Supply Chain Management: Concepts and Cases. In *Legal and Policy Regime of Outer Space and Global Governance*. San International Scientific Publications. <https://doi.org/10.59646/sc/269>
- Carvajal-Hernández, J. D., & Osorio-Muriel, A. F. (2022). A Simulation-Based Optimization Algorithm for the Vendor-Managed Inventory Problem for Blood Platelets^a. *Ingenieria y Universidad*, 26. <https://doi.org/10.11144/javeriana.iued26.sboa>
- Chen, T., Liu, C., & Xu, X. (2022). Coordination of Perishable Product Supply Chains with a Joint Contract under Yield and Demand Uncertainty. *Sustainability (Switzerland)*, 14(19). <https://doi.org/10.3390/su141912658>

- Chopra, Sunil., & Meindl, Peter. (2016). *Supply chain management : strategy, planning, and operation*. Pearson.
- Choudhary, D., & Shankar, R. (2015). The value of VMI beyond information sharing in a single supplier multiple retailers supply chain under a non-stationary (Rn, Sn) policy. *Omega (United Kingdom)*, 51, 59–70. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2014.09.004>
- Deniarsyah, M., & Fatma Putri, C. (2023). *Analisis Penggunaan Vendor Managed Inventory Terhadap Minimasi Bullwhip Effect Pada Supply Chain Manufaktur Produk Infus D5, NS, dan RL (Studi Kasus: PT. MJB PHARMA-PASURUAN)*. 14(2), 11–18.
- Eiben, A. E., & Smit, S. K. (n.d.). *Evolutionary Algorithm Parameters and Methods to Tune them*.
- Ghasemi, E., Lehoux, N., & Rönnqvist, M. (2024). A multi-level production-inventory-distribution system under mixed make to stock, make to order, and vendor managed inventory strategies: An application in the pulp and paper industry. *International Journal of Production Economics*, 271. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2024.109201>
- Golpîra, H., Babae Tirkolae, E., Maihami, R., & Karimi, K. (2023). A robust Tri-Objective optimization to supply chain configuration under Vendor-Managed inventory policy considering supply chain visibility. *Expert Systems with Applications*, 224. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.119916>
- Guo, Y., Liu, F., Song, J.-S., & Wang, S. (2025). Supply chain resilience: A review from the inventory management perspective. *Fundamental Research*, 5(2), 450–463. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fmre.2024.08.002>
- Heizer, J., Render, B., & Munson, C. (2020). *Operations Management: Sustainability and Supply Chain Management* (13th ed.). Pearson Education Limited.
- Hou, J., & Zhao, L. (2012). The Impact Of Demand Uncertainty On Decisions Of Sourcing Strategies Under Supply Disruption Risks. In *International Journal Of Innovative Computing, Information And Control Icic International C* (Vol. 8, Number 8).
- Huang, Y.-S., Ho, J.-W., & Kao, W.-Y. (2022). Availability and reliability of information transmission for supply chain coordination with demand information sharing. *Computers & Industrial Engineering*, 172, 108642. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108642>
- Indah Pratiwi, A., Mansur, A., Thania Prawibowo, S., Karawang Jl Ronggo Waluyo Sirnabaya, P., Timur, T., & Barat, J. (2025). A Mixed-Integer Linear Programming Model for the Rice Supply Chain in Karawang Regency to Minimize Costs. *Jurnal Teknologi Dan Manajemen Industri Terapan (JTMIT)*, 4(3), 993–1006.

- Irawan, D. K., Puspitasari, F. H., & Kristiyani, I. M. (2025). Managing Inventory in Response to Varying Demand at Retail Store X to Reduce Stockouts. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 9(1), 491–500. <https://doi.org/10.70609/gtech.v9i1.6361>
- Kadiyala, B., Lee, H., & Özer, Ö. (2023). Information and incentives in inventory management. In *Research Handbook on Inventory Management* (pp. 261–287). Edward Elgar Publishing Ltd. <https://doi.org/10.4337/9781800377103.00020>
- Kumar, B. (2018). Multi-vendor multi-buyer supply chain optimization model with perishable products. In *International Journal of Academic Research and Development* (Vol. 3, Number 2). <https://www.researchgate.net/publication/347998961>
- Lopes, J. M., Gomes, S., Oliveira, J., & Oliveira, M. (2022). International Open Innovation Strategies of Firms in European Peripheral Regions. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 8(1). <https://doi.org/10.3390/joitmc8010007>
- Lotfi, R., MohajerAnsari, P., Sharifi Nevisi, M. M., Afshar, M., Reza Davoodi, S. M., & Ali, S. S. (2024). A viable supply chain by considering vendor-managed-inventory with a consignment stock policy and learning approach. *Results in Engineering*, 21. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101609>
- Munita, A. A., Kholil, M., Siwi, G. R., & Suparno, A. (2020). Application of Vendor Managed Inventory Cooperation Model to Encourage Distribution of Products in Ud. Sari Jaya. *International Journal of Advanced Technology in Mechanical, Mechatronics and Materials*, 1(2), 56–65. <https://doi.org/10.37869/ijatec.v1i2.15>
- Muzady, I. A., & Ernawati, D. (2021). Pengurangan Bullwhip Effect Dalam Rantai Pasok Single Vendor Dan Multi Retailer Menggunakan Metode Vendor Managed Inventory (Vmi) Pada Pt. Magnesium Gosari Internasional Gresik. In *Juminten : Jurnal Manajemen Industri Dan Teknologi* (Vol. 2, Number 6).
- Narto, Moh. HM, Hamim, Ismail, Basuki, Gatot, Junianto, & Dwi Mahsun. (2022). Peran Pengendalian Persediaan Bahan Baku dengan Pendekatan Bullwhip Effect dalam Supply Chain. *Jurnal of Administrative Science*.
- Park, Y. B., Yoo, J. S., & Park, H. S. (2016). A genetic algorithm for the vendor-managed inventory routing problem with lost sales. *Expert Systems with Applications*, 53, 149–159. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.01.041>
- Rolf, B., Jackson, I., Müller, M., Lang, S., Reggelin, T., & Ivanov, D. (2023). A review on reinforcement learning algorithms and applications in supply chain management. In *International Journal of Production Research* (Vol. 61, Number 20, pp. 7151–7179). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2140221>
- Salas-Navarro, K., Romero-Montes, J. M., Acevedo-Chedid, J., Ospina-Mateus, H., Florez, W. F., & Cárdenas-Barrón, L. E. (2023). Vendor managed inventory system

- considering deteriorating items and probabilistic demand for a three-layer supply chain. *Expert Systems with Applications*, 218. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.119608>
- Santos, J. A. M., Martins, M. S. E., Pinto, R. M., & Vieira, S. M. (2024). Towards Sustainable Inventory Management: A Many-Objective Approach to Stock Optimization in Multi-Storage Supply Chains. *Algorithms*, 17(6). <https://doi.org/10.3390/a17060271>
- Setyorini, R. (2025). *Optimalisasi Manajemen Persediaan: Strategi Meningkatkan Efisiensi dan Mengurangi Biaya dalam Operasi Rantai Pasokan*. 01, 210–215.
- Shibin, K. T., Gunasekaran, A., & Dubey, R. (2017). Explaining sustainable supply chain performance using a total interpretive structural modeling approach. *Sustainable Production and Consumption*, 12, 104–118. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2017.06.003>
- Stevenson, W. J., & Sum, C. C. (2014). *Manajemen Operasi: Perspektif Asia* (D. Angelica, Ed.; 9th ed.). Salemba Empat.
- Taleizadeh, A. A., Niaki, S. T. A., & Barzinpour, F. (2011). Multiple-buyer multiple-vendor multi-product multi-constraint supply chain problem with stochastic demand and variable lead-time: A harmony search algorithm. *Applied Mathematics and Computation*, 217(22), 9234–9253. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2011.04.001>
- Thompson, D. (2024). The Impact of Demand Forecasting Accuracy on Customer Satisfaction. *International Journal of Supply Chain Management*, 9, 55–66. <https://doi.org/10.47604/ijscm.3117>
- Undariyanto, W. (2023). Di Pt Kereta Api Indonesia (Persero). *Jurnal Logistik Bisnis*, 13(1). <https://ejurnal.ulbi.ac.id/index.php/logistik/>
- Utama, D. M., Kusuma, I. R., Amallynda, I., Baroto, T., & Jauhari, W. A. (2024). A single-vendor multi-buyer inventory model with multiple raw material and quality degradation: A case study on agri-food industry. *Results in Control and Optimization*, 14. <https://doi.org/10.1016/j.rico.2023.100353>
- van den Bogaert, J., & van Jaarsveld, W. (2022). Vendor-managed inventory in practice: understanding and mitigating the impact of supplier heterogeneity. *International Journal of Production Research*, 60(20), 6087–6103. <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1983222>
- Verma, P., Aljohani, T. M., Hussain, M., Singh, A., & Tyagi, S. (2025). Optimizing the sustainability in the supply chain for inventory considering carbon emissions. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*.
- Vicente, J. J. (2025). Optimizing Supply Chain Inventory: A Mixed Integer Linear Programming Approach. *Systems*, 13(1). <https://doi.org/10.3390/systems13010033>

LAMPIRAN

- Produk 1:

- *Retailer 1:*

μ	74,48	h	44,33333333	Leadtime	5	A	125000
δ	12,3	π	69100	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	28						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	28	2	26		0	Rp1.152,67	0
2	26	1	25		0	Rp1.108,33	0
3	25	2	23		0	Rp1.019,67	0
4	23	5	18		0	Rp798,00	0
5	18	2	16		0	Rp709,33	0
6	16	2	19	5	0	Rp842,33	0
7	19	4	17	2	0	Rp753,67	0
8	17	3	14	0	0	Rp620,67	0
9	14	6	8	0	0	Rp354,67	0
10	8	3	13	8	0	Rp576,33	0
11	13	1	13	1	0	Rp576,33	0
12	13	2	12	1	0	Rp532,00	0
13	12	5	15	8	0	Rp665,00	0
14	15	1	14	0	0	Rp620,67	0
			233	25	TC	Rp10.329,67	0
					JTC	Rp10.329,67	

- *Retailer 2*

μ	156,18	h	44,33333	Leadtime	5	A	125000
δ	27,7	π	73900	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	34						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	34	3	31		0	1374,333333	0
2	31	3	28		0	1241,333333	0
3	28	3	25		0	1108,333333	0
4	25	3	22		0	975,333333	0
5	22	5	17		0	753,666667	0
6	17	3	19	5	0	842,333333	0
7	19	6	14	1	0	620,666667	0
8	14	3	11	0	0	487,666667	0
9	11	5	8	2	0	354,666667	0
10	8	8	3	3	0	133	0
11	3	5	12	14	0	532	0
12	12	3	10	1	0	443,333333	0
13	10	3	7	0	0	310,333333	0
14	7	2	5	0	0	221,666667	0
212					TC	9398,666667	0
					JTC	9398,666667	

▪ *Retailer 3*

μ	140,22	h	44,33333	Leadtime	5	A	125000
δ	16	π	69100	Serv Trgt	0,95	Act Serv	0,986486486
SS	34						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	34	5	29		0	1285,666667	0
2	29	10	19		0	842,333333	0

3	19	6	13		0	576,3333333	0
4	13	2	11		0	487,6666667	0
5	11	3	8		0	354,6666667	0
6	8	4	12	8	0	532	0
7	12	3	12	3	0	532	0
8	12	5	20	13	0	886,6666667	0
9	20	3	19	2	0	842,3333333	0
10	19	4	18	3	0	798	0
11	18	2	21	5	0	931	0
12	21	13	10	2	0	443,3333333	0
13	10	5	6	1	0	266	0
14	6	9	0	2	1	0	69100
198					TC	8778	69100
					JTC	77878	

▪ *Retailer 4*

μ	81,51	h	44,33333	Leadtime	5	A	125000
δ	16	π	76000	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	19						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	19	4	15		0	665	0
2	15	1	14		0	620,6667	0
3	14	2	12		0	532	0
4	12	3	9		0	399	0
5	9	1	8		0	354,6667	0
6	8	7	10	9	0	443,3333	0
7	10	1	16	7	0	709,3333	0
8	16	1	17	2	0	753,6667	0
9	17	2	17	2	0	753,6667	0
10	17	1	19	3	0	842,3333	0

11	19	1	21	3	0	931	0
12	21	1	21	1	0	931	0
13	21	1	20	0	0	886,6667	0
14	20	2	18	0	0	798	0
217					TC	9620,333	0
					JTC	9620,333	

▪ *Retailer 5*

μ	85,5	h	44,33333	Leadtime	5	A	125000
δ	17,6	π	68400	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	29						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	29	1	28		0	1241,333	0
2	28	3	25		0	1108,333	0
3	25	6	19		0	842,3333	0
4	19	1	18		0	798	0
5	18	1	17		0	753,6667	0
6	17	0	17	0	0	753,6667	0
7	17	1	21	5	0	931	0
8	21	1	23	3	0	1019,667	0
9	23	1	23	1	0	1019,667	0
10	23	1	24	2	0	1064	0
11	24	0	25	1	0	1108,333	0
12	25	1	32	8	0	1418,667	0
13	32	1	35	4	0	1551,667	0
14	35	2	34	1	0	1507,333	0
341					TC	15117,67	0
					JTC	15117,67	

▪ *Retailer 6*

μ	78,28	h	44,33333	Leadtime	5	A	125000
δ	15,4	π	75300	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	37						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	37	2	35		0	1551,667	0
2	35	3	32		0	1418,667	0
3	32	1	31		0	1374,333	0
4	31	1	30		0	1330	0
5	30	2	28		0	1241,333	0
6	28	2	29	3	0	1285,667	0
7	29	4	25	0	0	1108,333	0
8	25	1	30	6	0	1330	0
9	30	1	29	0	0	1285,667	0
10	29	3	34	8	0	1507,333	0
11	34	1	41	8	0	1817,667	0
12	41	1	43	3	0	1906,333	0
13	43	1	45	3	0	1995	0
14	45	6	40	1	0	1773,333	0
472					TC	20925,33	0
					JTC	20925,33	

▪ *Retailer 7*

μ	95,76	h	44,33333	Leadtime	5	A	125000
δ	14,1	π	67700	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	21						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	21	3	18		0	798	0
2	18	2	16		0	709,3333	0

3	16	2	14		0	620,6667	0
4	14	3	11		0	487,6667	0
5	11	2	9		0	399	0
6	9	9	2	2	0	88,66667	0
7	2	1	3	2	0	133	0
8	3	4	8	9	0	354,6667	0
9	8	4	5	1	0	221,6667	0
10	5	2	4	1	0	177,3333	0
11	4	1	3	0	0	133	0
12	3	2	8	7	0	354,6667	0
13	8	3	7	2	0	310,3333	0
14	7	2	17	12	0	753,6667	0
125					TC	5541,667	0
					JTC	5541,667	

▪ *Retailer 8*

μ	68,78	h	44,33333	Leadtime	5	A	125000
δ	7,9	π	68400	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	26						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	26	1	25		0	1108,333	0
2	25	1	24		0	1064	0
3	24	2	22		0	975,3333	0
4	22	2	20		0	886,6667	0
5	20	2	18		0	798	0
6	18	1	23	6	0	1019,667	0
7	23	1	31	9	0	1374,333	0
8	31	1	32	2	0	1418,667	0
9	32	1	32	1	0	1418,667	0
10	32	1	32	1	0	1418,667	0

11	32	1	36	5	0	1596	0
12	36	6	32	2	0	1418,667	0
13	32	1	35	4	0	1551,667	0
14	35	2	33	0	0	1463	0
395					TC	17511,67	0
					JTC	17511,67	

▪ *Retailer 9*

μ	102,6	h	44,33333	Leadtime	5	A	125000
δ	29,9	π	74600	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	23						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	23	0	23		0	1019,667	0
2	23	1	22		0	975,3333	0
3	22	2	20		0	886,6667	0
4	20	18	2		0	88,66667	0
5	2	1	1		0	44,33333	0
6	1	0	9	8	0	399	0
7	9	8	7	6	0	310,3333	0
8	7	4	3	0	0	133	0
9	3	1	5	3	0	221,6667	0
10	5	1	5	1	0	221,6667	0
11	5	2	5	2	0	221,6667	0
12	5	4	7	6	0	310,3333	0
13	7	2	9	4	0	399	0
14	9	5	6	2	0	266	0
124					TC	5497,333	0
					JTC	5497,333	

▪ *Vendor 1*

t	Q to R1	Q to R2	Q to R3	Q to R4	Q to R5	Q to R6	Q to R7	Q to R8	Q to R9	Stat Prod.	Q Scrap	Rate Scrap (Kg)	Disposal Cost	Disp. CO2 Cost	Required Hours	Ov. Time	Ov. Cost	Setup Cost	Ergo Cost	Prod. CO2 Cost	Delivery Cost	Delivery CO2 Cost
1	2	5	4	0	0	3	2	1	8	25	0,0321	2,399475	5998,6875	83,981625	2640	0	0	38370	198000	15325	125000	6612,672
2	0	1	1	4	5	0	1	0	5	17	0,01	0,5083	1270,75	17,7905	1795,2	0	0	38370	134640	10421	125000	3470,016
3	0	0	13	2	1	3	2	2	0	23	0,0136	0,935272	2338,18	32,73452	2428,8	0	0	38370	182160	14099	125000	6689,056
4	0	0	0	2	0	0	1	0	0	3	0,0166	0,148902	372,255	5,21157	316,8	0	0	38370	23760	1839	125000	1047,552
5	4	2	3	3	0	3	0	1	1	17	0,0414	2,104362	5260,905	73,65267	1795,2	0	0	38370	134640	10421	125000	4321,152
6	1	4	5	3	1	1	0	3	2	20	0,029	1,7342	4335,5	60,697	2112	0	0	38370	158400	12260	125000	4659,424
7	1	1	1	0	0	1	1	0	2	7	0,0417	0,872781	2181,9525	30,547335	739,2	0	0	38370	55440	4291	125000	2084,192
8	3	0	0	0	3	2	0	4	3	15	0,0199	0,892515	2231,2875	31,238025	1584	0	0	38370	118800	9195	125000	4550,304
9	0	0	1	0	0	0	2	0	1	4	0,0564	0,674544	1686,36	23,60904	422,4	0	0	38370	31680	2452	125000	1800,48
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0455	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0541	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0207	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0135	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TC	11	13	28	14	10	13	9	11	22	131		10,27035	25675,8775	359,462285			0	345330	1037520	80303	1125000	35234,848

■ *Vendor 2*

t	Q to R1	Q to R2	Q to R3	Q to R4	Q to R5	Q to R6	Q to R7	Q to R8	Q to R9	Stat Prod.	Q Scrap	Rate Scrap (Kg)	Disposal Cost	sp. CO2 C	Req. Hours	Ov. Time	Ov. Cost	Setup Cost	Ergo Cost	Prod. CO2 C	Delivery C	Delivery CO2 C
1	3	0	4	9	0	0	0	5	0	21	0,0257	1,613703	4034,2575	56,47961	2217,6	0	0	38370	166320	12873	125000	6241,664
2	2	0	2	3	0	0	1	9	1	18	0,0222	1,18404	2960,1	118,404	1900,8	0	0	38370	142560	11034	125000	5008,608
3	0	0	0	0	2	3	7	0	0	12	0,0352	1,262976	3157,44	126,2976	1267,2	0	0	38370	95040	7356	125000	2597,056
4	0	2	2	0	1	0	0	1	3	9	0,0302	0,812682	2031,705	81,2682	950,4	0	0	38370	71280	5517	125000	3644,608
5	4	1	0	0	2	5	1	0	0	13	0,0017	0,066079	165,1975	6,6079	1372,8	0	0	38370	102960	7969	125000	3710,08
6	0	10	0	0	0	7	0	2	0	19	0,0128	0,727168	1817,92	72,7168	2006,4	0	0	38370	150480	11647	125000	4932,224
7	0	0	1	1	8	2	6	2	4	24	0,0146	1,047696	2619,24	104,7696	2534,4	0	0	38370	190080	14712	125000	8031,232
8	5	0	1	0	1	1	2	0	1	11	0,0282	0,927498	2318,745	92,7498	1161,6	0	0	38370	87120	6743	125000	3710,08
9	0	0	1	0	1	1	10	0	1	14	0,0216	0,904176	2260,44	90,4176	1478,4	0	0	38370	110880	8582	125000	3251,776
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0041	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0139	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0252	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0144	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
													TC	21365,045	749,7111		0	345330	1116720	86433	1125000	41127,33

• Produk 2:

■ *Retailer 1*

μ	144,4	h	16,33333	Leadtime	5	A	125000
δ	25,9	π	144500	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	32						

Periode	Persediaan	Permintaan	Persediaan	Pesanan diterima	Lost	Holding	Stock
(t)	Awal	Harian	Akhir	dari Vendor	Sales	Cost	Out Cost
1	32	15	17	0	0	277,6667	0
2	17	2	15	0	0	245	0
3	15	2	13	0	0	212,3333	0
4	13	3	10	0	0	163,3333	0
5	10	4	6	0	0	98	0
6	6	2	9	5	0	147	0
7	9	3	12	6	0	196	0
8	12	9	12	9	0	196	0
9	12	9	10	7	0	163,3333	0

10	10	6	15	11	0	245	0
11	15	6	11	2	0	179,6667	0
12	11	6	14	9	0	228,6667	0
13	14	3	11	0	0	179,6667	0
14	11	4	13	6	0	212,3333	0
168					TC	2744	0
					JTC	2744	

▪ *Retailer 2*

μ	106,5	h	16,33333	Leadtime	5	A	125000
δ	30,7	π	151700	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	33						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	33	3	30		0	490	0
2	30	1	29		0	473,6667	0
3	29	1	28		0	457,3333	0
4	28	1	27		0	441	0
5	27	2	25		0	408,3333	0
6	25	1	31	7	0	506,3333	0
7	31	5	30	4	0	490	0
8	30	6	40	16	0	653,3333	0
9	40	1	44	5	0	718,6667	0
10	44	2	52	10	0	849,3333	0
11	52	0	67	15	0	1094,333	0
12	67	1	66	0	0	1078	0
13	66	1	68	3	0	1110,667	0
14	68	4	64	0	0	1045,333	0
601					TC	9816,333	0
					JTC	9816,333	

▪ *Retailer 3*

μ	132,1	h	16,33333	Leadtime	5	A	125000
δ	39,2	π	137300	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	35						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	35	3	32		0	522,6667	0
2	32	0	32		0	522,6667	0
3	32	1	31		0	506,3333	0
4	31	1	30		0	490	0
5	30	3	27		0	441	0
6	27	1	33	7	0	539	0
7	33	3	36	6	0	588	0
8	36	10	32	6	0	522,6667	0
9	32	13	20	1	0	326,6667	0
10	20	1	20	1	0	326,6667	0
11	20	6	20	6	0	326,6667	0
12	20	3	27	10	0	441	0
13	27	1	32	6	0	522,6667	0
14	32	6	26	0	0	424,6667	0
398					TC	6500,667	0
					JTC	6500,667	

▪ *Retailer 4*

μ	110,96	h	16,33333	Leadtime	5	A	125000
δ	22	π	150300	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	33						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	33	3	30		0	490	0

2	30	3	27		0	441	0
3	27	8	19		0	310,3333	0
4	19	1	18		0	294	0
5	18	4	14		0	228,6667	0
6	14	1	20	7	0	326,6667	0
7	20	8	17	5	0	277,6667	0
8	17	3	19	5	0	310,3333	0
9	19	0	25	6	0	408,3333	0
10	25	1	27	3	0	441	0
11	27	2	27	2	0	441	0
12	27	4	24	1	0	392	0
13	24	4	20	0	0	326,6667	0
14	20	2	19	1	0	310,3333	0
306					TC	4998	0
					JTC	4998	

▪ *Retailer 5*

μ	97,85	h	16,33333	Leadtime	5	A	125000
δ	10,7	π	151700	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	26						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	26	5	21		0	343	0
2	21	3	18		0	294	0
3	18	2	16		0	261,3333	0
4	16	4	12		0	196	0
5	12	4	8		0	130,6667	0
6	8	3	9	4	0	147	0
7	9	2	10	3	0	163,3333	0
8	10	4	6	0	0	98	0
9	6	4	4	2	0	65,33333	0

10	4	2	3	1	0	49	0
11	3	3	10	10	0	163,3333	0
12	10	2	8	0	0	130,6667	0
13	8	4	4	0	0	65,33333	0
14	4	3	4	3	0	65,33333	0
133					TC	2172,333	0
					JTC	2172,333	

▪ *Retailer 6*

μ	161,3	h	16,33333	Leadtime	5	A	125000
δ	57,2	π	156100	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	47						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	47	1	46		0	751,3333	0
2	46	2	44		0	718,6667	0
3	44	3	41		0	669,6667	0
4	41	1	40		0	653,3333	0
5	40	6	34		0	555,3333	0
6	34	5	39	10	0	637	0
7	39	2	40	3	0	653,3333	0
8	40	1	52	13	0	849,3333	0
9	52	2	53	3	0	865,6667	0
10	53	0	56	3	0	914,6667	0
11	56	27	33	4	0	539	0
12	33	8	27	2	0	441	0
13	27	14	22	9	0	359,3333	0
14	22	0	24	2	0	392	0
551					TC	8999,667	0
					JTC	8999,667	

▪ *Retailer 7*

μ	140,22	h	16,33333	Leadtime	5	A	125000
δ	15,3	π	154600	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	39						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	39	5	34		0	555,3333	0
2	34	4	30		0	490	0
3	30	5	25		0	408,3333	0
4	25	3	22		0	359,3333	0
5	22	3	19		0	310,3333	0
6	19	2	20	3	0	326,6667	0
7	20	2	20	2	0	326,6667	0
8	20	2	25	7	0	408,3333	0
9	25	2	28	5	0	457,3333	0
10	28	2	27	1	0	441	0
11	27	2	36	11	0	588	0
12	36	5	36	5	0	588	0
13	36	3	38	5	0	620,6667	0
14	38	2	47	11	0	767,6667	0
407					TC	6647,667	0
					JTC	6647,667	

▪ *Retailer 8*

μ	125	h	16,33333	Leadtime	5	A	125000
δ	50,9	π	153200	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	30						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	30	1	29		0	473,6667	0

2	29	21	8		0	130,6667	0
3	8	6	2		0	32,66667	0
4	2	1	1		0	16,33333	0
5	1	1	0		0	0	0
6	0	0	19	19	0	310,3333	0
7	19	1	24	6	0	392	0
8	24	1	33	10	0	539	0
9	33	1	39	7	0	637	0
10	39	3	42	6	0	686	0
11	42	0	46	4	0	751,3333	0
12	46	6	40	0	0	653,3333	0
13	40	1	42	3	0	686	0
14	42	3	45	6	0	735	0
370					TC	6043,333	0
					JTC	6043,333	

▪ *Retailer 9*

μ	133,19	h	16,33333	Leadtime	5	A	125000
δ	31,5	π	148800	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	29						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	29	1	28		0	457,3333	0
2	28	2	26		0	424,6667	0
3	26	1	25		0	408,3333	0
4	25	3	22		0	359,3333	0
5	22	2	20		0	326,6667	0
6	20	3	20	3	0	326,6667	0
7	20	3	18	1	0	294	0
8	18	1	23	6	0	375,6667	0
9	23	15	12	4	0	196	0

10	12	1	20	9	0	326,6667	0
11	20	2	39	21	0	637	0
12	39	2	42	5	0	686	0
13	42	1	49	8	0	800,3333	0
14	49	4	52	7	0	849,3333	0
396					TC	6468	0
					JTC	6468	

▪ *Vendor 1*

t	Q to R1	Q to R2	Q to R3	Q to R4	Q to R5	Q to R6	Q to R7	Q to R8	Q to R9	Ital Prod.	QScrap Rate	Scrap (Kg)	Disposal Cost	sp. CO2 CReq.	Hours Ov.	Time	Ov. Cost	Setup Cost	Ergo Cost	sd. CO2 C	Delivery	Ccovery	CO2 C
1	3	2	4	2	4	5	3	0	3	26	0,0321	2,495454	6238,635	87,34089	1419,6	0	0	27280	106470	16198	125000	3746,288	
2	3	3	5	3	1	2	2	2	1	22	0,01	0,6578	1644,5	23,023	1201,2	0	0	27280	90090	13706	125000	3182,088	
3	0	16	5	3	0	5	5	7	1	42	0,0136	1,707888	4269,72	59,77608	2293,2	0	0	27280	171990	26166	125000	6082,076	
4	6	1	1	4	2	3	2	7	4	30	0,0166	1,48902	3722,55	52,1157	1638	0	0	27280	122850	18690	125000	5032,664	
5	5	6	1	2	1	3	1	1	7	27	0,0414	3,342222	8355,555	116,9778	1474,2	0	0	27280	110565	16821	125000	3368,274	
6	2	7	4	2	7	2	7	2	0	33	0,029	2,86143	7153,575	100,1501	1801,8	0	0	27280	135135	20559	125000	5004,454	
7	7	0	10	0	0	1	4	0	5	27	0,0417	3,366441	8416,103	117,8254	1474,2	0	0	27280	110565	16821	125000	4366,908	
8	0	0	2	0	0	2	0	2	3	9	0,0199	0,535509	1338,773	18,74282	491,4	0	0	27280	36855	5607	125000	1438,71	
9	1	0	0	1	3	1	3	1	4	14	0,0564	2,360904	5902,26	82,63164	764,4	0	0	27280	57330	8722	125000	2386,566	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0455	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0541	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0207	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0135	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
										230		TC	47041,67	658,5834			0	245520	941850	143290	1125000	34608,03	

▪ *Vendor 2*

t	Q to R1	Q to R2	Q to R3	Q to R4	Q to R5	Q to R6	Q to R7	Q to R8	Q to R9	Ital Prod.	QScrap Rate	Scrap (Kg)	Disposal Cost	sp. CO2 CReq.	Hours Ov.	Time	Ov. Cost	Setup Cost	Ergo Cost	sd. CO2 C	delivery	Ccovery	CO2 C
1	2	5	3	5	0	5	0	19	0	39	0,0257	2,996877	7492,1925	104,8907	2129,4	0	0	27280	159705	24297	125000	5134,22	
2	3	1	1	2	2	1	0	4	0	14	0,022	0,92092	2302,3	92,092	764,4	0	0	27280	57330	8722	125000	2211,664	
3	9	0	1	2	0	8	2	3	5	30	0,0352	3,15744	7893,6	315,744	1638	0	0	27280	122850	18690	125000	4835,194	
4	1	4	0	2	0	0	3	0	0	10	0,0302	0,90298	2257,45	90,298	546	0	0	27280	40950	6230	125000	1433,068	
5	6	4	0	1	0	0	0	5	2	18	0,0017	0,091494	228,735	9,1494	982,8	0	0	27280	73710	11214	125000	3091,816	
6	0	8	2	0	3	2	4	2	21	42	0,0128	1,607424	4018,56	160,7424	2293,2	0	0	27280	171990	26166	125000	8970,78	
7	2	0	0	1	0	1	1	0	0	5	0,0146	0,21827	545,675	21,827	273	0	0	27280	20475	3115	125000	710,892	
8	0	3	4	0	0	7	5	1	5	25	0,0282	2,10795	5269,875	210,795	1365	0	0	27280	102375	15575	125000	3853,486	
9	5	0	0	0	0	1	8	5	3	22	0,0216	1,420848	3552,12	142,0848	1201,2	0	0	27280	90090	13706	125000	3165,162	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0041	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0139	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0252	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0144	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
												TC	33560,5075	1147,623				0	245520	839475	127715	1125000	33406,28

• **Produk 3:**

▪ *Retailer 1*

μ	84,36	h	40	Leadtime	5	A	125000
δ	17,8	π	84000	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	38						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	38	1	37	0	0	1480	0
2	37	2	35	0	0	1400	0
3	35	9	26	0	0	1040	0
4	26	1	25	0	0	1000	0
5	25	1	24	0	0	960	0
6	24	2	33	11	0	1320	0
7	33	4	34	5	0	1360	0
8	34	1	37	4	0	1480	0
9	37	0	44	7	0	1760	0
10	44	2	49	7	0	1960	0
11	49	1	55	7	0	2200	0
12	55	1	59	5	0	2360	0
13	59	2	57	0	0	2280	0
14	57	2	58	3	0	2320	0
573					TC	22920	0
					JTC	22920	

▪ *Retailer 2*

μ	119,9	h	40	Leadtime	5	A	125000
δ	41,6	π	86500	Serv Trgt	0,95	Act Serv	0,972603
SS	22						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	22	11	11		0	440	0
2	11	1	10		0	400	0
3	10	4	6		0	240	0
4	6	5	1		0	40	0
5	1	1	0		0	0	0

6	0	3	0	1	2	0	173000
7	0	1	13	14	0	520	0
8	13	15	4	6	0	160	0
9	4	3	3	2	0	120	0
10	3	3	8	8	0	320	0
11	8	6	3	1	0	120	0
12	3	0	6	3	0	240	0
13	6	1	16	11	0	640	0
14	16	19	7	10	0	280	0
88					TC	3520	173000
					JTC	176520	

▪ *Retailer 3*

μ	126,54	h	40	Leadtime	5	A	125000
δ	13,7	π	83200	Serv Trgt	0,95	Act Serv	0,968254
SS	31						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	31	6	25		0	1000	0
2	25	5	20		0	800	0
3	20	4	16		0	640	0
4	16	4	12		0	480	0
5	12	14	0		2	0	166400
6	0	5	7	12	0	280	0
7	7	2	7	2	0	280	0
8	7	4	11	8	0	440	0
9	11	4	11	4	0	440	0
10	11	5	12	6	0	480	0
11	12	2	15	5	0	600	0
12	15	1	18	4	0	720	0

13	18	4	19	5	0	760	0
14	19	3	20	4	0	800	0
193					TC	7720	166400
					JTC	174120	

▪ *Retailer 4*

μ	106,4	h	40	Leadtime	5	A	125000
δ	15,6	π	81500	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	42						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	42	3	39		0	1560	0
2	39	3	36		0	1440	0
3	36	4	32		0	1280	0
4	32	5	27		0	1080	0
5	27	6	21		0	840	0
6	21	3	23	5	0	920	0
7	23	2	30	9	0	1200	0
8	30	3	32	5	0	1280	0
9	32	2	31	1	0	1240	0
10	31	4	31	4	0	1240	0
11	31	23	18	10	0	720	0
12	18	3	20	5	0	800	0
13	20	1	19	0	0	760	0
14	19	1	24	6	0	960	0
383					TC	15320	0
					JTC	15320	

▪ *Retailer 5*

μ	101,1	h	40	Leadtime	5	A	125000
-------	-------	-----	----	----------	---	---	--------

δ	29,9	π	79800	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	25						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	25	0	25		0	1000	0
2	25	0	25		0	1000	0
3	25	1	24		0	960	0
4	24	0	24		0	960	0
5	24	5	19		0	760	0
6	19	2	28	11	0	1120	0
7	28	0	30	2	0	1200	0
8	30	2	34	6	0	1360	0
9	34	2	41	9	0	1640	0
10	41	2	45	6	0	1800	0
11	45	4	41	0	0	1640	0
12	41	7	37	3	0	1480	0
13	37	1	48	12	0	1920	0
14	48	1	56	9	0	2240	0
477					TC	19080	0
					JTC	19080	

▪ *Retailer 6*

μ	155,8	h	40	Leadtime	5	A	125000
δ	41,6	π	80600	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	28						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	28	9	19		0	760	0

2	19	0	19		0	760	0
3	19	1	18		0	720	0
4	18	4	14		0	560	0
5	14	1	13		0	520	0
6	13	1	28	16	0	1120	0
7	28	2	41	15	0	1640	0
8	41	1	43	3	0	1720	0
9	43	1	42	0	0	1680	0
10	42	1	54	13	0	2160	0
11	54	10	46	2	0	1840	0
12	46	1	45	0	0	1800	0
13	45	2	49	6	0	1960	0
14	49	3	49	3	0	1960	0
			480		TC	19200	0
					JTC	19200	

▪ *Retailer 7*

μ	160,17	h	40	Leadtime	5	A	125000
δ	37,9	π	85700	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	43						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	43	1	42		0	1680	0
2	42	9	33		0	1320	0
3	33	1	32		0	1280	0
4	32	7	25		0	1000	0
5	25	1	24		0	960	0
6	24	1	43	20	0	1720	0
7	43	7	43	7	0	1720	0
8	43	18	31	6	0	1240	0

9	31	3	36	8	0	1440	0
10	36	2	34	0	0	1360	0
11	34	0	38	4	0	1520	0
12	38	2	37	1	0	1480	0
13	37	2	41	6	0	1640	0
14	41	18	24	1	0	960	0
483					TC	19320	0
					JTC	19320	

▪ *Retailer 8*

μ	188,48	h	40	Leadtime	5	A	125000
δ	34,8	π	85700	Serv Trgt	0,95	Act Serv	0,986486
SS	42						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	42	1	41		0	1640	0
2	41	5	36		0	1440	0
3	36	7	29		0	1160	0
4	29	8	21		0	840	0
5	21	9	12		0	480	0
6	12	16	0	4	0	0	0
7	0	4	3	7	0	120	0
8	3	4	0	0	1	0	85700
9	0	4	2	6	0	80	0
10	2	5	2	5	0	80	0
11	2	3	5	6	0	200	0
12	5	2	7	4	0	280	0
13	7	3	8	4	0	320	0
14	8	3	16	11	0	640	0
182					TC	7280	85700

JTC 92980

▪ *Retailer 9*

μ	79,99	h	40	Leadtime	5	A	125000
δ	11,2	π	79800	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	25						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	25	2	23		0	920	0
2	23	2	21		0	840	0
3	21	2	19		0	760	0
4	19	3	16		0	640	0
5	16	1	15		0	600	0
6	15	4	16	5	0	640	0
7	16	1	21	6	0	840	0
8	21	5	24	8	0	960	0
9	24	2	29	7	0	1160	0
10	29	3	31	5	0	1240	0
11	31	1	47	17	0	1880	0
12	47	1	50	4	0	2000	0
13	50	2	56	8	0	2240	0
14	56	1	59	4	0	2360	0
427					TC	17080	0
					JTC	17080	

■ *Vendor 1*

t	Q to R1	Q to R2	Q to R3	Q to R4	Q to R5	Q to R6	Q to R7	Q to R8	Q to R9	stl Prod.	QScrap	RateScrap	Scrap (Kg)	Disposal Cost	sp.	CO2 CReq	Hours	Ov. Time	Ov. Cost	Setup Cost	Ergo Cost	sd.	CO2 Cdelivery	Cvery	CO2 C
1	8	0	7	5	5	10	7	0	4	46	0,0321	4,415034	11037,585	154,5262	966	0	0	29700	72450	39560	125000	2894,78			
2	4	5	2	0	2	8	5	0	4	30	0,01	0,897	2242,5	31,395	630	0	0	29700	47250	25800	125000	1866,2			
3	3	3	6	5	1	3	2	0	5	28	0,0136	1,138592	2846,48	39,85072	588	0	0	29700	44100	24080	125000	1401,82			
4	2	0	4	1	9	0	4	0	1	21	0,0166	1,042314	2605,785	36,48099	441	0	0	29700	33075	18060	125000	1126,23			
5	5	7	6	4	4	3	0	4	3	36	0,0414	4,456296	11140,74	155,9704	756	0	0	29700	56700	30960	125000	1644,86			
6	1	1	3	9	0	1	0	1	14	30	0,029	2,6013	6503,25	91,0455	630	0	0	29700	47250	25800	125000	1341,06			
7	3	2	3	4	3	0	1	0	1	17	0,0417	2,119611	5299,0275	74,18639	357	0	0	29700	26775	14620	125000	739,97			
8	0	6	0	0	5	4	1	3	4	23	0,0199	1,368523	3421,3075	47,89831	483	0	0	29700	36225	19780	125000	1104,53			
9	2	8	2	2	0	1	1	1	3	20	0,0564	3,37272	8431,8	118,0452	420	0	0	29700	31500	17200	125000	852,81			
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0455	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0541	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0207	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0135	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TC														53528,475	749,3987			0	267300	395325	215860	1125000	12972,26		

■ *Vendor 2*

t	Q to R1	Q to R2	Q to R3	Q to R4	Q to R5	Q to R6	Q to R7	Q to R8	Q to R9	ital Prod.	QScrap	RateScrap	Scrap (Kg)	Disposal Cost	sp.	CO2 CReq	Hours	Ov. Time	Ov. Cost	Setup Cost	Ergo Cost	sd.	CO2 Cdelivery	Cvery	CO2 C
1	3	1	5	0	6	6	13	4	1	39	0,0257	2,996877	7492,1925	104,8907	819	0	0	0	0	29700	61425	33540	125000	2102,73	
2	1	9	0	9	0	7	2	7	2	37	0,022	2,43386	6084,65	243,386	777	0	0	0	0	29700	58275	31820	125000	1996,4	
3	1	3	2	0	5	0	4	0	3	18	0,0352	1,894464	4736,16	189,4464	378	0	0	0	0	29700	28350	15480	125000	1297,66	
4	5	2	0	0	0	0	4	6	6	23	0,0302	2,076854	5192,135	207,6854	483	0	0	0	0	29700	36225	19780	125000	1536,36	
5	2	1	0	0	2	10	0	1	2	18	0,0017	0,091494	228,735	9,1494	378	0	0	0	0	29700	28350	15480	125000	985,18	
6	6	0	2	1	0	1	4	5	3	22	0,0128	0,841984	2104,96	84,1984	462	0	0	0	0	29700	34650	18920	125000	1356,25	
7	2	1	1	1	0	0	0	4	3	12	0,0146	0,523848	1309,62	52,3848	252	0	0	0	0	29700	18900	10320	125000	835,45	
8	0	5	5	0	7	2	5	1	4	29	0,0282	2,445222	6113,055	244,5222	609	0	0	0	0	29700	45675	24940	125000	1998,57	
9	1	2	2	4	9	2	0	10	1	31	0,0216	2,002104	5005,26	200,2104	651	0	0	0	0	29700	48825	26660	125000	1948,66	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0041	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0139	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0252	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0144	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TC													38266,7675	1335,874			0	267300	360675	196940	1125000	14057,26			

● **Produk 4:**

■ *Retailer 1*

μ	100,89	h	34,33333	Leadtime	5	A	125000
δ	17,5	π	127400	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	40						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	40	2	38	0	0	1304,667	0
2	38	7	31	0	0	1064,333	0
3	31	2	29	0	0	995,6667	0
4	29	3	26	0	0	892,6667	0
5	26	1	25	0	0	858,3333	0
6	25	3	24	2	0	824	0
7	24	2	22	0	0	755,3333	0
8	22	5	21	4	0	721	0
9	21	3	22	4	0	755,3333	0
10	22	4	21	3	0	721	0
11	21	3	19	1	0	652,3333	0
12	19	2	20	3	0	686,6667	0
13	20	6	25	11	0	858,3333	0
14	25	6	26	7	0	892,6667	0
			349	TC		11982,33	0

JTC 11982,33

▪ *Retailer 2*

μ	104,5	h	34,33333	Leadtime	5	A	125000
δ	12,4	π	128700	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	27						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	27	1	26		0	892,6667	0
2	26	3	23		0	789,6667	0
3	23	7	16		0	549,3333	0
4	16	2	14		0	480,6667	0
5	14	5	9		0	309	0
6	9	4	7	2	0	240,3333	0
7	7	2	11	6	0	377,6667	0
8	11	2	20	11	0	686,6667	0
9	20	3	23	6	0	789,6667	0
10	23	4	29	10	0	995,6667	0
11	29	12	30	13	0	1030	0
12	30	9	22	1	0	755,3333	0
13	22	4	21	3	0	721	0
14	21	2	28	9	0	961,3333	0
279					TC	9579	0
					JTC	9579	

▪ *Retailer 3*

μ	176,51	h	34,33333	Leadtime	5	A	125000
δ	40,8	π	124900	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	33						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	33	4	29		0	995,6667	0
2	29	13	16		0	549,3333	0
3	16	2	14		0	480,6667	0
4	14	4	10		0	343,3333	0
5	10	2	8		0	274,6667	0
6	8	1	13	6	0	446,3333	0
7	13	3	12	2	0	412	0
8	12	12	5	5	0	171,6667	0
9	5	1	5	1	0	171,6667	0

10	5	3	8	6	0	274,6667	0
11	8	2	14	8	0	480,6667	0
12	14	8	15	9	0	515	0
13	15	8	13	6	0	446,3333	0
14	13	1	18	6	0	618	0
180					TC	6180	0
					JTC	6180	

▪ *Retailer 4*

μ	142,5	h	34,33333	Leadtime	5	A	125000
δ	18,5	π	128700	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	24						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	24	5	19		0	652,3333	0
2	19	4	15		0	515	0
3	15	3	12		0	412	0
4	12	3	9		0	309	0
5	9	5	4		0	137,3333	0
6	4	7	10	13	0	343,3333	0
7	10	1	23	14	0	789,6667	0
8	23	4	28	9	0	961,3333	0
9	28	8	26	6	0	892,6667	0
10	26	2	32	8	0	1098,667	0
11	32	4	40	12	0	1373,333	0
12	40	5	37	2	0	1270,333	0
13	37	6	40	9	0	1373,333	0
14	40	11	40	11	0	1373,333	0
335					TC	11501,67	0
					JTC	11501,67	

▪ *Retailer 5*

μ	84,55	h	34,33333	Leadtime	5	A	125000
δ	13,5	π	138900	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	27						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	27	7	20		0	686,6667	0
2	20	5	15		0	515	0
3	15	4	11		0	377,6667	0

4	11	1	10		0	343,3333	0
5	10	0	10		0	343,3333	0
6	10	2	11	3	0	377,6667	0
7	11	2	18	9	0	618	0
8	18	1	27	10	0	927	0
9	27	3	25	1	0	858,3333	0
10	25	1	24	0	0	824	0
11	24	3	37	16	0	1270,333	0
12	37	2	38	3	0	1304,667	0
13	38	0	50	12	0	1716,667	0
14	50	2	52	4	0	1785,333	0
348					TC	11948	0
					JTC	11948	

▪ *Retailer 6*

μ	74,29	h	34,33333	Leadtime	5	A	125000
δ	8,7	π	135000	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	39						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	39	4	35		0	1201,667	0
2	35	1	34		0	1167,333	0
3	34	3	31		0	1064,333	0
4	31	2	29		0	995,6667	0
5	29	3	26		0	892,6667	0
6	26	1	28	3	0	961,3333	0
7	28	1	33	6	0	1133	0
8	33	4	29	0	0	995,6667	0
9	29	1	38	10	0	1304,667	0
10	38	1	38	1	0	1304,667	0
11	38	3	36	1	0	1236	0
12	36	1	43	8	0	1476,333	0
13	43	3	42	2	0	1442	0
14	42	4	40	2	0	1373,333	0
482					TC	16548,67	0
					JTC	16548,67	

▪ *Retailer 7*

μ	124,64	h	34,33333	Leadtime	5	A	125000
δ	22,5	π	137600	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	33						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	33	9	24		0	824	0
2	24	2	22		0	755,3333	0
3	22	2	20		0	686,6667	0
4	20	3	17		0	583,6667	0
5	17	8	9		0	309	0
6	9	2	23	16	0	789,6667	0
7	23	6	25	8	0	858,3333	0
8	25	1	30	6	0	1030	0
9	30	0	35	5	0	1201,667	0
10	35	2	34	1	0	1167,333	0
11	34	4	44	14	0	1510,667	0
12	44	7	49	12	0	1682,333	0
13	49	1	50	2	0	1716,667	0
14	50	1	54	5	0	1854	0
436					TC	14969,33	0
					JTC	14969,33	

▪ *Retailer 8*

μ	93,29	h	34,33333	Leadtime	5	A	125000
δ	15,6	π	129900	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	25						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	25	2	23		0	789,6667	0
2	23	2	21		0	721	0
3	21	2	19		0	652,3333	0
4	19	4	15		0	515	0
5	15	3	12		0	412	0
6	12	1	21	10	0	721	0
7	21	3	29	11	0	995,6667	0
8	29	1	29	1	0	995,6667	0
9	29	1	48	20	0	1648	0
10	48	2	59	13	0	2025,667	0
11	59	1	64	6	0	2197,333	0
12	64	1	74	11	0	2540,667	0
13	74	2	72	0	0	2472	0
14	72	2	73	3	0	2506,333	0
559					TC	19192,33	0
					JTC	19192,33	

▪ *Retailer 9*

μ	187,91	h	34,33333	Leadtime	5	A	125000
δ	38,3	π	138900	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	32						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	32	2	30		0	1030	0
2	30	14	16		0	549,3333	0
3	16	0	16		0	549,3333	0
4	16	5	11		0	377,6667	0
5	11	3	8		0	274,6667	0
6	8	1	27	20	0	927	0
7	27	1	27	1	0	927	0
8	27	1	33	7	0	1133	0
9	33	18	19	4	0	652,3333	0
10	19	2	22	5	0	755,3333	0
11	22	12	17	7	0	583,6667	0
12	17	6	13	2	0	446,3333	0
13	13	1	16	4	0	549,3333	0
14	16	3	16	3	0	549,3333	0
271					TC	9304,333	0
					JTC	9304,333	

▪ *Vendor 1*

t	Q to R1	Q to R2	Q to R3	Q to R4	Q to R5	Q to R6	Q to R7	Q to R8	Q to R9	Prod.	Q Scrap	Rate Scrap (Kg)	Disposal Cost	sp. CO2	C Req.	Hours	Ov. Time	Ov. Cost	Setup Cost	Ergo Cost	sd. CO2	C Delivery	Coverly	CO2
1	1	2	6	7	3	1	16	10	1	47	0,0321	4,511013	11277,5325	157,8855	2848,2	0	0	0	26860	213615	11186	125000	11271,6	
2	0	5	2	12	6	2	6	6	1	40	0,01	1,196	2990	41,86	2424	0	0	0	26860	181800	9520	125000	6706,602	
3	2	8	3	6	10	0	5	1	3	38	0,0136	1,545232	3863,08	54,08312	2302,8	0	0	0	26860	172710	9044	125000	5053,434	
4	1	6	1	5	0	3	5	8	3	32	0,0166	1,588288	3970,72	55,59008	1939,2	0	0	0	26860	145440	7616	125000	6268,262	
5	2	2	6	8	0	1	1	0	2	22	0,0414	2,723292	6808,23	95,31522	1333,2	0	0	0	26860	99990	5236	125000	2893,044	
6	1	1	7	12	9	0	1	0	6	37	0,029	3,20827	8020,675	112,2895	2242,2	0	0	0	26860	168165	8806	125000	4170,492	
7	3	0	6	0	2	1	0	9	1	22	0,0417	2,743026	6857,565	96,00591	1333,2	0	0	0	26860	99990	5236	125000	4208,064	
8	7	2	1	0	6	0	0	0	4	20	0,0199	1,19002	2975,05	41,6507	1212	0	0	0	26860	90900	4760	125000	2348,25	
9	3	5	6	4	0	0	1	2	0	21	0,0564	3,541356	8853,39	123,9475	1272,6	0	0	0	26860	95445	4998	125000	2874,258	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0455	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0541	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0207	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0135	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TC													55616,2425	778,6274				0	241740	1268055	66402	1125000	45794,01	

▪ *Vendor 2*

t	Q to R1	Q to R2	Q to R3	Q to R4	Q to R5	Q to R6	Q to R7	Q to R8	Q to R9	Prod.	Scrap Rate	Scrap (Kg)	Disposal Cost	sp. CO2	CReq.	Hours	Ov. Time	Ov. Cost	Setup Cost	Ergo Cost	Prod. CO2	Delivery	Every CO2	
1	1	2	6	7	3	1	16	10	1	47	0.0321	4,511013	11277,5325	157,8855	2848,2	0	0	0	26860	213615	11186	125000	11271,6	
2	0	5	2	12	6	2	6	6	1	40	0.01	1,196	2990	41,86	2424	0	0	0	26860	181800	9520	125000	6706,602	
3	2	8	3	6	10	0	5	1	3	38	0.0136	1,545232	3863,08	54,08312	2302,8	0	0	0	26860	172710	9044	125000	5053,434	
4	1	6	1	5	0	3	5	8	3	32	0.0166	1,588288	3970,72	55,59008	1939,2	0	0	0	26860	145440	7616	125000	6268,262	
5	2	2	6	8	0	1	1	0	2	22	0.0414	2,723292	6808,23	95,31522	1333,2	0	0	0	26860	99990	5236	125000	2893,044	
6	1	1	7	12	9	0	1	0	6	37	0.029	3,20827	8020,675	112,2895	2242,2	0	0	0	26860	168165	8806	125000	4170,492	
7	3	0	6	0	2	1	0	9	1	22	0.0417	2,743026	6857,565	96,00591	1333,2	0	0	0	26860	99990	5236	125000	4208,064	
8	7	2	1	0	6	0	0	0	4	20	0.0199	1,19002	2975,05	41,6507	1212	0	0	0	26860	90900	4760	125000	2348,25	
9	3	5	6	4	0	0	1	2	0	21	0.0564	3,541356	8853,39	123,9475	1272,6	0	0	0	26860	95445	4998	125000	2874,258	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0455	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0541	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0207	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0135	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
													TC	55616,2425	778,6274				0	241740	1268055	66402	1125000	45794,01

• Produk 5:

▪ *Retailer 1*

μ	134,71	h	32	Leadtime	5	A	125000
δ	18,8	π	78000	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	36						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	36	3	33	0	0	1056	0
2	33	5	28	0	0	896	0
3	28	8	20	0	0	640	0
4	20	3	17	0	0	544	0
5	17	15	2	0	0	64	0
6	2	1	5	4	0	160	0
7	5	9	2	6	0	64	0
8	2	1	3	2	0	96	0
9	3	2	13	12	0	416	0
10	13	3	10	0	0	320	0
11	10	5	12	7	0	384	0
12	12	2	11	1	0	352	0
13	11	7	6	2	0	192	0
14	6	6	3	3	0	96	0
165					TC	5280	0
					JTC	5280	

▪ *Retailer 2*

μ	163,02	h	32	Leadtime	5	A	125000
δ	24	π	80300	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	40						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	40	3	37		0	1184	0
2	37	2	35		0	1120	0
3	35	2	33		0	1056	0
4	33	2	31		0	992	0
5	31	10	21		0	672	0
6	21	3	24	6	0	768	0
7	24	3	22	1	0	704	0
8	22	4	21	3	0	672	0
9	21	1	27	7	0	864	0
10	27	8	36	17	0	1152	0
11	36	20	23	7	0	736	0
12	23	4	20	1	0	640	0
13	20	9	12	1	0	384	0
14	12	2	13	3	0	416	0
355					TC	11360	0
					JTC	11360	

▪ *Retailer 3*

μ	142,5	h	32	Leadtime	5	A	125000
δ	35,6	π	79600	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	28						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	28	2	26		0	832	0
2	26	4	22		0	704	0
3	22	1	21		0	672	0
4	21	8	13		0	416	0
5	13	3	10		0	320	0
6	10	2	13	5	0	416	0
7	13	2	17	6	0	544	0
8	17	2	25	10	0	800	0
9	25	3	24	2	0	768	0
10	24	0	31	7	0	992	0
11	31	2	36	7	0	1152	0
12	36	1	36	1	0	1152	0
13	36	2	37	3	0	1184	0
14	37	6	35	4	0	1120	0
346					TC	11072	0

JTC 11072

▪ *Retailer 4*

μ	38,95	h	32	Leadtime	5	A	125000
δ	5,8	π	75700	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	29						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	29	1	28		0	896	0
2	28	1	27		0	864	0
3	27	3	24		0	768	0
4	24	1	23		0	736	0
5	23	2	21		0	672	0
6	21	2	25	6	0	800	0
7	25	2	23	0	0	736	0
8	23	1	22	0	0	704	0
9	22	0	33	11	0	1056	0
10	33	0	35	2	0	1120	0
11	35	1	56	22	0	1792	0
12	56	1	68	13	0	2176	0
13	68	0	79	11	0	2528	0
14	79	1	93	15	0	2976	0
557					TC	17824	0
					JTC	17824	

▪ *Retailer 5*

μ	136,61	h	32	Leadtime	5	A	125000
δ	17,7	π	81900	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	36						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	36	2	34		0	1088	0
2	34	3	31		0	992	0
3	31	2	29		0	928	0
4	29	3	26		0	832	0
5	26	7	19		0	608	0
6	19	1	21	3	0	672	0
7	21	2	34	15	0	1088	0

8	34	1	35	2	0	1120	0
9	35	4	32	1	0	1024	0
10	32	7	26	1	0	832	0
11	26	3	23	0	0	736	0
12	23	4	19	0	0	608	0
13	19	4	24	9	0	768	0
14	24	5	28	9	0	896	0
381					TC	12192	0
					JTC	12192	

▪ *Retailer 6*

μ	107,3	h	32	Leadtime	5	A	125000
δ	30,4	π	81900	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	20						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	20	3	17		0	544	0
2	17	0	17		0	544	0
3	17	5	12		0	384	0
4	12	4	8		0	256	0
5	8	4	4		0	128	0
6	4	4	15	15	0	480	0
7	15	8	7	0	0	224	0
8	7	0	14	7	0	448	0
9	14	0	16	2	0	512	0
10	16	9	7	0	0	224	0
11	7	2	13	8	0	416	0
12	13	3	13	3	0	416	0
13	13	1	14	2	0	448	0
14	14	3	24	13	0	768	0
181					TC	5792	0
					JTC	5792	

▪ *Retailer 7*

μ	173,09	h	32	Leadtime	5	A	125000
δ	19,8	π	85800	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	42						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	42	3	39		0	1248	0
2	39	7	32		0	1024	0
3	32	3	29		0	928	0
4	29	9	20		0	640	0
5	20	5	15		0	480	0
6	15	3	13	1	0	416	0
7	13	5	19	11	0	608	0
8	19	6	16	3	0	512	0
9	16	3	13	0	0	416	0
10	13	7	21	15	0	672	0
11	21	7	15	1	0	480	0
12	15	7	11	3	0	352	0
13	11	3	16	8	0	512	0
14	16	8	15	7	0	480	0
274					TC	8768	0
					JTC	8768	

▪ *Retailer 8*

μ	64,41	h	32	Leadtime	5	A	125000
δ	7,2	π	84200	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	40						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	40	2	38		0	1216	0
2	38	1	37		0	1184	0
3	37	1	36		0	1152	0
4	36	1	35		0	1120	0
5	35	3	32		0	1024	0
6	32	2	32	2	0	1024	0
7	32	3	33	4	0	1056	0
8	33	0	35	2	0	1120	0
9	35	1	36	2	0	1152	0
10	36	1	39	4	0	1248	0
11	39	2	42	5	0	1344	0
12	42	2	48	8	0	1536	0
13	48	1	50	3	0	1600	0
14	50	3	52	5	0	1664	0
545					TC	17440	0
					JTC	17440	

▪ *Retailer 9*

μ	100,9	h	32	Leadtime	5	A	125000
δ	32,1	π	83500	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	31						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	31	0	31		0	992	0
2	31	7	24		0	768	0
3	24	2	22		0	704	0
4	22	3	19		0	608	0
5	19	1	18		0	576	0
6	18	1	20	3	0	640	0
7	20	2	20	2	0	640	0
8	20	6	15	1	0	480	0
9	15	2	21	8	0	672	0
10	21	1	26	6	0	832	0
11	26	6	21	1	0	672	0
12	21	2	27	8	0	864	0
13	27	1	28	2	0	896	0
14	28	0	30	2	0	960	0
			322		TC	10304	0
					JTC	10304	

▪ *Vendor 1*

t	Q to R1	Q to R2	Q to R3	Q to R4	Q to R5	Q to R6	Q to R7	Q to R8	Q to R9	Ital Prod.	QScrap Rate	Scrap (Kg)	Disposal Cost	sp. CO2 CReq.	Hours	Ov. Time	Ov. Cost	Setup Cost	Ergo Cost	Cost d. CO2 C	Delivery C	Covery CO2 C
1	0	6	4	4	2	2	1	2	3	24	0,0321	2,303496	5758,74	80,62236	1008	0	0	18880	75600	13128	125000	2148,3
2	5	1	1	0	8	0	2	3	0	20	0,01	0,598	1495	20,93	840	0	0	18880	63000	10940	125000	2200,38
t	Q to R1	Q to R2	Q to R3	Q to R4	Q to R5	Q to R6	Q to R7	Q to R8	Q to R9	Ital Prod.	QScrap Rate	Scrap (Kg)	Disposal Cost	sp. CO2 CReq.	Hours	Ov. Time	Ov. Cost	Setup Cost	Ergo Cost	Cost d. CO2 C	Delivery C	Covery CO2 C
1	0	6	4	4	2	2	1	2	3	24	0,0321	2,303496	5758,74	80,62236	1008	0	0	18880	75600	13128	125000	2148,3
2	5	1	1	0	8	0	2	3	0	20	0,01	0,598	1495	20,93	840	0	0	18880	63000	10940	125000	2200,38
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0333	TC	48888,005	684,9901	0	0	169920	664650	113417	1120000	23123,52	
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0252	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0144	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
											TC	31043,675	1136,856				0	169920	642600	111588	1125000	24082,66

▪ *Vendor 2*

- Produk 6:

▪ *Retailer 1*

μ	116,47	h	36,33333	Leadtime	5	A	125000
δ	13,3	π	74700	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	25						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	25	2	23	0	0	835,6667	0
2	23	7	16	0	0	581,3333	0
3	16	5	11	0	0	399,6667	0
4	11	3	8	0	0	290,6667	0
5	8	2	6	0	0	218	0
6	6	7	9	10	0	327	0
7	9	6	8	5	0	290,6667	0
8	8	2	13	7	0	472,3333	0
9	13	2	15	4	0	545	0
10	15	3	22	10	0	799,3333	0
11	22	2	25	5	0	908,3333	0
12	25	3	24	2	0	872	0
13	24	4	23	3	0	835,6667	0
14	23	2	21	0	0	763	0
224					TC	8138,667	0
					JTC	8138,667	

▪ *Retailer 2*

μ	103,3	h	36,33333	Leadtime	5	A	125000
δ	26,2	π	71700	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	24						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	24	5	19		0	690,3333	0
2	19	4	15		0	545	0
3	15	1	14		0	508,6667	0
4	14	0	14		0	508,6667	0
5	14	9	5		0	181,6667	0
6	5	0	11	6	0	399,6667	0
7	11	3	11	3	0	399,6667	0
8	11	8	7	4	0	254,3333	0
9	7	7	18	18	0	654	0
10	18	2	22	6	0	799,3333	0
11	22	1	26	5	0	944,6667	0
12	26	1	30	5	0	1090	0
13	30	1	32	3	0	1162,667	0

14	32	1	33	2	0	1199	0
257					TC	9337,667	0
					JTC	9337,667	

▪ *Retailer 3*

μ	108,1	h	36,33333	Leadtime	5	A	125000
δ	43,5	π	72500	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	30						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	30	7	23		0	835,6667	0
2	23	1	22		0	799,3333	0
3	22	2	20		0	726,6667	0
4	20	1	19		0	690,3333	0
5	19	2	17		0	617,6667	0
6	17	2	19	4	0	690,3333	0
7	19	0	32	13	0	1162,667	0
8	32	1	33	2	0	1199	0
9	33	26	12	5	0	436	0
10	12	0	23	11	0	835,6667	0
11	23	1	23	1	0	835,6667	0
12	23	1	24	2	0	872	0
13	24	1	25	2	0	908,3333	0
14	25	1	32	8	0	1162,667	0
324					TC	11772	0
					JTC	11772	

▪ *Retailer 4*

μ	103,4	h	36,33333	Leadtime	5	A	125000
δ	35,3	π	79900	Serv Trgt	0,95	Act Serv	0,980392
SS	27						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	27	2	25		0	908,3333	0
2	25	0	25		0	908,3333	0
3	25	0	25		0	908,3333	0
4	25	6	19		0	690,3333	0
5	19	0	19		0	690,3333	0
6	19	8	15	4	0	545	0
7	15	19	4	8	0	145,3333	0

8	4	8	0	3	1	0	79900
9	0	3	2	5	0	72,66667	0
10	2	0	3	1	0	109	0
11	3	1	22	20	0	799,3333	0
12	22	1	23	2	0	835,6667	0
13	23	1	29	7	0	1053,667	0
14	29	2	31	4	0	1126,333	0
242					TC	8792,667	79900
					JTC	88692,67	

▪ *Retailer 5*

μ	111,5	h	36,33333	Leadtime	5	A	125000
δ	38,6	π	79900	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	39						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	39	3	36		0	1308	0
2	36	2	34		0	1235,333	0
3	34	5	29		0	1053,667	0
4	29	2	27		0	981	0
5	27	0	27		0	981	0
6	27	5	27	5	0	981	0
7	27	19	15	7	0	545	0
8	15	0	24	9	0	872	0
9	24	2	27	5	0	981	0
10	27	2	27	2	0	981	0
11	27	2	36	11	0	1308	0
12	36	8	30	2	0	1090	0
13	30	2	31	3	0	1126,333	0
14	31	6	25	0	0	908,3333	0
395					TC	14351,67	0
					JTC	14351,67	

▪ *Retailer 6*

μ	113,43	h	36,33333	Leadtime	5	A	125000
δ	24,5	π	79200	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	21						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	21	8	13		0	472,3333	0

2	13	2	11		0	399,6667	0
3	11	2	9		0	327	0
4	9	6	3		0	109	0
5	3	1	2		0	72,66667	0
6	2	1	1	0	0	36,33333	0
7	1	2	4	5	0	145,3333	0
8	4	2	6	4	0	218	0
9	6	0	15	9	0	545	0
10	15	3	17	5	0	617,6667	0
11	17	5	25	13	0	908,3333	0
12	25	2	33	10	0	1199	0
13	33	3	40	10	0	1453,333	0
14	40	1	44	5	0	1598,667	0
223					TC	8102,333	0
					JTC	8102,333	

▪ *Retailer 7*

μ	142,31	h	36,33333	Leadtime	5	A	125000
δ	32,2	π	79900	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	32						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	32	1	31		0	1126,333	0
2	31	6	25		0	908,3333	0
3	25	2	23		0	835,6667	0
4	23	1	22		0	799,3333	0
5	22	1	21		0	763	0
6	21	3	22	4	0	799,3333	0
7	22	3	24	5	0	872	0
8	24	5	28	9	0	1017,333	0
9	28	6	26	4	0	944,6667	0
10	26	1	63	38	0	2289	0
11	63	3	69	9	0	2507	0
12	69	3	71	5	0	2579,667	0
13	71	20	51	0	0	1853	0
14	51	5	50	4	0	1816,667	0
526					TC	19111,33	0
					JTC	19111,33	

▪ *Retailer 8*

μ	185,25	h	36,33333	Leadtime	5	A	125000
δ	31,1	π	79900	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1

SS

41

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	41	3	38		0	1380,667	0
2	38	8	30		0	1090	0
3	30	6	24		0	872	0
4	24	4	20		0	726,6667	0
5	20	1	19		0	690,3333	0
6	19	9	22	12	0	799,3333	0
7	22	1	22	1	0	799,3333	0
8	22	4	29	11	0	1053,667	0
9	29	11	23	5	0	835,6667	0
10	23	3	28	8	0	1017,333	0
11	28	8	33	13	0	1199	0
12	33	0	37	4	0	1344,333	0
13	37	14	37	14	0	1344,333	0
14	37	7	36	6	0	1308	0
398					TC	14460,67	0
					JTC	14460,67	

▪ *Retailer 9*

μ	70,11	h	36,33333	Leadtime	5	A	125000
δ	7,5	π	76900	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	22						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	22	2	20		0	726,6667	0
2	20	2	18		0	654	0
3	18	2	16		0	581,3333	0
4	16	2	14		0	508,6667	0
5	14	4	10		0	363,3333	0
6	10	1	10	1	0	363,3333	0
7	10	1	10	1	0	363,3333	0
8	10	2	11	3	0	399,6667	0
9	11	1	18	8	0	654	0
10	18	3	18	3	0	654	0
11	18	1	21	4	0	763	0
12	21	4	18	1	0	654	0
13	18	2	17	1	0	617,6667	0
14	17	2	15	0	0	545	0
216					TC	7848	0

JTC 7848

▪ *Vendor 1*

t	Q to R1	Q to R2	Q to R3	Q to R4	Q to R5	Q to R6	Q to R7	Q to R8	Q to R9	Prod. Q	Scrap Rate	Scrap (Kg)	Disposal Cost	sp. CO2	CReq. Hours	Ov. Time	Ov. Cost	Setup Cost	Ergo Cost	sd. CO2	Cdelivery	Cvery	CO2
1	10	6	2	1	5	0	2	11	0	37	0,0321	3,551223	8878,0575	124,2928	1287,6	0	0	44420	96570	14134	125000	3732,648	
2	3	0	12	5	4	3	1	0	0	28	0,01	0,8372	2093	29,302	974,4	0	0	44420	73080	10696	125000	2186,368	
3	4	2	0	3	0	2	6	3	0	20	0,0136	0,81328	2033,2	28,4648	696	0	0	44420	52200	7640	125000	2671,828	
4	1	13	3	2	2	4	4	5	4	38	0,0166	1,886092	4715,23	66,01322	1322,4	0	0	44420	99180	14516	125000	3333,492	
5	2	6	11	0	2	4	1	3	0	29	0,0414	3,589794	8974,485	125,6428	1009,2	0	0	44420	75690	11078	125000	2394,936	
6	3	5	1	7	5	0	3	5	1	30	0,029	2,6013	6503,25	91,0455	1044	0	0	44420	78300	11460	125000	2668,232	
7	0	4	2	2	2	2	3	2	1	18	0,0417	2,244294	5610,735	78,55029	626,4	0	0	44420	46980	6876	125000	1751,252	
8	1	2	1	4	1	9	0	2	0	20	0,0199	1,19002	2975,05	41,6507	696	0	0	44420	52200	7640	125000	1862,728	
9	0	0	2	4	0	3	2	0	0	11	0,0564	1,854996	4637,49	64,92486	382,8	0	0	44420	28710	4202	125000	1179,488	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0455	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0541	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0207	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0135	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TC													46420,4975	649,887			0	399780	602910	88242	1125000	21780,97	

▪ *Vendor 2*

t	Q to R1	Q to R2	Q to R3	Q to R4	Q to R5	Q to R6	Q to R7	Q to R8	Q to R9	Prod. Q	Scrap Rate	Scrap (Kg)	Disposal Cost	sp. CO2	CReq. Hours	Ov. Time	Ov. Cost	Setup Cost	Ergo Cost	sd. CO2	Cdelivery	Cvery	CO2
1	0	0	2	3	0	0	2	1	1	9	0,0257	0,691587	1728,9675	24,20555	313,2	0	0	44420	23490	3438	125000	888,212	
2	2	3	1	3	3	2	4	1	1	20	0,022	1,3156	3289	131,56	696	0	0	44420	52200	7640	125000	1984,992	
3	3	2	2	0	9	2	3	8	3	32	0,0352	3,367936	8419,84	336,7936	1113,6	0	0	44420	83520	12224	125000	3480,928	
4	3	5	2	3	3	5	0	0	4	25	0,0302	2,25745	5643,625	225,745	870	0	0	44420	65250	9550	125000	2844,436	
5	8	0	0	1	0	1	37	5	3	55	0,0017	0,279565	698,9125	27,9565	1914	0	0	44420	143550	21010	125000	4146,188	
6	2	0	0	13	6	13	6	8	3	51	0,0128	1,951872	4879,68	195,1872	1774,8	0	0	44420	133110	19482	125000	4498,596	
7	2	1	0	0	0	8	2	2	0	15	0,0146	0,65481	1637,025	65,481	522	0	0	44420	39150	5730	125000	1071,608	
8	2	1	1	3	2	1	0	12	1	23	0,0282	1,939314	4848,285	193,9314	800,4	0	0	44420	60030	8786	125000	2132,428	
9	0	2	6	0	0	2	2	6	0	18	0,0216	1,162512	2906,28	116,2512	626,4	0	0	44420	46980	6876	125000	1611,008	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0041	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0139	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0252	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0144	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TC													34051,615	1317,111			0	399780	647280	94736	1125000	22658,4	

• Produk 7:

▪ *Retailer 1*

μ	65,93	h	49,33333	Leadtime	5	A	125000
δ	12,8	π	56200	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	22						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	22	1	21	0	0	1036	0
2	21	1	20	0	0	986,6667	0
3	20	1	19	0	0	937,3333	0
4	19	4	15	0	0	740	0
5	15	0	15	0	0	740	0
6	15	5	11	1	0	542,6667	0
7	11	2	11	2	0	542,6667	0
8	11	2	19	10	0	937,3333	0
9	19	1	21	3	0	1036	0
10	21	2	25	6	0	1233,333	0
11	25	9	22	6	0	1085,333	0

12	22	3	24	5	0	1184	0
13	24	0	31	7	0	1529,333	0
14	31	3	54	26	0	2664	0
308					TC	15194,67	0
					JTC	15194,67	

▪ *Retailer 2*

μ	178,5	h	49,33333	Leadtime	5	A	125000
δ	50,3	π	61300	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	27						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	27	2	25		0	1233,333	0
2	25	8	17		0	838,6667	0
3	17	5	12		0	592	0
4	12	7	5		0	246,6667	0
5	5	2	3		0	148	0
6	3	2	24	23	0	1184	0
7	24	1	34	11	0	1677,333	0
8	34	2	42	10	0	2072	0
9	42	14	66	38	0	3256	0
10	66	1	98	33	0	4834,667	0
11	98	7	103	12	0	5081,333	0
12	103	1	108	6	0	5328	0
13	108	1	126	19	0	6216	0
14	126	4	135	13	0	6660	0
798					TC	39368	0
					JTC	39368	

▪ *Retailer 3*

μ	171,95	h	49,33333	Leadtime	5	A	125000
δ	33,6	π	61800	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	28						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	28	9	19		0	937,3333	0
2	19	2	17		0	838,6667	0
3	17	1	16		0	789,3333	0
4	16	2	14		0	690,6667	0
5	14	1	13		0	641,3333	0

6	13	5	12	4	0	592	0
7	12	2	29	19	0	1430,667	0
8	29	2	34	7	0	1677,333	0
9	34	7	27	0	0	1332	0
10	27	21	18	12	0	888	0
11	18	5	20	7	0	986,6667	0
12	20	5	15	0	0	740	0
13	15	0	31	16	0	1529,333	0
14	31	2	33	4	0	1628	0
298					TC	14701,33	0
					JTC	14701,33	

▪ *Retailer 4*

μ	100,2	h	49,33333	Leadtime	5	A	125000
δ	26,9	π	60700	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	30						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	30	17	13		0	641,3333	0
2	13	2	11		0	542,6667	0
3	11	0	11		0	542,6667	0
4	11	3	8		0	394,6667	0
5	8	2	6		0	296	0
6	6	2	24	20	0	1184	0
7	24	7	38	21	0	1874,667	0
8	38	1	38	1	0	1874,667	0
9	38	11	29	2	0	1430,667	0
10	29	9	21	1	0	1036	0
11	21	1	26	6	0	1282,667	0
12	26	3	38	15	0	1874,667	0
13	38	3	44	9	0	2170,667	0
14	44	4	50	10	0	2466,667	0
357					TC	17612	0
					JTC	17612	

▪ *Retailer 5*

μ	155,42	h	49,33333	Leadtime	5	A	125000
δ	27,4	π	56200	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	29						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	29	0	29		0	1430,667	0
2	29	5	24		0	1184	0
3	24	4	20		0	986,6667	0
4	20	3	17		0	838,6667	0
5	17	17	0		0	1,75E-13	0
6	0	3	10	13	0	493,3333	0
7	10	6	18	14	0	888	0
8	18	11	28	21	0	1381,333	0
9	28	2	35	9	0	1726,667	0
10	35	14	43	22	0	2121,333	0
11	43	2	43	2	0	2121,333	0
12	43	2	44	3	0	2170,667	0
13	44	1	53	10	0	2614,667	0
14	53	7	54	8	0	2664	0
			418		TC	20621,33	0
					JTC	20621,33	

▪ *Retailer 6*

μ	72,77	h	49,33333	Leadtime	5	A	125000
δ	9	π	55600	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	16						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	16	5	11		0	542,6667	0
2	11	3	8		0	394,6667	0
3	8	1	7		0	345,3333	0
4	7	2	5		0	246,6667	0
5	5	2	3		0	148	0
6	3	1	6	4	0	296	0
7	6	2	41	37	0	2022,667	0
8	41	2	44	5	0	2170,667	0
9	44	2	64	22	0	3157,333	0
10	64	1	65	2	0	3206,667	0
11	65	1	67	3	0	3305,333	0
12	67	2	78	13	0	3848	0
13	78	2	84	8	0	4144	0
14	84	3	95	14	0	4686,667	0
			578		TC	28514,67	0
					JTC	28514,67	

▪ *Retailer 7*

μ	47,31	h	49,33333	Leadtime	5	A	125000
δ	9,9	π	57900	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	24						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	24	0	24		0	1184	0
2	24	0	24		0	1184	0
3	24	2	22		0	1085,333	0
4	22	1	21		0	1036	0
5	21	2	19		0	937,3333	0
6	19	1	20	2	0	986,6667	0
7	20	1	26	7	0	1282,667	0
8	26	0	46	20	0	2269,333	0
9	46	1	50	5	0	2466,667	0
10	50	2	54	6	0	2664	0
11	54	1	60	7	0	2960	0
12	60	5	62	7	0	3058,667	0
13	62	1	69	8	0	3404	0
14	69	1	80	12	0	3946,667	0
577					TC	28465,33	0
					JTC	28465,33	

▪ *Retailer 8*

μ	118,3	h	49,33333	Leadtime	5	A	125000
δ	29,3	π	57900	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	25						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	25	3	22		0	1085,333	0
2	22	2	20		0	986,6667	0
3	20	2	18		0	888	0
4	18	3	15		0	740	0
5	15	12	3		0	148	0
6	3	9	8	14	0	394,6667	0
7	8	4	20	16	0	986,6667	0
8	20	6	25	11	0	1233,333	0
9	25	1	26	2	0	1282,667	0
10	26	1	31	6	0	1529,333	0
11	31	6	33	8	0	1628	0

12	33	3	38	8	0	1874,667	0
13	38	2	47	11	0	2318,667	0
14	47	1	58	12	0	2861,333	0
364					TC	17957,33	0
					JTC	17957,33	

▪ *Retailer 9*

μ	51,3	h	49,33333	Leadtime	5	A	125000
δ	11,9	π	58400	Serv Trgt	0,95	Act Serv	1
SS	15						

Periode (t)	Persediaan Awal	Permintaan Harian	Persediaan Akhir	Pesanan diterima dari Vendor	Lost Sales	Holding Cost	Stock Out Cost
1	15	1	14		0	690,6667	0
2	14	1	13		0	641,3333	0
3	13	1	12		0	592	0
4	12	3	9		0	444	0
5	9	0	9		0	444	0
6	9	3	6	0	0	296	0
7	6	0	8	2	0	394,6667	0
8	8	5	5	2	0	246,6667	0
9	5	0	20	15	0	986,6667	0
10	20	1	35	16	0	1726,667	0
11	35	0	39	4	0	1924	0
12	39	1	54	16	0	2664	0
13	54	1	59	6	0	2910,667	0
14	59	3	85	29	0	4193,333	0
368					TC	18154,67	0
					JTC	18154,67	

▪ *Vendor 1*

t	Q to R1	Q to R2	Q to R3	Q to R4	Q to R5	Q to R6	Q to R7	Q to R8	Q to R9	Prod.	QScrap	RateScrap	(Kg)	Disposal Cost	sp. CO2	CRReq.	Hours	Ov. Time	Ov. Cost	Setup Cost	Ergo Cost	sd. CO2	Delivery	Cvbery	CO2
1	1	11	1	4	5	0	2	13	0	37	0,0321	3,551223	8878,0575	124,2928	1265,4	0	0	0	29280	94905	19943	125000	3371,436		
2	1	11	6	21	2	28	2	9	0	80	0,01	2,392	5980	83,72	2736	0	0	0	29280	205200	43120	125000	7174,02		
3	0	10	7	0	8	0	0	3	1	29	0,0136	1,179256	2948,14	41,27396	991,8	0	0	0	29280	74385	15631	125000	1629,174		
4	3	35	0	0	9	9	2	0	13	71	0,0166	3,524014	8810,035	123,3405	2428,2	0	0	0	29280	182115	38269	125000	4046,43		
5	0	2	11	0	13	0	3	0	11	40	0,0414	4,95144	12378,6	173,3004	1368	0	0	0	29280	102600	21560	125000	2813,064		
6	2	9	5	6	2	0	1	3	3	31	0,029	2,68801	6720,025	94,08035	1060,2	0	0	0	29280	79515	16709	125000	2145,138		
7	4	0	0	3	2	13	0	1	8	31	0,0417	3,865173	9662,9325	135,2811	1060,2	0	0	0	29280	79515	16709	125000	2859,006		
8	3	18	5	0	6	4	0	0	2	38	0,0199	2,261038	5652,595	79,13633	1299,6	0	0	0	29280	97470	20482	125000	1982,574		
9	9	2	4	1	8	0	5	9	25	63	0,0564	10,62407	26560,17	371,8424	2154,6	0	0	0	29280	161595	33957	125000	5919,45		
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0455	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0541	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0207	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0135	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TC												87590,555	1226,268	14364	10044	0	263520	1077300	226380	1125000	31940,29				

■ Vendor 2

t	Q to R1	Q to R2	Q to R3	Q to R4	Q to R5	Q to R6	Q to R7	Q to R8	Q to R9	ital Prod.	QScrap	RateScrap (Kg)	Disposal Cost	sp. CO2 CReq.	Hours	Ov. Time	Ov. Cost	Setup Cost	Ergo Cost	sd. CO2 C	Delivery	Cevery	CO2 C
1	0	12	3	16	8	4	0	1	0	44	0,0257	3,381092	8452,73	118,3382	1504,8	0	0	29280	112860	23716	125000	4502,316	
2	1	0	13	0	12	9	5	7	2	49	0,022	3,22322	8058,05	322,322	1675,8	0	0	29280	125685	26411	125000	4968,804	
3	10	0	0	1	13	5	20	8	1	58	0,0352	6,104384	15260,96	610,4384	1983,6	0	0	29280	148770	31262	125000	5237,388	
4	0	3	0	2	0	13	3	2	2	25	0,0302	2,25745	5643,625	225,745	855	0	0	29280	64125	13475	125000	1894,224	
5	6	31	1	1	9	2	3	6	5	64	0,0017	0,325312	813,28	32,5312	2188,8	0	0	29280	164160	34496	125000	7032,66	
6	4	3	2	0	0	3	6	5	1	24	0,0128	0,918528	2296,32	91,8528	820,8	0	0	29280	61560	12936	125000	2074,458	
7	1	6	0	12	1	0	7	7	8	42	0,0146	1,833468	4583,67	183,3468	1436,4	0	0	29280	107730	22638	125000	4272,606	
8	4	1	11	9	4	4	8	11	4	56	0,0282	4,721808	11804,52	472,1808	1915,2	0	0	29280	143640	30184	125000	5435,292	
9	17	11	0	9	0	14	7	3	4	65	0,0216	4,19796	10494,9	419,796	2223	0	0	29280	166725	35035	125000	6127,956	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0041	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0139	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0252	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0144	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
													TC	67408,055	2476,551			0	263520	1095255	230153	1125000	41545,7