

TESIS
MINIMASI TOTAL BIAYA INTEGRASI VENDOR MANAGED
INVENTORY CONSIGNMENT (VMIC) PADA PRODUK
DETERIORASI DENGAN MEMPERTIMBANGKAN EMISI
KARBON



DI SUSUN OLEH:
ASRI NOVIA SAHRAEN
18916106

MAGISTER TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2022

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING**MINIMASI TOTAL BIAYA INTEGRASI VENDOR MANAGED
INVENTORY CONSIGNMENT (VMIC) PADA PRODUK
DETERIORASI DENGAN MEMPERTIMBANGKAN EMISI****KARBON****TESIS**


Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
Gelar Magister Teknik (M.T)
Pada program Studi Magister Teknik Industri
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia

Disusun Oleh:
Asri Novia Sahraen
18916106

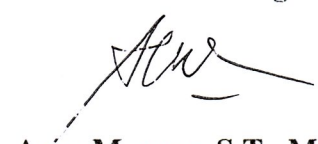
Yogyakarta 13 Agustus 2022

Menyetujui,

Pemimbing I


Dr.Drs.Imam Djati Widodo., M.Eng.Sc
NIP. 935220102

Pemimbing II


Agus Mansur, S.T., M.Eng.Sc
NIP.985220102

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI
MINIMASI TOTAL BIAYA INTEGRASI VENDOR MANAGED
INVENTORY CONSIGNMENT (VMIC) PADA PRODUK
DETERIORASI DENGAN MEMPERTIMBANGKAN EMISI

KARBON

Asri Novia Sahraen





18916106

Tesis Telah Diuji dan Dinilai Oleh Panitia Penguji
Program Studi Teknik Industri Program Magister

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia

Pada Tanggal 19 Agustus 2022

Ketua Dr.Drs.Imam Djati Widodo., M.Eng.Sc	
Anggota Agus Mansur, S.T., M.Eng.Sc	
Anggota Dr. Taufiq Immawan, S.T.,M.M	
Anggota Bambang Suratno, S.T.,M.T.,Ph.D	

Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Industri Program Magister

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia




Winda Nur Cahyo, S.T.,M.T.,Ph.D

NIP. 025200519

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Dengan ini saya menyatakan bahawa tesis ini asli dari penulis dan tidak berisi material yang telah diterbitkan sebelumnya atau tulisan penulis terkecuali referensi atau material tersebut telah disebutkan dalam tesis ini. Apabila ada kontribusi dari penulis lain dalam tesis ini, maka penulis lain tersebut secara eksplisit telah disebutkan dalam tesis ini.

Dengan ini saya menyatakan bahawa segala kontribusi dari pihak lain terhadap tesis ini, termasuk bantuan statistik, analisis data, prosedur teknis yang bersifat signifikan, dan segala bentuk aktivitas yang penelitian yang digunakan atau dilaporkan dalam tesis ini telah secara eksplisit telah disebutkan dalam tesis ini.

Segala bentuk hak ciptak yang terdapat dalam material dokumen tesis ini berada dalam kepemilikan hak cipta masing-masing. Apabila dibutuhkan, penulis telah mendapatkan izin dari pemilik hak cipta untuk menggunakan ulang materialnya dalam tesis ini.

Yogyakarta, 12 Agustus 2022


Asri Novia Sahraen

HALAMAN PERSEMBAHAN



Sembah sujud dan syukur kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala. Rahmat, cinta sayang-Mu telah memberikanku kekuatan, membekaliku dengan ilmu dan iman. Atas karunia dan kemudahan yang Engkau berikan akhirnya tesis ini dapat terselesaikan. Shalawat dan Salam selau tercurahkan atas kehadiran Rasulullah Muhammad Shalallaahu'Alayhi Wassalam. Atas cinta dan kasih kepada ummatnya. Kupersembahkan karya ini kepada orang yang sangat kukasih dan kusayangi.

Inaq (ibu) dan Mamiq (bapak) Tercinta

Sebagai tanda bakti, hormat dan rasa terimakasih yang tiada terhingga kupersembahkan karya tesis ini kepada ibu (Sri Idawati) dan bapak (H. Ramli Salim) yang memberikan cinta dan kasih sayang yang tidak pernah terputus, dukungan dan motivasi. Semoga ini menjadi langkah awal untuk membuat inaq dan mamiq bahagia dan bangga, karena selama ini belum bisa memberi yang lebih. Inaq dan mamiq selalu mendoakan yang terbaik untukku, untuk masa depanku, selalu meridhoi setiap langkahku dalam menuntut ilmu. Terimakasih inaq... terimakasih mamiq ... Terimakasih ya Allah telah menganugrahkan orang tua terbaik untukku terlahir didunia.

Adik-adik Tercinta

Sebagai tanda termakasih dan motivasi aku persembahkan karya tesis ini untuk adek-adekku (rama, desty, murtiani). Semoga kelak kalian bisa menepuh jenjang pendidikan sampai tahap ini juga kalau bisa atas lasgi, heheh... tapi jangan ikuti kakakmu yang telambat menyelesaikan studi. Kalian harus bisa lebih baik dari kakak.

Ninik (kakek/nenek) dan segenap keluarga

Sebagai rasa hormat ku aku persembahkan tesis ini untuk alm.ninik laki (kakek), maaf ninik tidak bisa lihat aku wisuda kali ini, tapi masih bisa menyaksikan aku dari syurganya Allah, sampai ketemu di syurganya Allah..aamiin...tak lupa seluruh keluarga besar nenek/bibik/paman/bu'de/pak de/ dan sepupu-sepupuku yang selalu memberikan dukungan dan motivasi... terimakasih atas do'a kalian semua

Dosen Pembimbing Tesis

Bapak Dr.Drs. Imam Djati., M.Eng.Sc dan Bapak Agus Mansyur., S.T.,M.Eng.Sc selaku dosen pembimbing tesis saya, terimakasih pak, dan saya minta maaf selama ini saya selalu menghilang dan bahkan tidak ada kabar, Sulit bagi saya menghilangkan rasa taku yang saya sendiri tidak mengerti itu, sehingga saya tidak pernah bimbingan... Terimakasih pak telah mau menerima saya bimbingan kembali. Sehat selalu buat bapak dan keluarga.

Teman-teman MTI UII angkatan 25/Teman-teman/Sahabat

Buat teman-temanku yang selalu memberikan motivasi ,semangat, dukungan dan doa untuk menyelesaikan tesis ini, buat temanku (imas) yang selalu memberikan dukungan dan doa dalam diam, terimakasih untuk semuanya, kalian telah memberikan hal yang tidak terlupakan padaku.

MOTTO

فَإِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا

5. Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. (QS. Al-Insyirah:5)

إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ط

6. Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. (QS. Al-Insyirah:6)

“ Perbaikilah Sholatmu, Agar Allah Perbaiki Hidupmu

Ketika Shalat kita tidak mampu mencegah diri kita dari kemungkarannya. Maka shalat kita pasti ada cacatnya”

KATA PENGANTAR

Assalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Alhamdulillah, segala puji dan syukur Allah SWT yang selalu memberikan segala kenikmatan kemudahan dan rahmat pada seluruh hamba-Nya. Shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW yang telah membawa Islam kepada seluruh umat manusia.

Dengan rahmat dan karunia Allah SWT, dimasa peralihan pandemi covid-19 menuju endemik yang melanda seluruh dunia dan berdampak sangat buruk terhadap seluruh sektor dan salah satunya sektor pendidikan. Perubahan iklim pendidikan yang semulanya tatap muka (*offline*) menjadi perkuliahan daring (*online*), dan menjadi perkuliahan *hybrid* (tatap muka dan daring) mengharuskan semua elemen pendidikan baik tenaga dosen, tenaga pendidikan dan mahasiswa/i harus menyesuaikan kondisi tersebut. Alhamdulillah saya bisa mencapai tahap ini, bisa menyelesaikan program strata-S2 walaupun penuh dengan lika-liku dalam menyesuaikan keadaan yang berubah-ubah. Penulis dapat menyelesaikan laporan tesis yang berjudul “ Minimasi Biaya Integrasi *Vendor Management Inventory Consignment* Pada Produk Deteriorasi dengan mempertimbangkan emisi karbon”. Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi Strata-S2 pada program studi Magister Teknik Industri, Fakultas teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia. Dalam penyelesaian penyusunan tesis ini tidak lepas dari dukungan dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada:

1. Bapak Prof.Dr.Ir. Hari purnomo., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku ketua Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia

3. Bapak Winda Nur Cahyo, S.T., M.T., Ph.D., selaku ketua Program Magister Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Dr.Drs.Imam Djati Widodo, M.Eng.Sc dan Bapak Agus Mansyur,S.T., M.Eng.Sc, selaku dosen pembimbing.
5. Bapak/Ibu Dosen pada program Magister Teknik Industri yang telah memberikan dan membagi ilmu dan pemahaman selama menempuh program studi di Universitas Islam Indonesia.
6. Kepada Orang Tua, adek, keluarga, teman-taman/sahabat/teman-taman MTI angkatan 25 yang memberikan dukungan, motivasi, semangat dan do'a.
7. Kepada Bapak/Ibu Admisi Magister Teknik Industri, yang telah membantu administrasi dari awal hingga akhir.
8. Semua pihak-pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari dalam penyusunan tesis ini masih banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu sekiranya tesis ini dapat dilanjutkan dan diperbaiki pada penelitian selanjutnya. Semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan peneliti pada area atau bidang yang sama.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Yogyakarta, 12 Agustus 2022



Asri Novia Sahraen

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
MOTTO	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR PUBLIKASI.....	xvii
ABSTRAK	
.....	xvii
i	
ABSTRACT	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
Latar Belakang	1
Rumusan Masalah	5
Batasan Masalah.....	6
Tujuan penelitian.....	6
Manfaat Penelitian	6
Sistematika Penulisan	6
BAB II TINJAUAN LITERATUR.....	9
2.1 Penelitian Terdahulu	9

2.2 Landasan Teori.....	20
2.2.1 Sistem Persediann (<i>Inventory</i>).....	20
2.2.2 Algoritma Gentika	24
2.2.3 Tinjauan Model (Hemmati et al. 2018).....	25
2.2.3.1 Model <i>Vendor Management Inventory Consigment</i>	28
2.2.3.2 Model <i>Independent</i> Pemasok dan Pembeli	32
BAB III METODOLOGI PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN MODEL	34
3.1 Objek dan subyek Penelitian.....	34
3.1.1 Obyek Penelitian	34
3.1.2 Variabel Penelitian	34
3.2 Langkah Penelitian	35
3.2.1 Tinjauan Literatur.....	35
3.2.2 Perumusan Masalah.....	35
3.2.3 Pengembangan dan Verifikasi Model	35
3.2.4 Implementasi Model.....	36
3.2.5 Kesimpulan dan Saran	37
3.3 Kerangka Pikir Penelitian	38
3.4 Karakteristik Sistem.....	39
3.5 Pengembangan Model	41
3.5.1 Notasi dan Asumsi	42
3.5.2 Model I: <i>Vendor Management Inventory Consigment</i>	45
3.5.3 Model II: Emisi Karbon	48
3.5.4 Model III: Model Persediaan Pembeli dan Pemasok	50
3.5.5 Model IV: Batasan Karbon	52

3.5.6 Model V: Pajak Karbon	54
3.6 Algoritma Solusi	55
3.7 Verifikasi Model	57
BAB IV IMPLEMENTASI MODEL	59
4.1 Pengumpulan Data	59
4.1.1 Studi Kasus.....	59
4.1.2 Data Pemasok.....	59
4.1.2.1 Data Tingkat Produksi Pemasok.....	59
4.1.2.2 Biaya <i>Setup</i> Pemasok.....	60
4.1.2.3 Biaya Simpan Pemasok.....	61
4.1.2.4 Biaya Transpoertasi Pemasok	62
4.1.3 Data Pembeli	62
4.1.3.1 Data Permintaan Pembeli.....	62
4.1.3.2 Biaya Pesan Pembeli	63
4.1.3.3 Biaya Simpan Pembeli	64
4.1.3.4 Biaya Deteriorasi Pembeli.....	64
4.2 Pengolahan Data.....	66
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	81
5.1 Perbandingan Total Biaya Masing-Masing Model	81
5.2 Analisis Sensitivitas	89
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	101
6.1 Kesimpulan	101
6.2 Saran Penelitian.....	104
DAFTAR PUSTAKA	107
<i>Lampiran</i>	116

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tingkat Persediaan pada saat t Model VMIC	29
Gambar 2.2 Tingkat Persediaan pada saat t Model Independent	32
Gambar 3.1 <i>Flow Chart</i> Penelitian	38
Gambar 3.2 Kerangka Pikir Penelitian.....	39
Gambar 5.1 Grafik perbandingan Model I dan Model III (Total Biaya)	82
Gambar 5.2 Grafik perbandingan Model II dan Model III (Emisi Karbon)	84
Gambar 5.3 Grafik Perbandingan Model VMIC dan <i>Independent</i> pada Model IV. Batas Karbon.....	86
Gambar 5.4 Grafik Perbandingan Model VMIC dan <i>Independent</i> pada Model V. Pajak Karbon.....	88
Gambar 5.5 Grafik Analisis Senistivitas Model I dan Model II Terhadap Jarak Tempuh	90
Gambar 5.6 Grafik Analisis Senistivitas Model I dan Model II Terhadap Konsumsi Bahan Bakar dan Tambahan Bahan Bakar	91
Gambar 5.7 Grafik Analisis Senistivitas Model II dan Model II Terhadap Jarak Tempuh	92
Gambar 5.8 Grafik Analisis Senistivitas Model II dan Model II Terhadap Emisi Karbon dan Tambahan Bahan Bakar	93
Gambar 5.9 Grafik Analisis Senistivitas IV Terhadap Jarak Tempuh.....	95
Gambar 5.10 Grafik Analisis Senistivitas IV Terhadap Konsumsi Bahan Bakar dan Tambahan Bahan Bakar	95
Gambar 5.11 Grafik Analisis Senistivitas Model IV Terhadap Emisi Karbon dan Tambahan Emisi karbon	96
Gambar 5.12 Grafik Analisis Senistivitas Model V Terhadap Jarak Tempuh....	98

Gambar 5.13 Grafik Analisis Sensitivitas Model V Terhadap Konsumsi Bahan Bakar dan Tambahan Konsumsi Bahan Bakar.....	99
Gambar 5.14 Grafik Analisis Sensitivitas Model V Terhadap Emisi Karbon dan Tambahan Emisi karbon	99

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Posisi Penelitian	14
Tabel 4.1 Data Produksi Sarden Kaleng	57
Tabel 4.2 Data permintaan Sarden Kaleng	60
Tabel 4.3. Data Nilai Parameter yang digunakan	65
Tabel 4.4 Hasil Pengolahan Data Model I. VMIC.....	67
Tabel 4.5 Hasil Pengolahan Data Model II. Emisi Karbon VMIC	68
Tabel 4.6 Hasil Pengolahan Data Model III. Total Biaya Model Pembeli	69
Tabel 4.7 Hasil Pengolahan Data Model III. Total Biaya Model Pemasok.....	70
Tabel 4.8 Hasil Pengolahan Data Model III. Total Emisi Pembeli	71
Tabel 4.9 Hasil Pengolahan Data Model III. Total Emisi Pemasok	72
Tabel 4.10 Hasil Pengolahan Data Model IV. Pembeli	74
Tabel 4.11 Hasil Pengolahan Data Model IV. Pemasok.....	75
Tabel 4.12 Hasil Pengolahan Data Model IV VMIC.....	76
Tabel 4.13 Hasil Pengolahan Data Model V. Pembeli.....	77
Tabel 4.14 Hasil Pengolahan Data Model V. Pemasok	78
Tabel 4.15 Hasil Pengolahan Data Model V. VMIC	79
Tabel 5.1 Perbandingan Model I dan Model III (Total Biaya)	82
Tabel 5.2 Perbandingan Model II dan Model III (Emisi Karbon)	84
Tabel 5.3 Perbandingan Model VMIC dan <i>Independent</i> pada Model V. Batas Karbon.....	85
Tabel 5.4 Perbandingan Model VMIC dan <i>Independent</i> pada Model IV. Pajak Karbon.....	87
Tabel 5.5 Analisis Senitivitas Model I dan Model III Terhadap Jarak Tempuh.....	89

Tabel 5.6 Analisis Sensitivitas Model I dan Model III Terhadap Konsumsi Bahan Bakar dan Tambahan Konsumsi Bahan Bakar.....	91
Tabel 5.7 Analisis Sensitifitas Model II dan Model III Jarak Tempuh.....	92
Tabel 5.8 Analisis Sensivitas Model II dan Model III Terhadap Emisi Karbon dan Tambahan Emisi Karbon.....	93
Tabel 5.9 Analisis Sensitivitas Model IV Terhadap jarak tempuh	94
Tabel 5.10 Analisis Sensitivitas Model IV Terhadap Konsumsi Bahan Bakar dan Tambahan Konsumsi Bahan Bakar	95
Tabel 5.11 Analisis Sensitivitas Model IV Terhadap Emisi Karbon dan Tambahan Emisi Karbon	96
Tabel 5.12 Analisis Sensitivitas Model V Terhadap Jarak Tempuh	97
Tabel 5.13 Analisis Senitivitas Model V Terhadap Konsumsi Bahan Bakar dan Tambahan Konsumsi Bahan Bakar	98
Tabel 5.14 Analisis Sensitivitas Model V Terhadap Emisi Karbon dan Tambahan Emisi Karbon	99

DAFTAR PUBLIKASI

Publikasi selama masa studi

Kusni, E and **Sahraen, A.N.** 2021. “Risk Mitigation Using Integration Enterprise Risk Management and Balanced Scocard Model (A Case Study in: a Consulting Service Company Indonesia)”. *Spektrum Industri*, vol. 19, no.1 pp.73:85.

Sahraen, A.N., Andri, A., Sundari,S. 2020. “ Analisis Risiko Pada Supply Chain Management Menggunakan Framework ISO 31000: 2009 (Studi Kasus : PT. XYZ)”. *Industrika*, Vol.4, no.2, pp. 106:113.

Cahyo, W.N., **Sahraen, A.N** and Erniyani. (**Acceptance**). “Risk Mitigation Using ISO 31000 To Increase Regional Income”. *10th International Conference of Muhammadiyah and Aisyiah Higher Education Association (ICMAHEA)*, September 25-26, 2020.

Kontribusi yang diberikan oleh pihak lain dalam tesis ini

“Tidak ada kontribusi dari pihak lain”.

ABSTRAK

Penelitian ini mengembangkan model persediaan terintegrasi pada sebuah sistem rantai pasok dua eselon pemasok dan pembeli tunggal. Penelitian ini dikembangkan dari penelitian yang dilakukan oleh (Hemmati et al. 2017), (Hargi et al. 2019) dan (Giri et al. 2016). Penelitian ini mempertimbangkan emisi karbon yang dihasilkan dari kegiatan transportasi, penyimpanan dan pembuangan produk terdeteriorasi. Model yang dikembangkan mempertimbangkan kondisi, seperti: pada sebuah produk terdeteriorasi, dengan tingkat deteriorasi tetap, permintaan bersifat deterministik dan dipengaruhi oleh tingkat stok, tingkat produksi pemasok lebih besar dibandingkan tingkat permintaan maksimum, biaya simpan pembeli lebih besar daripada pemasok, kapasitas rak dibatasi dan jarak tempuh dari pemasok ke pembeli diketahui. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meminimasi total biaya gabungan pemasok dan pembeli dibawah kebijakan *vendor management inventory consignment* (VMIC), total emisi karbon, batas karbon dan pajak karbon yang diharuskan dibayarkan. Selain itu, penelitian ini juga mengembangkan model biaya dan emisi masing-masing pemasok dan pembeli. Variabel keputusan dalam model yang dibangun yaitu menentukan kuantitas pengiriman dari gudang pembeli ke rak pembeli, jumlah pengiriman dari pemasok ke pembeli dan jumlah transfer dari gudang pembeli ke rak pembeli. Hasil menunjukkan bahwa total biaya integrasi VMIC lebih rendah sebesar 19% dibandingkan dengan total biaya masing-masing pemasok dan pembeli. Melalui sistem integrasi VMIC pemasok dan pembeli dapat menghemat emisi sebesar 0,06%, dan menghemat total pajak karbon sebesar 17%. Model-model ini dilakukan pengembangan secara berkelanjutan agar dapat menjadi tambahan wawasan bagi pengambil keputusan untuk mengoptimalkan biaya persediaan dengan mempertimbangkan sumber daya yang dimiliki. Model ini dapat diimplementasikan pada perusahaan secara bertahap dan mempertimbangkan kondisi lingkungan.

Kata Kunci: Manajemen rantai pasok, *vendor management inventory consignment* (VMIC), emisi karbon, pajak karbon, batasan karbon, permintaan deterministik, deteriorasi .

ABSTRACT

This study develops an integrated inventory model in a supply chain system of two echelon suppliers and a single buyer. This study was previous to research conducted by (Hemmati et al. 2017), (Hargi et al. 2019), and (Giri et al. 2016). This study considers carbon emissions from the transportation, storage, and disposal of degraded products. The developed model considers conditions, such as: for a product to deteriorate, with a constant rate of deterioration, demand is deterministic and influenced by stock levels, the supplier's production level is greater than the maximum demand level, the buyer holding cost is greater than the vendor, limited shelf capacity and spacing, transfer from a vendor to a buyer is known. This study aims to minimize the total combined costs of suppliers and buyers under the vendor management inventory consignment (VMIC) policy, total carbon emissions, carbon limits, and taxes on carbon. In addition, this study also develops cost and emission models for each supplier and buyer. The decision variables in the built model determine the number of shipments from the buyer's warehouse to the buyer's shelf, the number of shipments from the supplier to the buyer, and the number of transfers from the warehouse to a shelf buyer. The results show that the total cost of VMIC integration is 19% lower than the total costs of each supplier and buyer. Through the VMIC system integration, suppliers and buyers can save 0,06% in emissions and a carbon tax of 17%. These models are developed on a continuous improvement basis so that it can be insight for decision makers to optimize inventory costs by considering the available resources. These models can implemented in other companies, with environmental consider conditions.

Keywords: Supply chain management, vendor management inventory consignment (VMIC), carbon emission, carbon tax, carbon limit, deterministic and stock-dependent demand, deterioration.

BAB I

PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan hal-hal yang menjadi latar belakang dilakukannya penelitian, rumusan masalah dan batasan masalah. Selanjutnya dijelaskan tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

1.1 LATAR BELAKANG

Sistem manajemen rantai pasok telah mendapat banyak sorotan dalam perkembangan industri dan ekonomi global. Sistem manajemen rantai pasok adalah seperangkat pendekatan yang mengintegrasikan antara pemasok, manufaktur, pergudangan dan retail secara efektif, sehingga produk dapat diproduksi dengan jumlah yang tepat dan didistribusikan pada waktu dan tempat yang tepat (Kaasgari et al. 2017). Integrasi pada sistem rantai pasok menuntut para anggota bekerjasama untuk mengurangi total biaya sistem sehingga dapat meningkatkan keunggulan kompetitif mereka (Hemmati et al., 2017). Persediaan merupakan salah satu permasalahan yang dihadapi dalam sistem rantai pasok. Persediaan merupakan biaya tertinggi dalam sistem rantai pasok yang mencakup hampir 50% dari total biaya logistik (Peidro et al. 2009). Persediaan memiliki kedudukan yang sangat penting dan strategis, yang berpengaruh terhadap kelangsungan hidup perusahaan. Perusahaan menginvestasikan nilai berkisar 25-35% dari total aset yang dimiliki untuk persediaan (Nafisah et al. 2021).

Selain itu, industri global saat ini ditekankan pada pengurangan efek gas rumah kaca dan emisi karbon. Permasalahan lingkungan tidak hanya terbatas pada pembuangan limbah, polusi udara, air dan penipisan sumber daya alam (Jaber et al. 2014). Berbagai isu lingkungan dikaitkan dengan proses rantai pasok mulai proses produksi, penyimpanan, transportasi sampai tahap pembuangan. Perhatian terhadap jumlah emisi karbon tidak hanya dari kalangan pemerintah saja, akan tetapi dari kalangan Lembaga Swadaya Masyarakat (LSM), bahkan permintaan konsumen untuk produk ramah lingkungan. Beberapa dekade terakhir, berbagai konferensi global tentang lingkungan dilaksanakan guna untuk mengurangi efek

gas rumah kaca (Aliabadi et al., 2019). Beberapa program-program protokol lingkungan seperti protokol Kyoto, *Chicago Climate Exchange* dan *European Climate Change* telah dikembangkan untuk mendorong kesadaran lingkungan dan menetapkan peraturan kebijakan yang membantu mengontrol dan mengurangi jejak karbon (Hariga et al. 2019). Protokol kyoto merupakan dasar bagi negara-negara industri yang tergabung untuk mengurangi emisi gas rumah kaca gabungan mereka paling sedikit 5% dari tingkat emisi tahun 1990 menuju periode 2008-2012. Tujuan dari protokol kyoto ini adalah mengurangi emisi karbon dioksida dan enam gas rumah kaca lainnya. Melalui prinsip (*common but differentiated responsibilities*) artinya semua negara memiliki tanggungjawab yang sama namun dalam tingkat yang berbeda dalam mengurangi gas rumah kaca. Prinsip ini tidak membebankan negara maju akan tetapi negara berkembang dan negara yang ekonominya dalam masa transisi diharuskan untuk membatasi atau mengurangi efek gas rumah kaca sampai dengan jumlah tertentu.

Pembatasan jumlah gas rumah kaca di negara maju ditepakan dengan menetapkan pajak karbon yang harus dibayarkan. Besar pajak karbon dihitung berdasarkan per ton CO₂ yang dipancarkan. Penelitian tentang pajak karbon dilakukan oleh (Ghosh et al. 2016), mengembakan model optimasi pada rantai pasok dua eselon dengan kebijakan karbon. Ada tiga kebijakan model karbon yang dikembangkan yaitu model pajak karbon (*tax carbon*), batas ketat karbon (*stict cap carbon*), dan batas atas dan perdagangan karbon (*cap and trade carbon*). Batas karbon merupakan batas karbon yang diizinkan, jika melebihi akan mendapatkan *penalty* (Chen et al. 2013). Perusahaan diwajibkan mengelola emisi mereka dengan batas yang telah ditentukan. Jika emisi karbon perusahaan dibawah batas yang telah ditentukan, maka perusahaan dapat menjual atau memperdagangkan (*trade*) dari sisa alokasi batas yang telah ditentukan. (Yang et al. 2017) menyajikan sebuah model pada persediaan terintegrasi pada pemasok tunggal, pembeli tunggal dan konsumen tunggal degan koordinasi dalam pengerjaan kembali proses produksi yang tidak sempurna dan biaya pajak karbon secara berurutan. Tujuan dari pengembangan model ini adalah memaksimalkan keuntungan.

Dewasa ini, dalam sistem rantai pasok pemasok dan pembeli dapat mengintegrasikan atau menggabungkan kebijakan mereka sehingga dapat meminimalkan total biaya dan memaksimalkan keuntungan. Sistem manajemen rantai pasok dibawah kebijakan *vendor management inventory* (VMI) menjadi salah satu model keputusan yang bisa digunakan dalam mengoptimalkan biaya persediaan dan memaksimalkan keuntungan. Hasil analisis menunjukkan bahwa model VMI dapat memberikan manfaat dalam mengurangi biaya persediaan yang dihasilkan dari integrasi antara pemasok dan pembeli (Yao et al. 2007). (Dong and Xu 2002) menyelidiki masalah model VMI berdasarkan hubungan rantai pasok berfokus pada sistem persediaan, harga beli dan jumlah pembelian. Pada sistem rantai pasok, pembeli akan mengalami kekurangan (*shortage*) dan kehilangan penjualan (*lost sale*) hal ini disebabkan oleh kekurangan stok, keterlambatan pengiriman (*lead time*) dan permintaan pasar yang bervariasi. Untuk menangani permasalahan stok dapat diterapkan konsep konsinyasi (*consignment*). Kebijakan konsinyasi menjadi pendekatan strategis dan menguntungkan dalam manajemen persediaan dilingkungan yang tidak pasti (Braglia and Zavanella 2003). Kebijakan konsinyasi tidak hanya menghasilkan keuntungan produsen yang lebih tinggi dibandingkan dengan kebijakan tradisional, tetapi juga mengkoordinasi pengecer untuk mencapai keuntungan yang lebih besar (Chen and Liu 2008). Oleh karena itu, beberapa penelitian mengintegrasikan kebijakan VMI dengan kebijakan konsinyasi. (Babekian et al. 2017) mempelajari dampak peraturan pajak karbon pada operasi *vendor management inventory consignment* (VMIC) rantai pasok dua eselon, bertujuan untuk menentukan ukuran *lot* produksi dan kuantitas pengiriman pemasok ke pembeli, sehingga dapat meminimalkan biaya operasional sistem secara keseluruhan. Kemudian model ini dikembangkan oleh (Hariga et al. 2019) dimana menambahkan peraturan batas karbon dalam kebijakan VMIC. Model yang dikembangkan dalam penelitian ini yaitu model optimasi total biaya gabungan pemasok dan pembeli dibawah kebijakan VMIC dan mempertimbangkan emisi karbon. Tujuan dari model ini adalah meminimasi total biaya gabungan dan mengoptimalkan kuantitas pemesanan pembeli dan kuantitas pengiriman pemasok.

Selain itu, juga mengembangkan model matematis dibawah kebijakan masing-masing pemasok dan pembeli.

Secara luas persediaan produk dibagi menjadi tiga kategori yaitu keusangan, deteriorasi, bukan keusangan/deteriorasi (Goyal and Giri 2001). Deteriorasi merupakan pembusukan atau kerusakan yang efeknya tidak bisa diabaikan dalam model persediaan (Raafat 1991). Sedangkan keusangan berkaitan dengan produk yang kehilangan nilai karena perubahan teknologi yang sangat cepat atau adanya produk baru dari kompetitor (Goyal and Giri 2001). Deteriorasi produk merupakan produk yang mengalami pengurangan nilai yang disebabkan oleh penguapan, pembusukan, kekeringan, kerusakan yang disebabkan mikroorganisme, suhu ruangan yang tidak sesuai, penanganan yang salah dan lain-lain. Produk akan mengalami deteriorasi setelah produk selesai diproduksi, dalam proses penyimpanan dan bahkan pada proses transportasi atau pengiriman. Penelitian tentang deteriorasi produk pertama kali diperkenalkan oleh (Peston and Whitin 1958), selanjutnya dikembangkan oleh (Ghare and Schrader 1963). (Philip 1974a) mengembangkan model persediaan dibawah kebijakan *Economic Order Quantity* (EOQ) pada produk deteriorasi dengan tingkat deteriorasi berdistribusi weibull.

Model EOQ pada produk terdeteriorasi juga dikembangkan oleh (Goswami and Chaudhuri 1991) dengan mempertimbangkan kekurangan (*shortage*) dan permintaan mengikuti tren linier. Selanjutnya model ini dikembangkan oleh (Hariga 1995) dengan permintaan dengan waktu bervariasi. (Mishra et al. 2016) kebijakan mengoptimalkan pesanan pada item yang terdeteriorasi bervariasi dengan permintaan dipengaruhi oleh stok dan deteriorasi proporsional waktu dibawah kebijakan penundaan pembayaran. (Wu et al. 2006) menoptimalkan kebijakan pengisian kembali untuk produk terdeteriorasi secara tidak instan dengan permintaan dipengaruhi oleh stok dan parsial *backlogging*. Model ini juga mengizinkan adanya kekurangan.

(Daryanto and Wee 2018) mengembangkan model persediaan terintegrasi pada produk terdeteriorasi dengan mempertimbangkan emisi karbon pada pemasok tunggal dan pembeli tunggal. Emisi karbon dihasilkan dari kegiatan transportasi, penyimpanan dan pembuangan produk terdeteriorasi itu sendiri. Tujuan dari model

ini adalah meminimasi gabungan total biaya harus dikeluarkan dan total emisi karbon. Lebih lanjut (Tiwari et al. 2018) mempertimbangkan produk terdeteriorasi dan kualitas yang tidak sempurna. Model yang dikembangkan dengan mempertimbangkan insfeksi secara berkala. Emisi yang dihasilkan dari kegiatan transportasi tergantung pada konsumsi bahan bakar dan jarak tempuh, sedangkan emisi dari kegitan penyimpanan tergantung pada total persediaan dan konsumsi energi. Emisi deteriorasi berkaitan dengan pembuangan produk deteriorasi itu sendiri. (Hemmati et al. 2017) mengintegrasikan kebijakan VMIC pada produk terdeteriorasi, dimana permintaan bersifat deterministik, dipengaruhi harga dan stok. Tujuan dari penelitian ini, memaksimalkan keuntungan pemasok dan pembeli baik dibawah kebijakan VMIC maupun dibawah kebijakan masing-masing pemasok dan pembeli. Tingkat deteriorasi produk diketahui dan konstan, dimana dteriorasi terjadi di rak pembeli. selain itu, model ini juga mengoptimalkan jumlah pengiriman dari pemasok ke pembeli, pengiriman dari gudang pembeli ke rak pemasok dan kuantitas pengirman, sedangkan kapasitas rak dibatasi.

Berdasarkan uraian diatas, maka dalam penelitian ini akan dikembangkan model persediaan pada rantai pasok dua eselon untuk produk terdeteriorasi dengan mempertimbangkan batas atas karbon dan pajak karbon, sehingga dapat meminimalkan total biaya gabungan pemasok dan pembeli dibawah kebijakan *vendor management inventory consignment* (VMIC). Model dasar yang akan dikembangkan berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Hemmati et al. 2017), dimana produk akan mengalami deteriorasi saat ditampilkan di rak pembeli. Emisi karbon dihasilkan dari kegiatan transpotasi, penyimpanan, dan pembuangan produk terdeteriorasi itu sendiri.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan uraian tersebut, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana memodelkan sistem persediaan yang melibatkan sistem rantai pasok dua eselon antara pemasok tunggal dan pembeli tunggal pada satu produk yang mengalami deteriorasi dengan mempertimbangkan emisi karbon, batas karbon dan pajak karbon.

1.3 BATASAN MASALAH

Batasan masalah bertujuan agar penelitian yang dilakukan lebih terfokus pada permasalahan yang dibahas, adapun batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut;

1. Sistem yang diteliti adalah sistem rantai pasok dua eselon yaitu pemasok tunggal dan pembeli tunggal dengan mempertimbangkan kondisi produk yang mengalami deteriorasi di rak pembeli.
2. Pemasok menyimpan produk digudang pembeli.
3. Kapasitas rak pembeli dibatasi.
4. Emisi karbon dihasilkan dari kegiatan penyimpanan, transportasi dan pembuangan limbah produk.
5. Emisi yang dibuang ke lingkungan tidak boleh lebih dari batas yang diizinkan.

1.4 TUJUAN PENELITIAN

Berdasarkan rumusan masalah diatas maka dapat diuraikan tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mengembangkan model integrasi persediaan antara pemasok dan pembeli tunggal untuk meminimasi total biaya pemasok dan pembeli.
2. Mengurangi biaya simpan pemasok dan mengurangi biaya pesan serta kemungkinan kehilangan penjualan (*lost sale*) pembeli.
3. Mengembangkan model integrasi persediaan sehingga dapat mengurangi efek emisi karbon yang dibuang ke lingkungan.

1.5 MANFAAT PENELITIAN

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan usulan manajerial kepada pengambil keputusan dalam melakukan persediaan pada produk yang mudah mengalami deteriorasi.
2. Pemasok dapat menghemat biaya simpan dan pembeli dapat menghemat biaya pesan serta dapat menghindari kehilangan penjualan. Disisi lain konsumen akhir tidak kehilangan produk.
3. Memberikan dampak positif ke lingkungan dengan mengurangi emisi karbon yang dipancarkan.

1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Penulisan tesis ini dilakukan sesuai dengan sistematika penulisan, yaitu sebagai berikut;

Bab I Pendahuluan

Bab ini menjelaskan bagaimana kondisi permasalahan berdasarkan uraian kondisi penelitian terdahulu, kemudian dibuat suatu rumusan masalah berdasarkan yang telah dijelaskan dalam latar belakang. Selanjutnya dibuat batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian yang mengoptimalkan total biaya gabungan sistem rantai pasok dua eselon untuk pemasok tunggal dan pembeli tunggal. Pada Bab ini ditutup dengan sistematika penulisan yang dilakukan dalam penulisan tesis.

Bab II Tinjauan Literatur

Bab ini menjelaskan tentang penelitian-penelitian yang terdahulu dan posisi penelitian yang dilakukan. Pada Bab ini juga menjelaskan konsep dan teori yang mendukung penelitian. Selanjutnya Bab ini memaparkan tinjauan model dari (Hemmati et al., 2017).

Bab III Metodologi Penelitian dan Pengembangan Model

Bab ini menjelaskan tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian. Adapun tahapan yang dilakukan dalam penelitian diantaranya menjelaskan obyek dan subyek penelitian, langkah penelitian yang disajikan dalam bentuk diagram alir penelitian. Pada Bab ini juga dijelaskan kerangka pikir penelitian dan karakteristik sistem yang akan dikembangkan. Selanjutnya, dijelaskan langkah dalam pengembangan model matematika, verifikasi model dan pengembangan algoritma solusi dari penelitian sebelumnya.

Bab IV Implementasi Model

Pada Bab ini dipaparkan model-model yang telah dibangun akan diaplikasikan kedalam studi kasus yaitu pemasok tunggal dan pembeli tunggal. Data-data yang digunakan merupakan data dari penelitian terdahulu dengan menambahkan beberapa data pendukung.

Bab V Analisis dan Pembahasan

Langkah selanjutnya yang dilakukan adalah analisis terhadap perubahan-perubahan parameter dalam beberapa kondisi yang diberikan terhadap variabel keputusan dan kriteria performansi.

Bab VI Kesimpulan dan Saran

Bab ini menyimpulkan hasil dari penelitian apakah sesuai dengan tujuan yang telah dilakukan dan memberikan saran berupa kemungkinan-kemungkinan yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. STUDI LITERATUR

Salah satu faktor pendukung dalam sebuah penelitian adalah penelitian terdahulu yang relevan dengan permasalahan yang akan diteliti, sehingga peneliti diperkaya dengan pengetahuan atau teori yang akan digunakan untuk melakukan penelitian. Banyak peneliti telah melakukan penelitian manajemen sistem rantai pasok pada model permasalahan biaya persediaan. Sebuah model sistem optimasi biaya persediaan gabungan antara pemasok dan pembeli pertama kali diperkenalkan oleh (Goyal, 1977). (Goyal 1977) berasumsi bahwa tingkat produksi pemasok seketika dengan kebijakan pengiriman *lot-for-lot*. Kemudian penelitian ini dikembangkan oleh (Banerjee, 1986.) dengan mempertimbangkan tingkat produksi pemasok yang terbatas. Selain itu, (Banerjee, 1986) juga memperkenalkan istilah *Joint Economic Lot Size* (JELS) pada kondisi deterministik dan berfokus pada gabungan total biaya yang relevan antara pemasok dan pembeli.

Vendor management inventory (VMI) merupakan strategi kolaborasi dalam rantai pasok dimana pemasok mengelola persediaan pembeli berdasarkan informasi yang diperoleh dari pembeli. (Dong and Xu 2002) menganalisis dampak jangka pendek dan panjang kebijakan manajemen persediaan pembeli terhadap pihak-pihak yang terlibat dalam manajemen sistem rantai pasok. Sistem VMI dalam jangka pendek dapat mengurangi total biaya keseluruhan, sedangkan dalam jangka panjang dapat meningkatkan keuntungan pemasok. Stok konsinyasi (*consignment*) merupakan pendekatan inovatif dalam rantai pasok dan manajemen persediaan berdasarkan kolaborasi yang kuat antara pemasok dan pembeli untuk menciptakan solusi ‘win-win solution’ untuk menghasilkan keuntungan (Battini et al. 2010). Stok konsinyasi berbeda dengan VMI, dimana pada sistem konsinyasi pemasok mengirim produk kepada pembeli segera setelah selesai diproduksi dan menyimpan produk tersebut pada gudang pembeli untuk dimanfaatkan oleh pembeli dan pembeli akan membayar ke pemasok sesuai dengan jumlah produk yang digunakan.

Penggabungan kebijakan VMI dan konsinyasi (VMIC) diperkenalkan oleh (Gümüş et al., 2008). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggabungan VMIC dapat menghasilkan biaya yang optimal pada sistem secara keseluruhan. Selain itu (Ben-Daya et al. 2013) membagi tugas-tugas antara pemasok dan pembeli dibawah kebijakan VMIC. Pemasok berhak menentukan kuantitas pengiriman dan jumlah pengiriman. Dari sisi pembiayaan terjadi pembagian (*sharing*) antara pemasok dan pembeli dalam menentukan biaya pesan dan biaya simpan. Pemasok akan menanggung biaya pesan awal pembeli dan biaya simpan finansial pembeli. (Khan et al. 2016) mengembangkan model VMIC penyaringan produk cacat pada pemasok dan pembeli tunggal, dimana pemasok akan mengirimkan setiap *batch* produksi dalam sejumlah *lot* ke gudang pembeli.

Perhatian terhadap isu lingkungan dan pemanasan global akibat polusi bahan bakar, energi elektronik, gas rumah kaca dan enam energi lainnya kaca semakin meningkat. Industri-industri berusaha menurunkan emisi mereka dengan kebijakan-kebijakan yang telah diatur oleh pemerintah. Untuk mengurangi emisi karbon dan gas rumah kaca, diterapkan *penalty* (hukuman) bagi industri yang menghasilkan emisi karbon melebihi ambang batas yang telah ditentukan. Negara-negara maju telah memberlakukan pajak karbon yang dihitung per ton CO₂. Selaain itu juga menerapkan batas atas (*cap carbon*) sebagai batasan industri dalam mengelola emisi mereka. Industri yang dapat mengelola emisi mereka dibawah batas yang telah ditentukan dapat melakukan penjualan atau perdangan karbon (*trade*) dari sisa alokasi karbon mereka. Penelitian mengenai emisi karbon dalam sistem persediaan rantai pasok telah banyak dilakukan. (Ghosh et al. 2016) mengembangkan model rantai pasok dua eselon pada pemasok tunggal dan pembeli tunggal dengan permintaan bersifat deterministik. Tujuan dari model ini untuk mengoptimalkan kuantitas pengiriman dan jumlah pengiriman agar dapat meminimasi total biaya gabungan sistem. Model ini menerapkan tiga jenis kebijakan emisi karbon yaitu, pajak karbon, batas atas karbon, batas karbon dan perdagangan karbon. Kemudian model ini dikembangkan (Ghosh et al. 2017) dimana permintaan bersifat stokastik dengan memepertimbangkan pemesanan kembali. Kebijakan karbon yang digunakan dalam model ini adalah batas karbon. Lebih lanjut (Ghosh et al. 2018)

mempertimbangkan ketidakpastian permintaan dibawah kebijakan pajak karbon, untuk mengoptimalkan tingkat produksi, jumlah pengiriman, kuantitas pesan dan pemesanan kembali. Sementara itu (Ghosh 2021) mengoptimalkan tingkat produksi dibawah kebijakan pajak karbon, batas dan perdagangan karbon.

(Zanoni et al. 2014) mengembangkan model JELS pada keputusan pengisian kembali dibawah kebijakan VMIC dengan memperhatikan skema perdagangan karbon (*trade*). Model dikembangkan berdasarkan pemasok tunggal dan pembeli tunggal. Total biaya sistem terdiri dari biaya pesan, simpan, pajak emisi yang dihasilkan dan denda dari gas rumah kaca (GHG). Berdasarkan hasil diketahui penerapan kebijakan VMIC dapat menurunkan biaya simpan pada sistem tradisional, pajak emisi dan denda gas rumah kaca. Penelitian yang dilakukan oleh (Babekian et al. 2017) mengembangkan model optimasi dampak pajak karbon pada sistem rantai pasok dua eselon dibawah kebijakan VMIC. Penelitian yang dilakukan untuk mengembangkan model matematis sederhana untuk menentukan ukuran *lot* produksi pemasok dan jumlah pengiriman dari pemasok ke pembeli sehingga dapat meminimalkan total biaya sistem secara keseluruhan. Berdasarkan hasil diketahui pengurangan biaya dan karbon secara signifikan dapat dilakukan dengan menyesuaikan jumlah produksi dan pengiriman. Penelitian yang sama dilakukan oleh (Hariga et al. 2019) mengembangkan model integrasi ekonomi dan lingkungan dengan pada pemasok dan pembeli tunggal dalam sistem rantai pasok dibawah kebijakan VMCI. Model yang dikembangkan berdasarkan kebijakan pengurangan emisi karbon yaitu kebijakan batas atas karbon dan pajak karbon. Hasil menunjukkan pengurangan karbon dapat dilakukan dengan menerapkan batas karbon dan pajak karbon. Selain itu, (Ganesh Kumar and Uthayakumar 2019) memodelkan pengiriman yang sama dan tidak sama pada VMI dengan memepertimbangkan efek gas rumah kaca (GHG) dalam skema perdangan emisi karbon. Model yang dikembangkan menerapkan lima kebijakan pengendalian persediaan yang berbeda dari sistem rantai pasok. Solusi optimal model diperoleh dengan menggunakan algoritma genetika. Hasil menunjukkan kinerja sistem lebih baik jika pengiriman dilakukan tidak merata dengan penerapan VMI.

Penelitian tentang *vendor management inventory* (VMI) telah berkembang dengan mempertimbangkan pada produk produk terdeteriorasi baik ditingkat pemasok maupun pembeli. (Yu et al. 2011) mengembangkan model integrasi harga pada produk deteriorasi yang dihasilkan dari proses produksi dengan bahan baku yang baik. Model yang dikembangkan berdasarkan sistem pemasok tunggal dan banyak pembeli dengan penentuan harga masing-masing pembeli berbeda. Pada penelitian selanjutnya (Yu et al. 2012) mengembangkan model dalam sistem rantai pasok dibawah kebijakan VMI pada bahan baku dan produk yang cepat mengalami deteriorasi. Mereka berasumsi bahwa, tingkat deteriorasi produk konstan dan permintaan bersifat deteministik. (Tat et al. 2015) mengembangkan model EOQ untuk menginvestigasi kinerja sistem VMI pada produk terdeteriorasi secara tidak langsung dengan ada dan tidak adanya *shortage*. Model dikembangkan berdasarkan pemasok dan pembeli tunggal pada satu produk yang mengalami deteriorasi secara tidak langsung. (Chowdhury et al. 2015) mengembangkan model EOQ pada produk terdeteriorasi, dimana permintaan sensitive terhadap harga dan stok. Kemudian model ini dikembangkan oleh (Hemmati et al. 2017) dengan koordinasi pemasok dan pembeli tunggal pada sistem VMIC dengan permintaan berpengaruh terhadap harga dan stok. Deteriorasi terjadi di rak pembeli dengan tingkat konstan. Tujuan model ini adalah untuk memaksimalkan keuntungan, dimana dibangun ada dua model yaitu model gabungan dibawah kebijakan VMIC dan model masing-masing pemasok dan pembeli. (Lin and Chen 2010) mengembangkan model gabungan VMI dan kontrak konsinyasi pada pemasok tunggal dan beberapa pembeli untuk deteriorasi dengan permintaan dipengaruhi oleh stok. Tujuan dari model ini untuk memaksimalkan keuntungan.

Mempertimbangkan efek emisi karbon dari aktivitas rantai pasok pada produk terdetrriorasi. (Daryanto and Wee 2018) mengembangkan model optimasi integrasi pemasok dan pembeli tunggal pada satu produk yang mengalami deteriorasi. Tujuan dari model ini untuk meminimasi total biaya emisi gabungan pemasok dan pembeli, serta total emisi karbon yang dikeluarkan. Pajak karbon dihitung dalam biaya emisi karbon. Selanjutnya model ini dikembangkan oleh (Tiwari et al. 2018) mengintegrasikan pemasok dan pembeli tunggal pada produk tidak

sempurnya yang mengalami terdeteriorasi dengan mempertimbangkan proses infeksi. Emisi karbon dihasilkan dari kegiatan transportasi, penyimpanan barang di gudang dan pembuangan item yang rusak. Pada kedua model ini, tingkat deteriorasi produk diketahui dan konstan, jarak antara pemasok dan pembeli diketahui. Selain itu tingkat permintaan konstan dengan tingkat produksi lebih tinggi dari tingkat permintaan. (Bai et al. 2019) mengembangkan model VMI pada pemasok tunggal dan dua pembeli dengan mempertimbangkan produk terdeteriorasi dan emisi karbon. Model yang dikembangkan berdasarkan sistem sentralisasi dan desentralisasi untuk mengurangi emisi karbon berdasarkan batas atas karbon sehingga dapat memaksimalkan keuntungan.

Pada tesis ini terdapat celah yang dapat dikembangkan dengan memperhatikan model integrasi persediaan antara pemasok dan pembeli tunggal. Penelitian ini memiliki karakteristik yaitu produk terdeteriorasi saat ditampilkan di rak pembeli, tingkat deteriorasi produk diketahui dan konstan, dan permintaan bersifat deterministik dipengaruhi oleh stok. Selain itu, penelitian ini juga mempertimbangkan emisi karbon, batas karbon dan pajak karbon yang dihasilkan dari aktivitas transportasi, penyimpanan dan pembuangan produk terdeteriorasi.

Tabel 2.1 Posisi Penelitian

No	Peneliti	Judul	Model	Pola Permintaan	Emisi Karbon	Deteriorasi Produk	Biaya Transportasi Pemasok	Permintaan dipengaruhi oleh stok
1	(Misra 1975a)	Optimum productin lot size model for a system with deterioration inventory	EOQ	<i>Deterministic</i>	-	✓	-	-
2	(Sarker, Mukherjeea, and Balanb 1997)	An order level lot size inventory model with inventory level dependdent demand and deteriration	EOQ	<i>Deterministic</i>	-	✓	-	✓
3	(Yang & Wee, 2000)	Economic ordering policy of deteriorated item for vendor and buyer: An integrated approach	JELS	<i>Deterministic</i>	-	✓	-	-
4	(Balkhi and Benkherouf 2004)	On an inventory model for deteriorating items with stock dependent and time-varying demand rates	EOQ	<i>Deterministic</i>	-	✓	-	✓
5	(Jolai et al. 2006)	An Economic production lot size model with deteriorating items, stock dependent demand, inflation and partial backlogging	EPQ	<i>Deterministic</i>	-	✓	-	✓
6	(Wu, Ouyang, and Yang 2006)	An Optimal replenishment policy for non-instantaneous deteriorating items with stock-dependent demand and partial backlogging	EOQ	<i>Deterministic</i>	-	✓	-	✓
7	(Hou and Lin 2006)	An EOQ model for deteriorating items with price and stock dependent selling rates under inflation and time value of money	EOQ	<i>Deterministic</i>	-	-	-	✓
8	(Srivastava and Gupta 2007)	EOQ model for deteriorating item having constant and time-dependent demand rate	EOQ	<i>Deterministic</i>	-	✓	-	-

No	Peneliti	Judul	Model	Pola Permintaan	Emisi Karbon	Deteriorasi Produk	Biaya Transportasi Pemasok	Permintaan dipengaruhi oleh stok
9	(Sajadieh, Thorstenson, and Jokar 2010)	An Integreted vendor-buyer model with stock-dependent demand	VMIC	<i>Deterministic</i>	-	-	-	✓
10	(Tsai 2011)	An optimal production and shipment policy for a single-vendor single-buyer integreted sytem with both learning effect and deteriorating items	JELS	<i>Deterministic</i>	-	✓	✓	-
11	(Yu et al. 2011)	An Integrated Pricing and Deteriorating Model and a Hybrid Algorithm for a VMI (Vendor-Managed-Inventory) Supply Chain	VMI	<i>Deterministic</i>	-	✓	✓	-
12	(Giri and Bardhan 2012)	Supply chain coordination for a deterioration item with stock and price-dependent demand under revenue sharing contract	JELS	<i>Deterministic</i>	-	✓	-	✓
13	(Yu et al. 2012)	A vendor managed inventory supply chain with deteriorating raw matetials and products	VMI	<i>Deterministic</i>	-	✓	-	✓
14	(Mishra 2013)	An inventory model of instantaneous deteriorating items with controllable deterioration rate for time dependent demand and holding cost	EOQ	<i>Deterministic</i>	-	✓	-	-
15	(Yang et al. 2014)	Supply chain coordination wth stock dependent demand rate and credit incentives	VMI	<i>Deterministic</i>	-	-	-	✓
16	(Lee and Kim 2014)	An optimal policy for a single-vendor single-buyer integrated production-	JELS	<i>Deterministic</i>	-	✓	✓	-

No	Peneliti	Judul	Model	Pola Permintaan	Emisi Karbon	Deteriorasi Produk	Biaya Transportasi Pemasok	Permintaan dipengaruhi oleh stok
		distribution model with both deterioration and defective items						
17	(Zanoni et al. 2014)	Vendor-managed inventory with consignment stock agreement for single vendor-single buyer under the emission-trading scheme	VMIC	<i>Deterministic</i>	✓	-	-	-
18	(Chowdhury et al. 2015)	An inventory model for deteriorating items with stock and price sensitive demand	EOQ	<i>Deterministic</i>	-	✓	-	✓
19	(Giri and Bardhan 2015)	A vendor-buyer JELS model with stock-dependent demand and consigned inventory under buyer's space constraint	JELS dengan Consignment	<i>Deterministic</i>	-	-	✓	✓
20	(Tat et al. 2015)	Developing economic order quantity model for non-instantaneous deteriorating items in vendor-managed-inventory (VMI) system	VMI	<i>Deterministic</i>	-	✓	-	-
21	(Zanoni and Jaber 2015)	A two level supply chain with consignment stock agreement and stock dependent demand	VMIC	<i>Deterministic</i>	✓	-	-	✓
22	(Mishra, Singh, and Pattanayak 2016)	An optimal ordering policy for deteriorating items varying with stock dependent demand and time-proportional deterioration under permissible delay in payment	EOQ	<i>Deterministic</i>	-	✓	-	✓
23	(Prasad and Mukherjee 2016)	Optimal inventory model under stock and time dependent demand for time varying deterioration rate with shortage	EOQ	<i>Deterministic</i>	-	✓	-	✓

No	Peneliti	Judul	Model	Pola Permintaan	Emisi Karbon	Deteriorasi Produk	Biaya Transportasi Pemasok	Permintaan dipengaruhi oleh stok
24	(Ghosh et al. 2016)	Optimizing a two-echelon serial supply chain with different carbon policies	JELS	<i>Deterministic</i>	✓	-	✓	-
25	(Bouchery et al. 2017)	Impact of coordination on cost and carbon emission for a two-echelon serial economic order quantity problem	JELS	<i>Deterministic</i>	✓	-	✓	-
26	(Ghosh et al. 2017a)	Optimal lot-sizing under strict carbon cap policy stochastic demand	JELS	<i>Stochastic</i>	✓	-	✓	-
27	(Alfares and Attia 2017)	A supply chain model with vendor-managed inventory, consignment, and quality inspection errors	VMIC	Deterministic	-	-	-	-
28	(Akbari Kaasgari et al. 2017)	Optimizing a vendor managed inventory (VMI) supply chain for perishable products by considering discount: two calibrated meta-heuristic algorithms	VMI	Uncertain	-	✓	-	✓
29	(Hemmati et al. 2017)	Vendor managed inventory with consignment stock for supply chain with stock and price dependent demand	VMIC	<i>Deterministic</i>	-	✓	-	-
30	(Ghosh et al. 2018)	Collaborative model for a two-echelon supply chain with uncertain demand under carbon tax policy	JELS	<i>Uncertain</i>	✓	-	✓	-
31	(Daryanto & Wee, 2018)	Single Vendor-Buyer Integrated Inventory Model for Deteriorating Items Considering Carbon Emission	JELS	<i>Deterministic</i>	✓	✓	✓	-
32	(Tiwari et al. 2018)	Sustainable inventory management with deteriorating and imperfect quality items considering carbon emission	JELS	<i>Deterministic</i>	✓	✓	✓	-

No	Peneliti	Judul	Model	Pola Permintaan	Emisi Karbon	Deteriorasi Produk	Biaya Transportasi Pemasok	Permintaan dipengaruhi oleh stok
33	(Pour and Ghobadi 2018)	Optimal selling price, replenishment lot size and number of shipment for two echelon supply chain model with deteriorating items	JELS	<i>Deterministic</i>	-	✓	-	-
34	(Kumar & Uthayakumar, 2019)	Modelling on vendor-managed inventory policies with equal and unequal shipments under GHG emission-trading scheme	VMI	<i>Deterministic</i>	✓	-	✓	-
35	(Bai et al. 2019)	Effect of carbon emission reduction on supply chain coordination with vendor managed deteriorating product inventory	VMI	<i>Deterministic</i>	✓	✓	-	-
36	(Viani Trinanda Adi Nugroho and Ming 2019)	Supply chain coordination under vendor managed inventory system considering carbon emission for imperfect quality deteriorating item	VMI	<i>Deterministic</i>	✓	✓	✓	-
37	(Hariga et al. 2019)	Operational and environmental decisions for a two-stage supply chain under vendor managed consignment inventory partnership	VMIC	<i>Deterministic</i>	-	✓	-	-
38	(Sen, Bardhan, and Giri 2021).	Effectiveness of consignment stock policy under space limitation and deterioration	JELS, Consignment	<i>Deterministic</i>	✓	-	✓	-
39	(Palanivel and Suganya 2022)	Partial backlogging inventory model with price and stock level dependent demand, time varying holding cost and quantity discounts	EOQ	<i>Deterministic</i>	-	-	-	✓

No	Peneliti	Judul	Model	Pola Permintaan	Emisi Karbon	Deteriorasi Produk	Biaya Transportasi Pemasok	Permintaan dipengaruhi oleh stok
40	(Astanti, Daryanto, and Dewa 2022)	Low-carbon supply chain model under a vendor-managed inventory partnership and carbon cap-an-trade policy	VMI	<i>Deterministic</i>	✓	✓	✓	-
41	Asri Novia Sahraen	Minimasi total biaya integrasi vendor management inventory consignment (VMIC) pada produk deteriorasi dengan mempertimbangkan emisi karbon	VMIC	<i>Deterministic</i>	✓	✓	✓	✓

2.2 Landasan Teori

Kajian deduktif merupakan landasan teori yang digunakan sebagai acuan untuk memecahkan masalah dalam penelitian.

2.2.1 Sistem Persediaan (*Inventory*)

Sistem persediaan adalah item-item yang disimpan dalam sebuah gudang penyimpanan untuk memenuhi permintaan konsumen dimasa yang akan datang. *Inventory* berfungsi sebagai penyangga dalam dua proses kegiatan yaitu dalam proses produksi dan proses pemenuhan permintaan konsumen. Tujuan dari persediaan adalah untuk memenuhi permintaan barang yang disimpan agar dapat meningkatkan pelayanan. Sistem pengendalian persediaan berupaya untuk meminimalkan biaya persediaan dalam tingkat pelayanan.

1. Tujuan pengendalian *inventory*;
 - a. Memastikan pasokan produk pada konsumen memadai dan menghindari terjadinya *shortage*
 - b. Memastikan bahwa investasi keuangan dalam *inventory* seminial mungkin (misalnya; modal kerja yang dikeluarkan seminial mungkin)
 - c. Efisiensi pembelian, penyimpanan, konsumsi dan perhitungan material yang penting
 - d. Menjaga catatan *inventory* semua item tepat waktu dan menjaga stok pada batas yang diinginkan.
 - e. Memastikan replenishment dengan cepat
 - f. Menyediakan stok cadangan untuk variasi waktu pengiriman bahan baku
 - g. Meberikan dasar ilmiah untuk perencanaan material jangka panjang dan jangka pendek
2. Keuntungan pengendalian *inventory*;
 - a. Peningkatan hubungan dengan konsumen karena pengiriman barang tepat waktu dan pelayan baik
 - b. Produksi lancar tanpa ada gangguan karena tidak ada *stock out*
 - c. Pemanfaatan modal kerja secara efisiensi, membantu meminimalkan kerugian karena kerusakan, usang dan pencurian

- d. Ekonomis dalam pembelian
 - e. Menghilangkan kemungkinan pemesanan ganda
3. Fungsi *inventory* berdasarkan (Stevenson, 1996);
- a. Untuk mengantisipasi permintaan
 - b. Untuk memenuhi persyaratan produksi
 - c. Untuk memisahkan komponen dari sistem produksi-distribusi
 - d. Untuk mengantisipasi terjadinya stockouts
 - e. Untuk mendapatkan keuntungan dari siklus pemesanan
 - f. Untuk mengurangi peningkatan harga atau mendapatkan keuntungan dari diskon
 - g. Untuk mengizinkan operasi
4. Elemen biaya dalam *inventory* berdasarkan Ghiani et al., (2004);
- a. Biaya pengadaan (*Procurment cost*) adalah biaya yang terkait dengan akuisi produk. Biaya ini terdiri dari ;
 - 1) Biaya pesan (*Fixed cost*)
 - 2) Biaya pembelian (*Variable cost*)
 - 3) Transoprtasi
 - 4) Biaya handling produk ketika diterima
 - b. Biaya simpan (*Holding cost*) merupakan biaya simpan material atau produk selama beberapa periode waktu. Biaya ini terdiri dari;
 - 1) *Opportunity cost*
 - 2) Biaya gudang
 - c. *Shortage cost* merupakan biaya yang dikeluarkan ketika tidak memenuhi pesanan konsumen. Biaya ini terdiri dari;
 - 1) *Lost sales cost*
 - 2) *Back order cost*
 - d. *Obsolescence cost* merupakan biaya yang dikeluarkan ketika nilai barang hilang dari waktu ke waktu.
5. Klasifikasi *inventory* berdasarkan kriteria (Ghiani et al., 2004)
- a. *Deterministics models*
 - b. *Stochastic models*

- c. *Fast moving items*
- d. *Slow moving items*
- e. *Number of stocking points*
- f. *Number of commodities*
- g. *Instantaneous resupply*
- h. *Noninstantaneous resupply*

Vendor Management Inventory (VMI) adalah kebijakan umum dari *supply chain management* untuk mengurangi *bullwhip effects* (Sadeghi et al., 2013), VMI merupakan strategi yang efektif untuk meningkatkan kinerja manajemen inventory pada system supply chain (Bernstein et al., 2006, Govindan, 2015). *Vendor management inventory* (VMI) secara signifikan lebih efektif digunakan untuk menekan permintaan yang bersifat fluktuatif disebabkan oleh tingkat diskon dan harga yang ditawarkan. Dengan menggunakan sistem VMI, *vendor* bertanggung jawab terhadap *inventory retailer*. *Vendor Management Inventory* (VMI) merupakan teknik *Just In Time* (JIT) dimana keputusan penggantian *inventory* dipusatkan pada manufaktur hulu atau distributor (Lysons & Farrington, 2016). Pada system VMI, *vendor* mengelola dan memonitor *inventory* dan jumlah pesanan retail. Berdasarkan Lysons & Farrington (2016) VMI meliputi;

- a. *Continouus replenishment programs* (CRP)
- b. *Supplier-assited inventroy management* (SAIM)
- c. *Supplier-assited inventory replenishmet* (SAIR)
- d. *Efficient consumer response* (ECR)

Adapun keuntungan dan kekurangan VMI berdasarkan Lysons & Farrington, (2016);

- a. Keuntungan *Vendor Management Inventory* (VMI)
 - 1) Keuntungan bagi *vendor*
 - a) Peraan permintaan, informasi VMI meningkatkan perkiraan kebutuhan *retailer*, dengan demikian memungkinkan *vendor* untuk merencanakan produksi dalam rangka memenuhi kebutuhan *retailer*.
 - b) Hubungan jangka panjang dengan *retailer*, karena biaya tinggi yang dikeluarkan *retailer* beralih ke *vendor*

- c) Peningkatan fleksibilitas operasional yang memungkinkan waktu dan jumlah produksi disesuaikan.
- 2) Keuntungan bagi *retailer*
 - a) Mengurangi biaya administrasi untuk memonitor tingkat *inventory*, memasukkan data ke komputer dan melakukan pemesanan ulang
 - b) Peningkatan modal kerja karena berkurangnya *inventory* produk usang dan peningkatan perputaran saham dengan peningkatan arus kas
 - c) Mengurangi *lead time* penjualan dan mengurangi daftar penjualan yang mengalami *stockout*.
- b. Kekurangan *Vendor Management Inventory* (VMI)
 - 1) Kekurangan bagi *vendor*
 - a) Transfer biaya dari *retailer* ke *vendor*, termasuk biaya administrasi dan *inventory* yang meningkat untuk memenuhi permintaan *retailer*.
 - b) Mengurangi modal kerja karena peningkatan biaya administrasi dan *inventory*.
 - 2) Kekurangan bagi *retailer*
 - a) Peningkatan resiko ketergantungan pada *vendor*
 - b) Pemberian informasi yang bersifat sensitif terhadap *vendor*, dengan memperoleh informasi tersebut, *vendor* memiliki posisi kuat ketika kontrak dinegsiasi ulang
 - c) *Retailer* diposisikan lebih dari pada *vendor* dalam keputusan pengisian ulang.

Sedangkan manfaat VMI bagi *retailer* dan *vendor* berdasarkan Achabal et al., (2000);

- a. Manfaat VMI bagi *retailer*
 - 1) Manajemen *inventory* lebih efektif dan mengurangi ketidakpastian *turnover inventory* serta meningkatkan pelayanan konsumen.
 - 2) Menghemat biaya dengan perkiraan pelayanan penjualan dan manajemen persediaan.
- b. Manfaat VMI bagi *vendor*

- 1) Meningkatkan ketersediaan merek pada toko *vendor* dibandingkan dengan merek pesaing serta memenuhi anggaran *retailer* untuk pembelian.
- 2) Mengandalkan data penjualan aktual sehingga dapat mencegah terjadinya *bullwhip effect*.
- 3) Mengurangi peluang dan insentif terjadinya *game theory*, misalnya *retailer* dengan sengaja menaikkan pesanan ketika persediaan produk terbatas dan sebagian dialokasikan oleh *vendor*.

2.2.2 Algoritma Genetika

Algoritma genetik adalah sebuah metode penyelesaian masalah yang menggunakan genetik sebagai model dalam penyelesaian masalah (Sivanandam & Deepa, 2008). Algoritma genetika adalah jenis algoritma yang digunakan untuk menemukan solusi optimal dalam masalah komputasi yang sulit, didasarkan pada analogi proses reproduksi biologis (Carter & price, 2001). Analogi algoritma genetika dipengaruhi oleh fenomena alam, sama seperti teori evolusi biologis yang dikenalkan oleh Charles Darwin pada abad ke 19 (Hiller & Lieberman, 2010). Algoritma genetika beroperasi secara iteratif, selama banyak “generasi” sedemikian rupa, sehingga solusi yang paling “cocok” bertahan, sehingga algoritma ini berfungsi sebagai mekanisme optimasi (Carter & price, 2001).

Algoritma genetika beroperasi untuk mempertahankan populasi pada kondisi *feasible* dalam sebuah masalah (Carter & price, 2001). Setiap solusi masalah yang *feasible* dianggap sebagai kromosom yang kemudian diberikan seperangkat kode gen. Kode gen umum dengan menggunakan bilangan biner (0,1). Apabila N solusi *feasible* merupakan populasi dengan kromosom N, maka kecocokan kromosom diukur dengan fungsi objektif yang sesuai. Kromosom yang cocok menghasilkan nilai fungsi objektif yang lebih baik (Taha, 2017). Skema seleksi proporsional mendukung lebih besar sejumlah solusi yang cocok, memungkinkan solusi yang cocok dipilih lebih dari satu kali dan solusi yang lemah dikecualikan sepenuhnya (Carter & price, 2001).

Setelah pasangan kromosom terbentuk secara acak dan mengalami manipulasi genetik tertentu yaitu modifikasi gen dalam kromosom induk. *Crossover* merupakan proses menukar informasi genetik yang terkandung dalam dua kromosom. Sifat *crossover* adalah aplikasi spesifik yang harus dilakukan sedemikian rupa sehingga menghasilkan string yang sesuai dari solusi masalah yang bermakna dan *feasible*. Pada proses rekomendasi diperbolehkan memperbiki blok-blok pembangun genetika, tetapi kadang-kadang secara tidak langsung mengganggu genetik yang menguntungkan dalam struktur (Carter & price, 2001). Beberapa metode yang digunakan untuk mengimplementasikan crossover (Taha, 2017);

- a. *Uniform crossover*, dalam aturan ini gen umum orang tua berlaku untuk kedua anaknya. Gen yang tersisa untuk satu anak, ditentukan secara acak dengan gen anak yang lainnya untuk mendapatkan komplemen gen.
- b. *One-point crossover*. Pada aturan ini, gen orang tua P1 dan P2 dibagi secara acak pada titik yang sama dan kemudian ditukar yakni $P1 = (P11, P12)$ dan $P2 = (P21, P22)$ menghasilkan kromosom anak $C1 = (P11, P22)$ dan $C2 = (P21, P12)$.
- c. *Multipoint crossover*. *Crossover* ini merupakan perluasan dari *one-point crossover* ke beberapa point secara random, misalnya $P1 = (P11, P12, P13)$ dan $P2 = (P21, P22, P23)$ menghasilkan kromosom anak $C1 = (P11, P22, P13)$ dan $C2 = (P21, P12, P23)$.

Mutasi adalah pembalikan secara acak dari satu atau lebih bit dalam kromosom. Mutasi jarang digunakan, tetapi memiliki efek memasukkan kembali bit kedalam string yang penting untuk solusi optimal dan tidak didapatkan dalam populasi pemuliaan. Mutasi memiliki peluang yang lebih tinggi sehingga cenderung pencarian genetika secara acak lebih luas, yang memperlambat konvergensi dalam proses algoritma (Carter & price, 2001).

2.2.3 Tinjauan Model (Hemmati, et al., 2018)

Pada tinjauan model dasar ini menggunakan model yang dikembangkan oleh (Hemmati et al. 2017). Penelitian ini mempertimbangkan integrasi *single vendor single buyer* pada *single* produk mengalami detorasi. Penelitian ini bertujuan untuk

menentukan total keuntungan sistem manajemen rantai pasok dibawah kebijakan vendor management inventory consigment. Pemasok akan menyimpan produk yang telah diproduksi di gudang pembeli, sesuai dengan kebijakan consigment. Selain menentukan tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan keuntungan masing-masing pemasok dan pembeli. Dari dua model ini akan didapat ketahui perbedaan tingkat keuntungan yang diperoleh berdasarkan sistem gabungan dengan sistem *independent*. Tingkat permintaan pembeli deterministik, dimana tingkat permintaan pembeli dipengaruhi oleh harga dan tingkat persediaan. Sementara itu, tingkat produksi pemasok lebih besar dari permintaan. Deteriorasi terjadi pada rak pembeli, karena kesalahan dalam perlakuan produk . Adapun notasi dan model (Hemmati et al. 2017) sebagai berikut:

Notasi Model (Hemmati et al., 2017):

- A_b : Biaya pesan pembeli, (\$/unit)
- A_v : Biaya *setup* pemasok, (\$/unit)
- a : Tingkat permintaan dasar, (unit/tahun)
- Q : Kuantitas pesan pembeli (unit)
- P : Tingkat produksi pemasok, $P > D$ (unit/tahun)
- h_v : Biaya simpan pemasok (\$/unit/tahun), $h_v = h_v^{fin} + h_v^{phy}$
- h_w : Biaya simpan di gudang pembeli (\$/unit/tahun), $h_w = h_w^{fin} + h_w^{phy}$
- h_n : Biaya simpan di bawah kebijakan *consigment* digudang pembeli, $h_n = h_v^{fin} + h_w^{phy}$, (\$/unit/tahun)
- h_b : Biaya simpan di rak pembeli, (\$/unit/tahun)
- θ : Tingkat deteriorasi $0 \leq \theta \leq 1$
- T_b : Panjang siklus di rak pembeli
- q : Ukuran lot pengiriman dari gudang ke rak pembeli, (unit)
- T_w : Panjang siklus di gudang pembeli
- T_v : Panjang siklus pemasok
- n_b : Jumlah pengiriman dari gudang pembeli ke rak pembeli
- n_v : Jumlah pengiriman dari pemasok ke gudang pembeli
- S : Biaya tetap pengiriman dari gudang ke rak pembeli, (\$/unit)

C_p : Biaya deteriorasi di rak pembeli, (\$/unit)

C_d : Kapasitas rak pembeli

Variabel keputusan pada model (Hemmati et al. 2017):

q = kuantitas pengiriman dari gudang pembeli ke rak pembeli

n_b = jumlah pengiriman dari gudang pembeli ke rak pembeli

n_v = jumlah pengiriman dari pemasok ke pembeli

Adapun kriteria performansi dari model (Hemmati et al. 2017):

TC : Total keuntungan

TC_p : Total biaya emisi sistem VMI

TC_b : Total keuntungan pembeli

TC_v : Total keuntungan pemasok

Adapun asumsi yang digunakan pada model (Hemmati et al. 2017) adalah sebagai berikut:

1. Model dengan satu pembeli satu pemasok. Deteriorasi produk diketahui dengan tingkat konstan setelah produk ditampilkan di rak pembeli, karena kondisi penyimpanan yang tidak tepat.
2. Kapasitas di rak pembeli dibatasi.
3. Tingkat permintaan bersifat deterministik dengan $D(t, u)$ merupakan fungsi dari tingkat stok $I(t)$ dan harga jual u . Dimana $D(t, u) = a - bu - \beta I(t)$ dengan $a > 0$, $b > 0$ dan $0 \leq \beta \leq 1$.
4. Tingkat produksi pemasok konstan dan lebih besar dari tingkat maksimum permintaan.
5. Pemantauan tingkat permintaan secara berkelanjutan. Pemasok akan mengirimkan kuantitas pesanan dalam n_v pada setiap pengiriman, dengan kuantitas Q pada setiap pengirimannya, n_v adalah bilangan integer.

6. Produk akan dikirim dari gudang pembeli ke rak pembeli dalam pengiriman n_b dengan ukuran lot q , dimana $Q = n_b q$ dan n_b adalah bilangan integer. Produk di kirim ketika tingkat stok di rak pembeli mencapai nol.
7. Tidak mengizinkan adanya kekurangan (*shortage*)
8. Panjang waktu siklus tidak terbatas dan tidak ada *lead time* pada setiap tahap
9. Biaya simpan pembeli lebih besar dari pemasok

2.2.3.1 Model Vendor Management Inventory Consignment

Berdasarkan gambar 2.1, dapat dilihat tingkat persediaan pada pemasok, gudang pembeli dan rak pembeli. Sesuai dengan asumsi yang digunakan bahwa tingkat produksi pemasok P adalah konsatan dengan ukuran pengiriman ke pembeli sebesar Q , setelah diproduksi. Pembeli akan mengirim produk setiap siklus ke rak pembeli dengan jumlah pengiriman n_b dengan ukuran lot pengiriman q . Panjang siklus pemasok yaitu T_v , sedangkan panjang siklus di gudang dan rak pembeli yaitu masing-masing T_w dan T_b , oleh karena itu $T_v = T_w = n_v n_b T_d$. Pengiriman produk dari gudang pembeli ke rak pembeli ketika tingkat persediaan di rak pembeli mencapai nol. Artinya tingkat persediaan di rak pembeli q pada saat $t = 0$ dan akan semakin menurun sampai mendekati nol saat T_d . Tingkat persediaan menurun karena deteriorasi, oleh karena itu permintaan berpengaruh pada harga dan tingkat persediaan.

Dengan menggunakan fungsi difrensial dapat diketahui tingkat persediaan pada rak pembeli. Adapun tingkat persediaan pada rak pembeli sebagai berikut:

$$\frac{dI(t)}{dt} = -D - \theta I(t) = -a + bu - \beta I(t) - \theta I(t) dt, \quad 0 < t < T_d \quad (2.1)$$

Dengan mengaplikasikan kondisi $I(0) = q$, dari persamaan diatas didapatkan

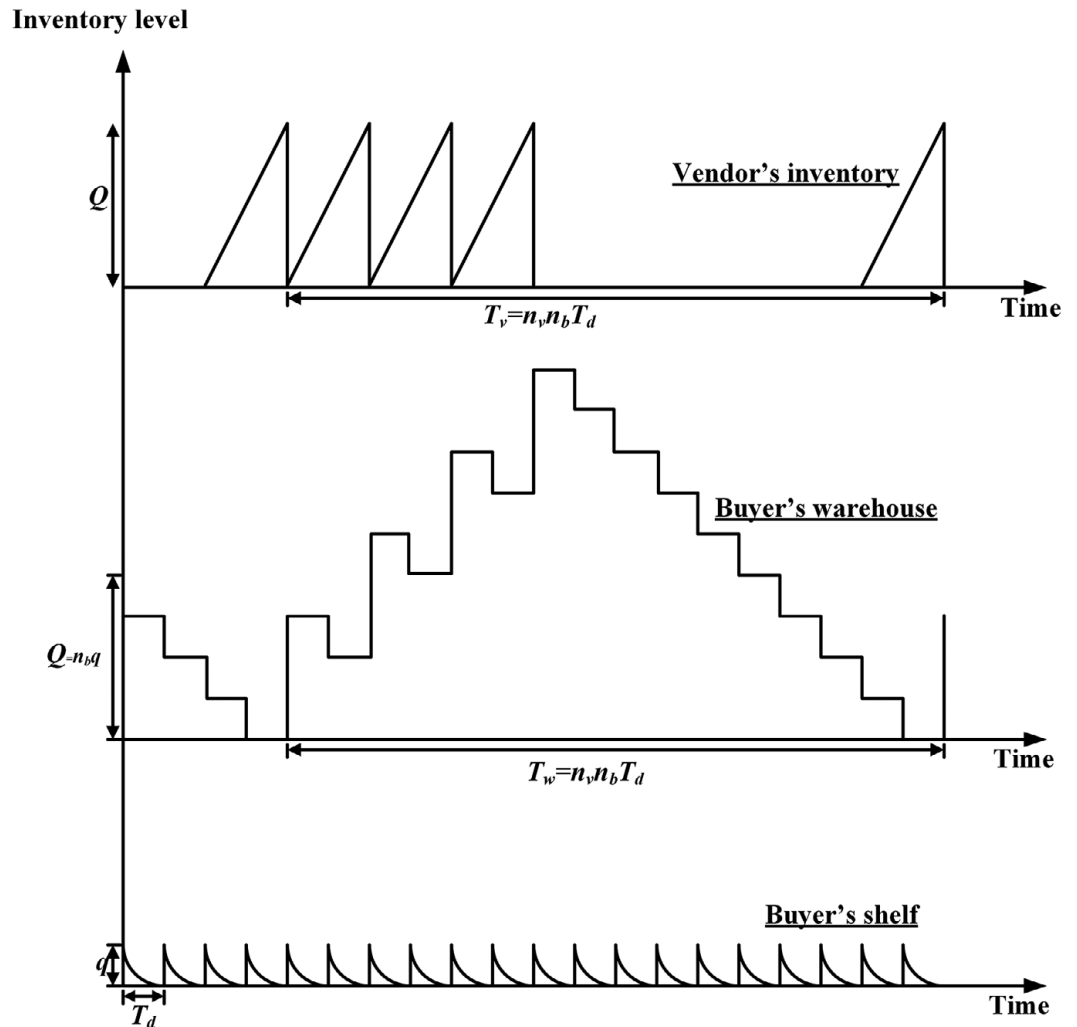
$$I(t) = \frac{e^{-t(\theta+\beta)}(a-bu+q(\theta+\beta))-a+bu}{(\theta+\beta)} \quad (2.2)$$

Berdasarkan fungsi eksponensial dapat diterapkan approksimasi Macluarin series untuk ketentaun kondisi pertama dan kedua, sehingga persamaan (2.2) menjadi

$$I(t) = -\frac{a-bu}{(\theta+\beta)} + (1 - t(\theta + \beta)) \left(q + \frac{a-bu}{(\theta+\beta)} \right) \quad (2.3)$$

Tingkat stok pada saat akhir dari T_d adalah nol, maka $I(T_d) = 0$, sehingga didapatkan

$$T_d = \frac{q}{a - bu + q(\theta + \beta)} \quad (2.4)$$



Gambar 2.1 Tingkat persediaan pada saat t pada model VMIC

Total biaya koordinasi model dari dua komponen yaitu pemasok dan pembeli, sehingga didapatkan model *vendor management inventer*. Adapun komponen biaya pada model ini sebagai berikut.

1. Rata-rata biaya setup pemasok

$$\frac{A_v}{T_v} = \frac{A_v}{n_v n_b T_d} \quad (2.5)$$

2. Rata- rata biaya pesan pembeli

$$\frac{A_b}{n_b T_d} \quad (2.6)$$

3. Biaya kirim pembeli

$$\frac{S}{T_d} \quad (2.7)$$

4. Biaya simpan

Berdasarkan gambar 2.1, dapat diketahui rata-rata tingkat persediaan pemasok sebagai berikut:

$$I_v = \left[n_v((n_b - 1)qT_d + (n_b - 2)qT_d + \dots + qT_d) + \left(n_b T_d - \frac{Q}{P} \right) n_b q + \left(2n_b T_d - 2\frac{Q}{P} \right) n_b q + \dots + n_b q \left((n_v - 1)n_b T_d - (n_v - 1)\frac{Q}{P} \right) \right] \quad (2.8)$$

$$I_v = \left[n_v q T_d \frac{n_b(n_b - 1)}{2} + \frac{n_b q(n_v - 1)n_v}{2} \left(n_b T_d - \frac{Q}{P} \right) \right]$$

Sehingga didapatkan rata-rata biaya simpan di gudang pembeli, dibawah kebijakan *consignment*, sebagai berikut:

$$\frac{h_v n_v Q^2}{2P T_v} = \frac{h_v Q^2}{2P n_b T_d} \quad (2.9)$$

5. Biaya simpan pembeli

$$\begin{aligned} & \frac{h_b}{T_d} \int_0^{T_d} I(t) dt \\ &= \frac{h_b q^2}{2(a+q(\theta+\beta))T_d} \end{aligned} \quad (2.10)$$

6. Biaya deteriorasi

$$\begin{aligned} & C_p \theta \int_0^{T_d} I(t) dt \\ &= \frac{C_p \theta q^2}{2(a+q(\theta+\beta))T_d} \end{aligned} \quad (2.11)$$

Dari komponen-komponen biaya diatas, maka didapatkan total keuntungan sistem koordinasi dengan kebijakan VMIC, sebagai berikut:

$$\begin{aligned} TPC(q, u, n_v, n_b) &= \frac{uq}{T_d} - \frac{1}{T_d} \left(\frac{A_v}{n_v n_b} + \frac{A_b}{n_b} + S \right) - \frac{h_v Q^2}{2P n_b T_d} - \frac{h_n q}{2T_d} \left[(n_b n_v - 1)T_d + \right. \\ & \left. \frac{(n_v - 1)Q}{P} \right] - \frac{h_b q^2}{2(a+q(\theta+\beta))T_d} - \frac{C_p \theta q^2}{2(a+q(\theta+\beta))T_d} \end{aligned} \quad (2.12)$$

Substitusi $T_d = \frac{q}{a-bu+q(\theta+\beta)}$ dan $Q = n_b q$ kedalam persamaan (2.12), sehingga didapatkan:

$$\begin{aligned}
 TC(q, n_b, n_v) &= \frac{(a + q(\theta + \beta)) \left(\frac{A_v}{n_v n_b} + \frac{A_b}{n_b} + S + \frac{(tf + 2dt_v c_1 + dt_v c_2 b n_b q)}{n_b} \right)}{q} \\
 &+ \frac{h_v n_b q (a + q(\theta + \beta))}{2P} \\
 &+ \frac{h_n}{2} \left[(a + q(\theta + \beta)) \left(\frac{(n_b n_v - 1)q}{(a + q(\theta + \beta))} - \frac{(n_v - 1n_b q)}{P} \right) \right] + \frac{h_b q}{2} \\
 &+ \frac{C_p \theta q}{2}
 \end{aligned}$$

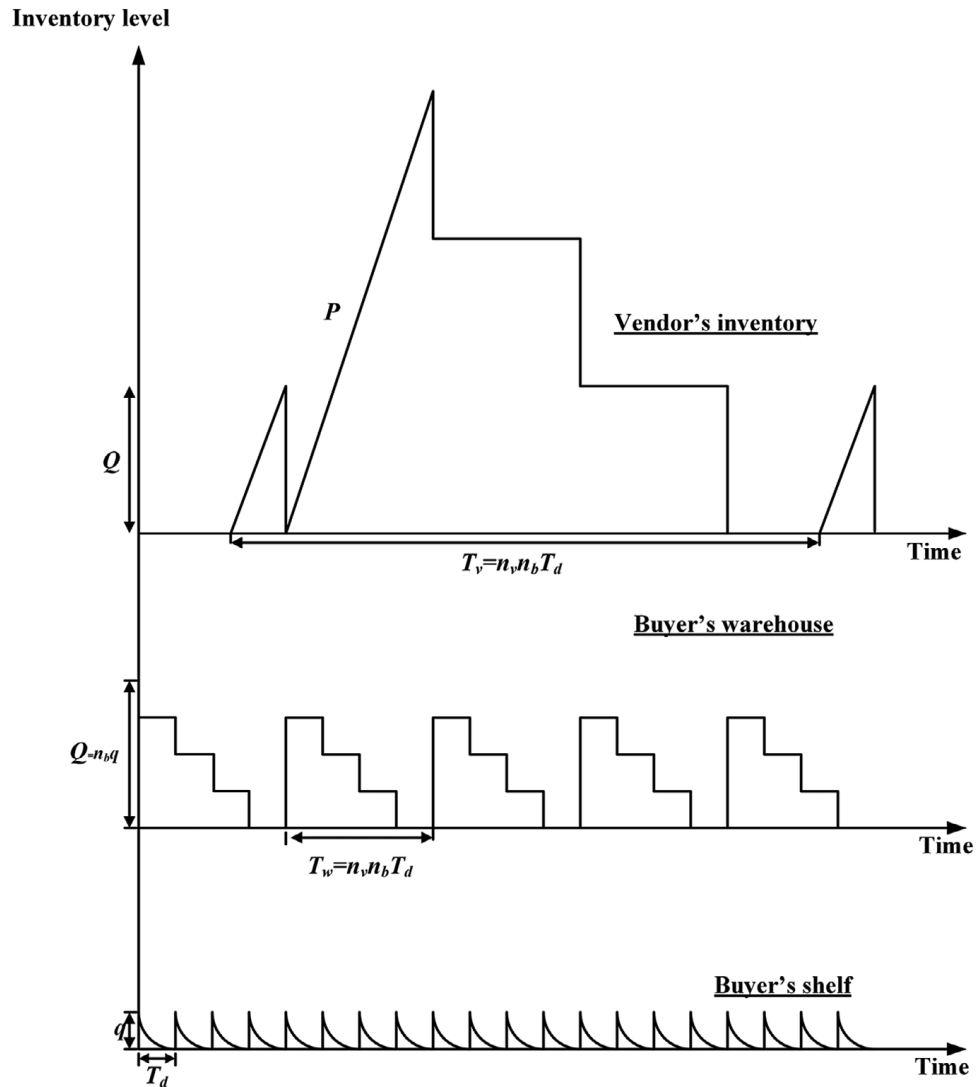
Untuk menentukan solusi optimal permasalahan diatas, maka fungsi diatas dapat dimaksimasi menjadi:

$$\text{Maximise } TPC(q, u, n_v, n_b)$$

dengan batasa:

$$\begin{aligned}
 1 &\leq q \leq C_d \\
 0 &\leq u \leq (a + q\beta)/b \\
 n_b &\geq 1, n_v \geq 1 \\
 n_b, n_v &\text{ integer}
 \end{aligned}$$

2.2.3.2 Model Independent Pemasok dan Pembeli



Gambar 2.2 Tingkat persediaan dibawah kebijakan *independent*

1. Model Pembeli

Berdasarkan gambar 2.2 dapat diuraikan biaya simpan di gudang pembeli, sebagai:

$$\frac{h_w}{T_w} \left(\frac{n_b(n_b-1)qT_d}{2} \right) \quad (2.14)$$

Sedangkan rata-rata tingkat persediaan pembeli:

$$\int_0^{T_d} I_b(dt) = \frac{q^2}{2(a+q(\theta+\beta))} \quad (2.15)$$

Total biaya pembeli terdiri dari biaya pesan, biaya simpan di gudang, biaya pengiriman, biaya simpan di rak dan biaya deteriorasi. Sehingga dapat ditulis model matematis keuntungan pembeli sebagai, dengan $T_v = n_v T_w = n_v n_b T_d$

$$\begin{aligned} TP_b = & (u - c)(a - bu + q(\theta + \beta)) - \frac{A_b(a-bu+q(\theta+\beta))}{n_b q} - \frac{S(a-bu+q(\theta+\beta))}{q} - \\ & \frac{c_p \theta q^2(a-bu+q(\theta+\beta))}{2q} - \frac{h_b q^2(a-bu+q(\theta+\beta))}{2q} - \frac{h_w(n_b-1)q}{2} \end{aligned} \quad (2.16)$$

2. Model Pemasok

Rata-rata persediaan pemasok dikutip dari (Sajadieh, et al., 2010).

$$I_v(t) = \frac{1}{T_v} \left(\left(n_v Q \left(\frac{Q}{P} + \frac{(n_v-1)}{n_v} T_v \right) - \frac{n_v^2 Q^2}{2P} \right) - \left(\frac{T_v Q}{n_v} (1 + 2 + \dots + (n_v - 1)) \right) \right)$$

$$I_v(t) = \frac{Q}{2} \left((n_v - 1) \left(1 - \frac{n_v Q}{T_v P} \right) + \frac{n_v Q}{T_v P} \right) \quad (2.17)$$

$TP_v =$ biaya setup + biaya transportasi + biaya simpan

$$TP_v = \frac{cn_v Q}{T_v} - \frac{A_v}{T_v} - \frac{h_v Q}{2} \left((n_v - 1) \left(1 - \frac{n_v Q}{T_v P} \right) + \frac{n_v Q}{T_v P} \right) \quad (2.18)$$

Substitusi $T_d = \frac{q}{a-bu+q(\theta+\beta)}$ dan $Q = n_b q$ kedalam persamaan (2.12), sehingga didapatkan

$$\begin{aligned} TP_v = & C(a - bu + q(\theta + \beta)) - \frac{A_v(a-bu+q(\theta+\beta))}{n_v n_b q} - \frac{h_v n_b q}{2} \left((n_v - 1) \left(1 - \right. \right. \\ & \left. \left. \frac{(a-bu+q(\theta+\beta))}{P} \right) + \frac{(a-bu+q(\theta+\beta))}{P} \right) \end{aligned} \quad (2.19)$$

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Pada Bab ini menjelaskan tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian. Adapun tahapan dalam penelitian dibagi menjadi tiga *subbab* penelitian yaitu (*subbab 3.1*) menyajikan tentang objek dan subjek penelitian, (*subbab 3.2*) menyajikan diagram alir penelitian dan kerangka berpikir penelitian dan (*subbab 3.3*) menyajikan karakteristik sistem dan pengembangan model matematis.

3.1. Objek dan Subjek Penelitian

3.1.1. Objek Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada perusahaan X dan Y, dimana perusahaan X selaku pemasok dan perusahaan Y selaku pembeli. Pada penelitian ini akan dikembangkan model yang mengintegrasikan pemasok tunggal dan pembeli tunggal untuk satu produk yang mudah mengalami penurunan kualitas. Jenis produk kaleng merupakan jenis produk *non-perishabel* yang memiliki umur simpan lebih dari 1 tahun. Akan tetapi produk ini mudah mengalami deteriorasi akibat kesalahan penanganan, mikroorganisme, suhu udara yang tidak sesuai, kebocoran gas. Pada penelitian ini, produk yang menjadi objek penelitian adalah ikan sarden kaleng, dimana produk ini merupakan mudah mengalami deteriorasi, baik perubahan fisik maupun bentuk karena kesalahan penanganan.

3.1.2. Variabel Penelitian

Penelitian ini dikhususkan pada sistem persediaan perusahaan X dan Y. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan total biaya optimal gabungan antara pemasok dan pembeli dibawah kebijakan *vendor management inventory consignment* yang selanjutnya disingkat menjadi VMIC. Selain itu, penelitian ini juga mempertimbangkan emisi karbon, batas karbon dan pajak karbon yang harus dikeluarkan. Selanjutnya penelitian ini juga menghitung masing-masing total biaya pemasok, biaya pembeli. Tingkat produksi pemasok dianggap tetap dan lebih besar dari tingkat maksimum permintaan. Pemasok akan mengirimkan produk dengan ukuran pengiriman Q , dengan jumlah n_v pada setiap *bacth*. Variabel yang

keputusan dalam penelitian ini adalah menentukan ukuran *lot* pengiriman optimal q dari gudang pembeli ke rak pembeli dengan jumlah pengiriman n_b , dan jumlah pengiriman dari pemasok ke pembeli n_v , dimana n_v dan n_b adalah integer.

3.2. Langkah Penelitian

Adapun langkah-langkah dalam penelitian ini sebagai berikut:

3.2.1. Tinjauan Literatur

Tinjauan literatur merupakan tinjauan komprehensif dari penelitian sebelumnya. Langkah ini dilakukan untuk menelaah mengenai permasalahan yang sesuai dengan topik penelitian. Proses ini dilakukan dengan menelaah berbagai sumber jurnal, buku, teks, hasil seminar nasional maupun internasional dan beberapa penelitian yang relevan dengan topik yang diteliti. Tinjauan literatur bertujuan untuk menggali informasi lebih dalam tentang permasalahan yang berkembang dalam penelitian terkait.

3.2.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan tinjauan literatur dan permasalahan dari obyek penelitian yang telah dipaparkan sehingga ditemukan permasalahan yang akan diteliti pada penelitian ini. Selanjutnya permasalahan tersebut dirumuskan untuk menjadi topik penelitian. Pokok permasalahan dari penelitian ini adalah menentukan total biaya optimal sistem VMIC dan sistem VMIC dibawah kebijakan emisi karbon. Selain itu juga menentukan total biaya masing-masing antara pembeli dan pemasok. Penelitian ini juga menghitung batas karbon dan pajak karbon dari sistem VMIC dan masing-masing dari pemasok pembeli.

3.2.3. Pengembangan dan Verifikasi Model

Pada tahapan ini akan dibangun model matematika yang akan menjadi fokus penelitian. Langkah awal dalam pengembangan model adalah menjelaskan karakteristik sistem relevan yang diperoleh dari identifikasi sistem, kemudian membuat desain model berdasarkan parameter-parameter yang akan digunakan. Hasil dari identifikasi didapatkan asumsi-asumsi yang dapat dikembangkan dalam model matematis, yaitu model gabungan *vendor management inventory consignment*. Model ini juga memepertimbangan emisi karbon yang dihasilkan dari

aktivitas sistem rantai pasok. Langkah selanjutnya adalah melakukan verifikasi model yang telah dibangun apakah sesuai dengan keinginan yang akan ditentukan baik itu variabel keputusan maupun kriteria performansi. Setelah dilakukan pembangunan model tersebut, maka langkah selanjutnya adalah melakukan pengembangan pencarian solusi dengan algoritma.

3.2.4. Implementasi Model

1. Pengumpulan Data

Jenis dan sumber data yang diperoleh dalam penelitian ini adalah data sekunder. Data sekunder merupakan data yang didapatkan secara tidak langsung dan melalui studi pustaka, literatur-literatur, kumpulan bank data dan sumber lainnya. Pada penelitian ini data-data yang diperlukan yaitu data pemasok dan pembeli. Adapun data pemasok sebagai berikut;

- a. Data produksi,
- b. Biaya *setup*,
- c. Biaya simpan pemasok,
- d. Biaya transportasi.

Sedangkan data yang dibutuhkan oleh pembeli terdiri dari;

- a. Data permintaan,
- b. Biaya pesan,
- c. Biaya simpan pembeli digudang,
- d. Biaya simpan pembeli di rak,
- e. Biaya transfer dari gudang ke rak
- f. Biaya detorasi.

2. Pengolahan Data

Data-data yang telah didapatkan selanjutnya dilakukan pengolahan data dengan mengimplementasikan data tersebut kedalam model matematis yang telah dibuat. Perhitungan data berdasarkan nilai riil dan modifikasi beberapa data.

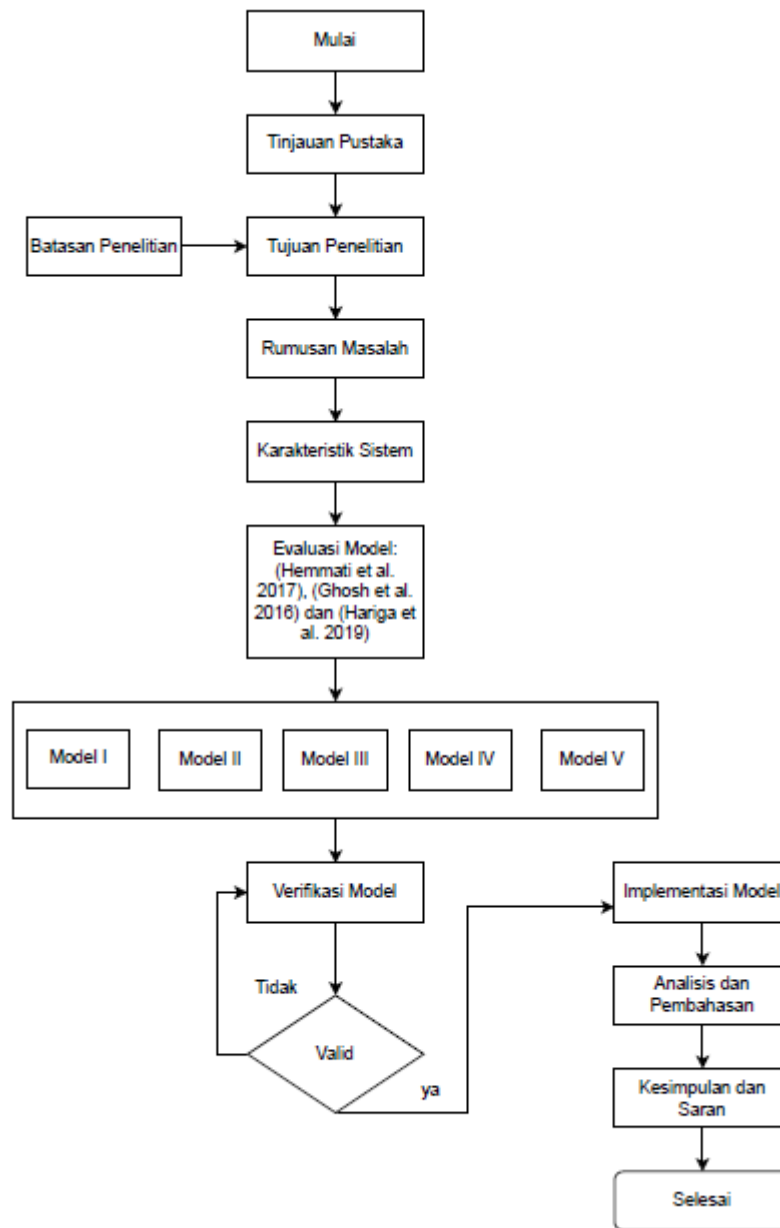
3. Analisis dan Pembahasan

Hasil yang diperoleh dari implementasi dan pengolahan data, selanjutnya akan dianalisis dan dilakukan pembahasan. Analisis dilakukan dengan menggunakan analisis sensitivitas dengan menguji perubahan tiap parameter terhadap variabel keputusan dan kriteria performansi. Sementara itu, pembahasan dilakukan dengan menjelaskan perbandingan hasil pengolahan data riil dan modifikasi parameter serta penelitian sebelumnya yang mendukung hasil.

3.2.5. Kesimpulan dan Saran

Tahapan ini merupakan tahapan akhir dari proses penelitian. Pada tahapan ini akan disimpulkan proses pengembangan model dan hasil yang diperoleh, selanjutnya akan diberikan rekomendasi atau saran untuk pengembangan model selanjutnya.

Adapun *flowchart* langkah penelitian secara lengkap pada Gambar 3.1 dibawah ini.

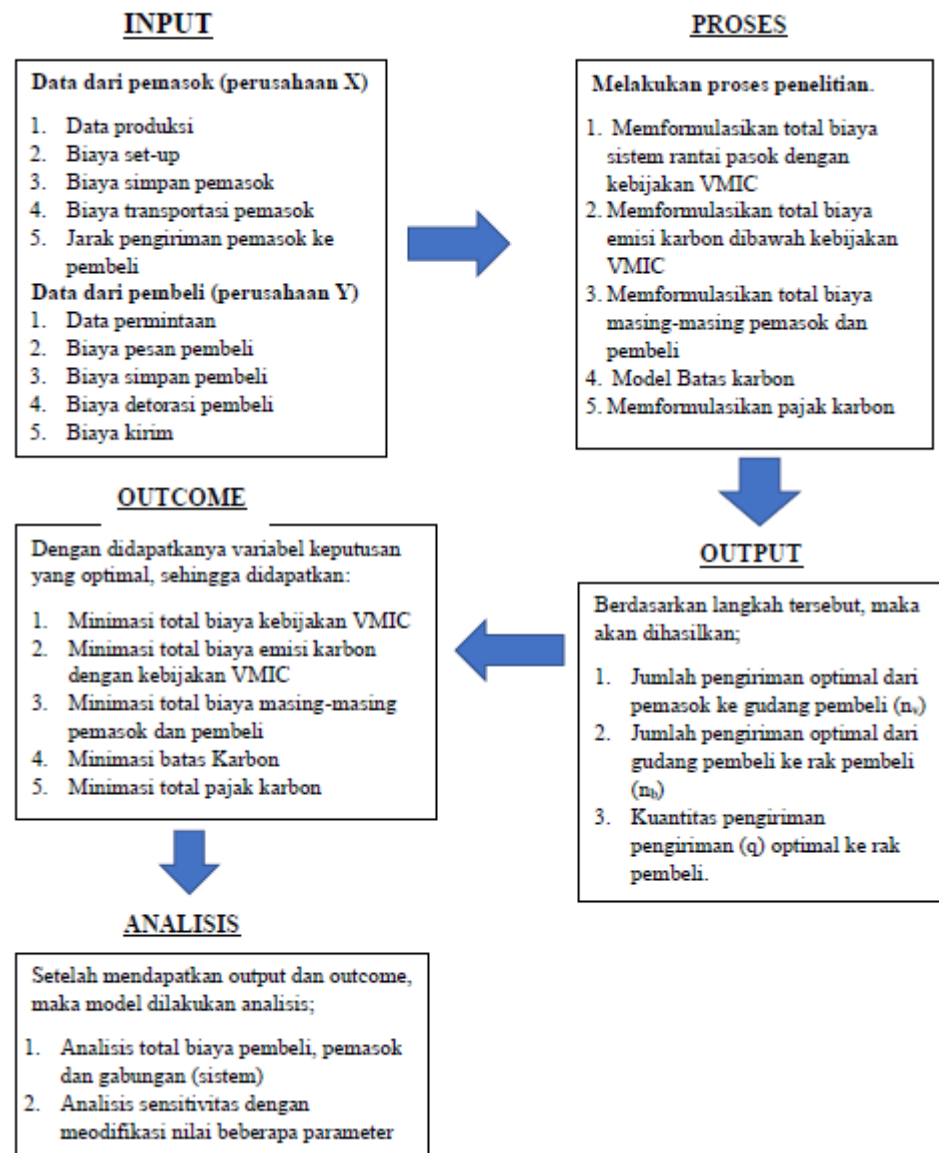


Gambar 3.1 *Flow Chart* Penelitian

3.3. Kerangka Pikir Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah mencari solusi optimal dalam sistem persediaan rantai pasok dua eselon yang terdiri dari pemasok tunggal dan pembeli tunggal pada produk yang mudah mengalami deteriorasi dengan permintaan deterministik dan dipengaruhi oleh tingkat persediaan. Selain itu, penelitian ini juga mempertimbangkan emisi yang dihasilkan dari aktivitas penyimpanan dan

transportasi. Penelitian ini mengembangkan lima model dari model dasar. Berikut adalah gambar 3.2 kerangka pikir penelitian.



Gambar 3.2 Krangka Pikir Penelitian

3.4. Karakteristik Sistem

Penelitian ini merupakan studi literatur dengan mengembangkan model matematis berdasarkan literatur *riview* dari penelitian sebelumnya. Pada penelitian ini dimisalkan sebuah perusahaan manufaktur yang bergerak dalam produksi ikan sarden kaleng. Ikan sarden kaleng merupakan salah satu produk *non-perishable*

karena memiliki umur penyimpanan lebih dari satu tahun, akan tetapi produk ini mudah mengalami penurunan kualitas (detorasi) seiring dengan berjalannya waktu dan cara penyimpanan yang salah. Sistem yang diamati dalam penelitian ini adalah sistem rantai pasok dua eselon yang terdiri dari pemasok tunggal dan pembeli tunggal. Perusahaan (X) bertindak sebagai pamanufaktur (pemasok) dan perusahaan (Y) bertindak sebagai pembeli. Sistem *vendor management inventory* (VMI) memberikan kewenangan kepada pemasok untuk menentukan ukuran lot (Q) yang harus dikirim ke pembeli. Hal ini bisa terjadi karena adanya pertukaran informasi antara pembeli dan pemasok. Pembeli akan memberikan informasi peramalaan permintaan kepada pemasok sebagai acuan untuk menentukan tingkat produksi pemasok. Selain itu, sistem ini juga memberikan kewenangan kepada pemasok untuk menentukan jumlah pengiriman pesanan (n) dalam satu siklus.

Sedangkan dalam sistem *consignment* selain adanya pertukaran informasi antara pembeli dan pemasok, dalam sistem ini pemasok dapat memanfaatkan gudang pembeli sebagai tempat penyimpanan produk jadi. Letak gudang ini dekat dengan fasilitas pelayanan pembeli, sehingga pembeli dapat dengan mudah mengisi kembali persediaan di rak, jika persediaan di rak pembeli semakin berkurang. Hal ini juga dapat mengurangi terjadinya kekurangan dan kehilangan penjualan disisi pembeli. Sehingga dalam penelitian ini akan diterapkan gabungan kedua model diatas yaitu *vendor management inventory consignment* (VMIC).

Aliran produk dalam sistem rantai pasok dua eselon dimulai dari perusahaan Y sebagai pembeli menerima permintaan (D) dari konsumen akhir. Berdasarkan permintaan-permintaan dari periode sebelumnya Perusahaan Y akan melakukan permalan permintaan (D) yang bisa dijadikan acuan sebagai penentuan ukuran lot pesanan (Q), sehingga pemasok dapat membuat rencana produksi. Perusahaan Y akan memeriksa persediaan produknya dirak untuk memenuhi permintaan dari konsumen akhir. Tingkat permintaan konsumen akhir diketahui dipengaruhi oleh tingkat persediaan. Perusahaan Y tidak akan membiarkan terjadinya kekurangan persediaan ataupun kehilangan penjualan. Ketika jumlah persediaan di rak, perusahaan Y akan melakukan pengisian kembali persediaan tersebut.

Perusahaan X selaku pemasok akan menerima ukuran lot pesanan Q dan memeriksa persediaan produk yang berada pada gudang pemasok. Jika jumlah persediaan produk mencukupi jumlah pesanan pembeli, maka perusahaan X akan mengirimkan produk sebanyak n kali sesuai dengan jumlah dan waktu yang telah ditentukan. Perusahaan X akan memproduksi produk sesuai dengan perencanaan produksi yang telah dibuat.

Emisi karbon merupakan salah satu permasalahan dalam sistem rantai pasok. Aktivitas-aktivitas dari rantai pasok menyumbang emisi karbon yang dibuang ke lingkungan. Pada sisi pembeli emisi karbon dihasilkan dari kegiatan penyimpanan produk baik di gudang maupun di rak pembeli, seras dari kegiatan pembuangan produk yang mengalami kerusakan. Emisi dari kegiatan penyimpanan berupa konsumsi listrik sebagai pencahayaan, alat pendingin tempat penyimpanan di rak pembeli dan *Air Conditioner* (AC) sebagai pengatur suhu ruangan. Sedangkan disisi pemasok emisi karbon dihasilkan dari kegiatan penyimpan produk digudang dan transportasi pengiriman produk dari gudang pemasok ke gudang pembeli. Emisi yang dihasilkan dari kegiatan transportasi ini merupakan emisi bahan bakar karbon dioksida.

Mempertimbangkan produk yang diproduksi oleh pemasok adalah jenis produk yang mudah mengalami penurunan kualitas. Tingkat penurunan kualitas (detorasi) produk diketahui dan konstan terhadap waktu. Produk akan mengalami detorasi pada masa penyimpanan, digudang rak pembeli. Biaya penurunan kualitas produk pada penelitian ini dihitung dari sisi pembeli yaitu di rak pembeli. Besarnya biaya detorasi sesuai dengan jumlah persediaan yang tersimpan di rak pembeli. Sedangkan emisi produk terdeteriorasi yaitu emisi yang diakibatkan dari proses pembuangan produk terdetrriorasi.

3.5. Pengembangan Model

Pada penelitian ini, pengembangan model mengikuti sistem yang telah dijelaskan diatas. Adapun model yang akan dikembangkan adalah Optimasi total biaya gabungan sistem rantai pasok dua eselon pada pemasok tunggal dan pembeli tunggal dengan mempertimbangkan emisi karbon dibawah kebijakan VMIC. Selain itu juga dikembangkan model dari masing-masing pembeli dan pemasok. Penelitian

ini juga mempertimbangkan batas karbon dan pajak karbon dari total biaya sistem VMIC dan total biaya pemasok dan pembeli secara terpisah.

3.5.1. Notasi dan Asumsi

Pada subbab ini membahas mengenai notasi model berupa parameter, variabel keputusan, kriteria performansi dan asumsi.

1. Parameter

Parameter yang digunakan pada penelitian ini sama dengan parameter yang digunakan oleh (Hemmati et al. 2017), (Hariga et al. 2019) dan beberapa perubahan notasi parameter.

A_b : Biaya pesan pembeli, (Rp/unit),

A_v : Biaya *setup* pemasok, (Rp/unit)

a : Tingkat permintaan dasar, (unit/tahun)

Q : Kuantitas pesan pembeli (unit)

P : Tingkat produksi pemasok, $P > D$ (unit/tahun)

h_v : Biaya simpan pemasok (Rp/unit/tahun), $h_v = h_v^{fin} + h_v^{phy}$

h_w : Biaya simpan di gudang pembeli (Rp/unit/tahun), $h_w = h_w^{fin} + h_w^{phy}$

h_n : Biaya simpan di gudang pembeli di bawah kebijakan konsinyasi, $h_n = h_v^{fin} + h_w^{phy}$, (Rp/unit/tahun)

h_b : Biaya simpan di rak pembeli, (Rp/unit/tahun)

θ : Tingkat deteriorasi $0 \leq \theta \leq 1$

\hat{h}_v : Jumlah emisi karbon dari penyimpanan produk di gudang pemasok,

\hat{h}_n : Jumlah emisi karbon dari penyimpanan produk di gudang pembeli dibawah kebijakan konsinyasi,

\hat{h}_w : Jumlah emisi karbon dari penyimpanan produk di gudang pembeli,

\hat{h}_b : Jumlah emisi karbon dari penyimpanan produk di rak pembeli,

\hat{A}_b : Jumlah emisi karbon yang dihasilkan dari kegiatan pesan pembeli

\hat{A}_v : Jumlah emisi karbon yang dihasilkan dari kegiatan *setup* pemasok

T_b : Panjang siklus di rak pembeli

q : Ukuran lot pengiriman dari gudang ke rak pembeli, (unit)

T_w : Panjang siklus di gudang pembeli

- T_v : Panjang siklus pemasok
 n_b : Jumlah pengiriman dari gudang pembeli ke rak pembeli
 n_v : Jumlah pengiriman dari pemasok ke pembeli
 S : Biaya tetap pengiriman dari gudang ke rak pembeli, (\$/unit)
 tf : Biaya fix transportasi pemasok per pengiriman, (\$)
 t_v : Biaya variabel transportasi pemasok per pengiriman, sama dengan harga bahan bakar, (\$/liter)
 c_1 : Konsumsi bahan bakar saat kendaraan tidak bermuatan, (liter/km)
 c_2 : Tambahan konsumsi bahan bakar saat kendaraan bermuatan, (liter/km/ton)
 e_1 : Jumlah emisi karbon dari bahan bakar, (\$/km)
 e_2 : Tambahan jumlah emisi karbon dari transportasi satu unit produk, (\$/km/unit)
 b : Berat produk, (kg/unit)
 d : Jarak pengiriman antara pemasok dan pembeli, (km)
 tx : Pajak emisi karbon, (\$/kgCO₂)
 \hat{C} : Batas atas emisi karbon
 \hat{C}_b : Batas atas emisi karbon pembeli
 \hat{C}_v : Batas atas emisi karbon pemasok
 C_p : Biaya deteriorasi di rak pembeli, (\$/unit)
 d_{eb} : Jumlah emisi dari pembuangan produk rusak pembeli, (\$/unit)
 C_d : Kapasitas rak pembeli

2. Variabel Keputusan

- n_b : Jumlah pengiriman optimal dari gudang ke rak pembeli
 n_v : Jumlah pengiriman optimal dari pemasok ke gudang pembeli
 q : kuantitas pengiriman ke rak pembeli

3. Kriteria Performansi

- TC : Total biaya sistem VMIC
 TE : Total emisi sistem VMIC
 TC_b : Total biaya pembeli

TC_v	: Total biaya pemasok
TE_b	: Total emisi pembeli
TE_v	: Total emisi pemasok
$TCCE$: Total batasan emisi sistem VMIC
$TCCE_b$: Total biaya batasan emisi pembeli
$TCCE_v$: Total biaya batasan emisi pemasok
$TCCCE$: Total biaya pajak emisi sistem VMIC
$TCCCE_b$: Total biaya pajak emisi pembeli
$TCCCE_v$: Total biaya pajak emisi pemasok

4. Asumsi Model

Beberapa asumsi yang digunakan pada model ini adalah sebagai berikut:

- Model ini mengasumsikan satu produk *non-perishable* yang mudah mengalami detorasi dengan sistem persediaan pemasok tunggal dan pembeli tunggal.
- Tingkat permintaan pembeli bersifat deterministik dan dipengaruhi oleh ketersediaan stock $D(t) = a + \beta I(t)$. Dimana $a > 0$ merupakan permintaan dasar dan $0 < \beta < 1$ merupakan tingkat persediaan.
- Tingkat produksi pemasok konstan dan lebih besar dari tingkat permintaan maksimum.
- Pemasok akan mengirim sejumlah pesanan dengan ukuran lot pesanan Q , dalam n_v yang sama setiap pengirimannya dan persediaan selalu ditinjau, dimana n_v adalah bilangan bulat.
- Ketika persediaan di rak pembeli mencapai nol, maka akan dilakukan pengiriman produk dari gudang pembeli ke rak pembeli dengan ukuran lot q dalam n_b yang sama ($Q = n_b q$), dimana n_b adalah bilangan bulat.
- Time horizone* tidak terbatas dan *lead time* sama dengan nol.
- Tidak diizinkan adanya *shortage* atau kekurangan.
- Biaya simpan pembeli lebih besar dari biaya simpan pemasok $h_b > h_w > h_v$.
- Emisi karbon dari sistem rantai pasok ini dibedakan menjadi dua yaitu emisi elektronik dan emisi bahan bakar. Emisi elektronik dihasilkan dari kegiatan penyimpanan baik digudang pemasok, pembeli dan rak pembeli. Sedangkan emisi

bahan bakar dihasilkan dari kegiatan transportasi pengiriman produk dari pemasok ke pembeli, serta pembuangan limbah produk yang mengalami detorasi.

- j. Tingkat penurunan kualitas produk atau detorasi konstan per satuan waktu.
- k. Kapasitas penyimpanan di rak pembeli dibatasi.
- l. Jarak pengiriman dari pemasok ke pembeli diketahui.

3.5.2. Model I. *Vendor Management Inventory Consignment*

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meminimasi total biaya persediaan pemasok dan pembeli tunggal dalam sistem manajemen rantai pasok. Adapun perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya adalah pengaruh harga jual terhadap permintaan. Penelitian ini tidak mempertimbangkan harga jual yang berpengaruh terhadap permintaan. Selain itu, tujuan dari penelitian ini untuk meminimasi total biaya sedangkan penelitian (Hemmati et al. 2017) untuk memaksimalkan total keuntungan. Tingkat permintaan di ketahui dan bersifat deterministik dimana permintaan berpengaruh terhadap stok yang tersedia $D = a + \beta I(t)$, a merupakan tingkat awal permintaan dan β merupakan faktor yang mempengaruhi tingkat persediaan. Adapun gambar (3.4) menunjukkan model sistem persediaan rantai pasok dua eselon pemasok dan pembeli tunggal. Seperti model yang dikembangkan oleh (Hemmati et al. 2017), untuk menentukan total biaya sistem VMIC, hal yang pertama dilakukan adalah menentukan rata-rata persediaan pembeli. Berdasarkan Gambar 3.4, adapun rata-rata persediaan pembeli sebagai berikut:

$$dI(t) = -a dt - \beta I(t) dt - \theta I(t) dt, \quad 0 < t < Td \quad (3.1)$$

$$I(t) = \frac{\int_0^t -a \exp(\int(\theta + \beta) dt) dt + C}{\exp(\int_0^t(\theta + \beta) dt)}$$

Nilai konstanta integrasi C dapat ditentukan dengan menerapkan sistem batasan.

Misalkan $C = I(0) = q$, maka di dapatkan:

$$I(t) = \frac{e^{-t(\theta+\beta)}(a + q(\theta + \beta)) - a}{(\theta + \beta)}$$

Fungsi eksponensial di atas selanjutnya diaproksimasi dengan menggunakan series Maclaurin dengan pendekatan dua suku pertama.

$$I(t) = -\frac{a}{\theta+\beta} + (1 - (\theta + \beta)t) \left(q + \frac{a}{\theta+\beta} \right) \quad (3.2)$$

Seperti model yang dikembangkan oleh (Hemmati, et al., 2017), tingkat stok akhir dari T_d adalah no, sehingga $I(T_d) = 0$. Berdasarkan persamaan (3.2) didapatkan T_d sebagai berikut.

$$T_d = \frac{q}{a+q(\theta+\beta)} \quad (3.3)$$

Adapun komponen biaya-biaya dalam sistem VMIC adalah sebagai berikut:

1. Biaya *setup* pemasok

$$\frac{A_v}{T_v} = \frac{A_v}{n_v n_b T_d} \quad (3.4)$$

2. Biaya pesan pembeli

$$\frac{A_b}{n_b T_d} \quad (3.5)$$

3. Biaya simpan pemasok

$$\frac{h_v n_v Q^2}{2PT_v} = \frac{h_v Q^2}{2Pn_b T_d} \quad (3.6)$$

4. Biaya simpan di gudang pembeli

Pada sistem VMIC, pemasok setelah memproduksi produk dengan ukuran lot Q , selanjtnya pemasok akan mengirim produk tersebut dalam n_v yang sama ke gudang pembeli. Artinya pemasok menyimpan produk tersebut digudang pembeli sampai produk tersebut dimanfaatkan oleh pembeli. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Ben-daya, et al., 2013) bahawa adanya pembagian atau kerjasama antara pemasok dan pembeli dalam menentukan biaya simpan digudang pembeli dibawah kebijakan VMIC. Hal ini juga diperkuat dengan penelitian yang dilakukan oleh (Hariga, et al., 2019), (Babekian, et al., 2017), dan (Hemmati, et al., 2017). Artinya biaya simpan digudang pembeli menjadi tanggung jawab bersama antara pemasok dan pembeli, dimana pemasok bertanggungjawa dalam pembiayaan tenaga kerja sedangkan pembeli bertanggung jawab dalam pembiayaan fasilitas gudang ($h_n = h_v^{fin} + h_b^{phy}$). Sehingga biaya simpan di gudang pembeli sebagai berikut;

$$\begin{aligned}
& \frac{h_n}{T_v} \left[n_v((n_b - 1)qT_d + (n_b - 2)qT_d + \dots + qT_d) + \left(n_b T_d - \frac{Q}{P} \right) n_b q + \left(2n_b T_d - \right. \right. \\
& \left. \left. 2\frac{Q}{P} \right) n_b q + \dots + n_b q \left((n_v - 1)n_b T_d - (n_v - 1)\frac{Q}{P} \right) \right] \\
& = \frac{h_n}{n_v n_b T_d} \left[n_v q T_d \frac{n_b(n_b - 1)}{2} + \frac{n_b q(n_v - 1)n_v}{2} \left(n_b T_d - \frac{Q}{P} \right) \right] \\
& = \frac{h_n q}{2T_d} \left[(n_b n_v - 1)T_d + \frac{(n_v - 1)Q}{P} \right] \tag{3.7}
\end{aligned}$$

5. Biaya simpan di rak pembeli

$$\begin{aligned}
& \frac{h_b}{T_d} \int_0^{T_d} I(t) dt \\
& = \frac{h_b q^2}{2(a+q(\theta+\beta))T_d} \tag{3.8}
\end{aligned}$$

6. Biaya pengiriman dari gudang ke rak pembeli.

Kebijakan VMIC kepemilikan produk yang berada digudang pembeli merupakan milik pemasok. Pembeli dapat memanfaatkan produk tersebut jika tingkat persediaan di pembeli mencapai nol. Pengisian kembali produk di rak pembeli dengan ukuran lot q , dalam dapat dilakukan sepanjang T_d .

$$\frac{S}{T_d} \tag{3.9}$$

7. Biaya Deteriorasi

$$\begin{aligned}
& C_p \theta \int_0^{T_d} I(t) dt \\
& = \frac{C_p \theta q^2}{2(a+q(\theta+\beta))T_d} \tag{3.10}
\end{aligned}$$

8. Biaya Transportasi

Asumsi tambahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan mempertimbangkan biaya transportasi untuk setiap pengiriman n_v dengan ukuran lot Q . Penambahan biaya transportasi juga dilakukan oleh (Daryanto, et al., 2019), (Ghosh, et al., 2018), (Tiwari, et al., 2018), (Wangsa & Wee, 2017), (Ghosh, et al., 2017), (Ghosh, et al., 2016), (Bonney & Jaber, 2011). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Daryanto & Wee, 2018) dan digunakan dalam penelitian ini, maka biaya transportasi dari pemasok ke pembeli sebagai berikut.

$$\frac{n_v}{T_d} (tf + 2dt_v c_1 + dt_v c_2 Q)$$

$$\frac{1}{n_b T_d} (tf + 2dt_v c_1 + dt_v c_2 Q) \quad (3.11)$$

Dari komponen-komponen biaya diatas, maka didapatkan total biaya sistem rantai pasok untuk pemasok tunggal dan pembeli tunggal produk *perishable* sebagai berikut.

$TC(q, n_b, n_v) =$ biaya setup + biaya pesan + biaya transfer +
biaya transportasi + biaya simpan pemasok + biaya simpan gudang pembeli +
biaya simpan rak pembeli + biaya deteriorasi

$$TC(q, n_b, n_v) = \frac{1}{T_d} \left(\frac{A_v}{n_v n_b} + \frac{A_b}{n_b} + S + \frac{(tf + 2dt_v c_1 + dt_v c_2 bQ)}{n_b} \right) + \frac{h_v Q^2}{2P n_b T_d} +$$

$$\frac{h_n q}{2T_d} \left[(n_b n_v - 1)T_d + \frac{(n_v - 1)Q}{P} \right] + \frac{h_b q^2}{2(a + q(\theta + \beta))T_d} + \frac{C_p \theta q^2}{2(a + q(\theta + \beta))T_d} \quad (3.12)$$

Substitusi nilai $T_d = \frac{q}{a + q(\theta + \beta)}$ dan $Q = n_b q$ kedalam persamaan (3.12), maka didapatkan hasil sebagai berikut.

$$TC(q, n_b, n_v) = \frac{(a + q(\theta + \beta))}{q} \left(\frac{A_v}{n_v n_b} + \frac{A_b}{n_b} + S + \frac{(tf + 2dt_v c_1 + dt_v c_2 b n_b q)}{n_b} \right) +$$

$$\frac{h_v n_b q (a + q(\theta + \beta))}{2P} + \frac{h_n}{2} \left[(a + q(\theta + \beta)) \left(\frac{(n_b n_v - 1)q}{(a + q(\theta + \beta))} - \frac{(n_v - 1)n_b q}{P} \right) \right] + \frac{h_b q}{2} + \frac{C_p \theta q}{2} \quad (3.13)$$

Dengan batasan:

$$1 \leq q \leq C_d$$

$$n_b \geq 1, n_v \geq 1$$

$$n_b, n_v \text{ integer.}$$

3.5.3. Model II. Emisi Karbon

Sistem manajemen rantai pasok tidak terlepas dari permasalahan emisi karbon. Pada penelitian ini emisi karbon berasal dari kegiatan transportasi,

penyimpanan dan pembuangan produk yang mengalami deteriorasi. Adapun komponen emisi sebagai berikut.

1. Emisi *setup* pemasok

$$\frac{\hat{A}_v}{T_v} = \frac{\hat{A}_v}{n_v n_b T_d} \quad (3.14)$$

2. Emisi pesan pembeli

$$\frac{\hat{A}_b}{n_b T_d} \quad (3.15)$$

3. Emisi simpan pemasok

$$\frac{\hat{h}_v n_v Q^2}{2P T_v} = \frac{\hat{h}_v Q^2}{2P n_b T_d} \quad (3.16)$$

4. Emisi simpan di gudang pembeli

$$\frac{\hat{h}_n q}{2T_d} \left[(n_b n_v - 1) T_d + \frac{(n_v - 1) Q}{P} \right] \quad (3.17)$$

5. Emisi simpan di rak pembeli

$$\frac{\hat{h}_b q^2}{2(a+q(\theta+\beta))T_d} \quad (3.18)$$

6. Emisi deteriorasi pembeli

$$\frac{d_{eb} \theta q^2}{2(a+q(\theta+\beta))T_d} \quad (3.19)$$

7. Emisi transportasi

$$\frac{1}{n_v T_v} (2de_1 + de_2 Q) \quad (3.20)$$

8. Total emisi karbon

$TE(q, n_b, n_v) = \text{emisi setup} + \text{emisi pesan} + \text{emisi transfer} +$
 $\text{emisi transportasi} + \text{emisi simpan pemasok} +$
 $\text{emisi simpan gudang pembeli} + \text{emisi simpan rak pembeli} +$
 emisi deteriorasi

$$TE(q, n_b, n_v) = \frac{1}{T_d} \left(\frac{\hat{A}_v}{n_v n_b} + \frac{\hat{A}_b}{n_b} + \frac{(2de_1 + de_2 Q)}{n_b} \right) + \frac{\hat{h}_v Q^2}{2P n_b T_d} + \frac{\hat{h}_n q}{2T_d} \left[(n_b n_v - 1) T_d + \frac{(n_v - 1) Q}{P} \right] + \frac{\hat{h}_b q^2}{2(a+q(\theta+\beta))T_d} + \frac{d_{eb} \theta q^2}{2(a+q(\theta+\beta))T_d} \quad (3.21)$$

Substitusi nilai $T_d = \frac{q}{a+q(\theta+\beta)}$ dan $Q = n_b q$ kedalam persamaan (3.21), maka didapatkan hasil sebagai berikut.

$$TE(q, n_b, n_v) = \frac{(a+q(\theta+\beta))}{q} \left(\frac{\hat{A}_v}{n_v n_b} + \frac{\hat{A}_b}{n_b} + \frac{(2de_1+de_2 n_b q)}{n_b} \right) + \frac{\hat{h}_v n_b q (a+q(\theta+\beta))}{2P} + \frac{\hat{h}_n}{2} \left[(a+q(\theta+\beta)) \left(\frac{(n_b n_v - 1)q}{(a+q(\theta+\beta))} - \frac{(n_v - 1)n_b q}{P} \right) \right] + \frac{\hat{h}_b q}{2} + \frac{d_{eb} \theta q}{2} \quad (3.22)$$

3.5.4. Model III. Model Persediaan Pembeli dan Pemasok

1. Model persediaan pembeli

Biaya simpan pembeli dibagi menjadi dua komponen yaitu biaya simpan di rak dan biaya simpan di gudang. Berdasarkan gambar (2.2), biaya simpan pembeli di gudang dapat dihitung sebagai berikut;

$$\frac{h_w}{T_w} \left(\frac{n_b(n_b-1)qT_d}{2} \right) \quad (3.23)$$

Sedangkan rata-rata persediaan pembeli di rak, yaitu:

$$\int_0^{T_d} I_b(dt) = \frac{q^2}{2(a+q(\theta+\beta))} \quad (3.24)$$

Sehingga didapatkan total biaya pembeli, yaitu:

$TC_b =$ biaya pesan + biaya transfer + biaya deteriorasi
+ biaya simpan di rak pembeli
+ biaya simpan di gudang pembeli

$$TC_b = \frac{A_b}{n_b T_d} + \frac{S}{T_d} + \frac{C_p \theta q^2}{2T_d(a+q(\theta+\beta))} + \frac{h_b q^2}{2T_d(a+q(\theta+\beta))} + \frac{h_w}{T_w} \left(\frac{n_b(n_b-1)qT_d}{2} \right) \quad (3.25)$$

Jika $T_d = \frac{q}{a+q(\theta+\beta)}$ dan $T_w = n_b T_d$, maka substitusikan ke dalam persamaan

(3.25), didapatkan:

$$TC_b = \frac{A_b((a+q(\theta+\beta)))}{n_b q} + \frac{S(a+q(\theta+\beta))}{q} + \frac{C_p \theta q^2(a+q(\theta+\beta))}{q} + \frac{h_b q^2(a+q(\theta+\beta))}{q} + \frac{h_w(n_b-1)q}{2}$$

Persamaan diatas dapat ditulis ulang, sebagai berikut:

$$TC_b = \frac{A_b((a+q(\theta+\beta)))}{n_b q} + \frac{S(a+q(\theta+\beta))}{q} + \frac{h_b q}{2} + \frac{C_p \theta q}{2} + \frac{h_w(n_b-1)q}{2} \quad (3.26)$$

Karena $A_b = \hat{A}_b$, $h_b = \hat{h}_b$ dan $h_w = \hat{h}_w$, maka persamaan diatas dapat ditulis ulang, sehingga akan menghasilkan total biaya emisi karbon pembeli, sebagai berikut.

$TE_b = \text{emisi pesan} + \text{emisi deteriorasi} +$
 $\text{emisi simpan di rak pembeli} + \text{emisi simpan di gudang pembeli}$

$$TE_b = \frac{\hat{A}_b((a+q(\theta+\beta))}{n_b q} + \frac{\hat{h}_b q}{2} + \frac{de_b \theta q}{2} + \frac{\hat{h}_w (n_b - 1) q}{2} \quad (3.27)$$

2. Model persediaan pemasok

Mengutip penelitian yang dilakukan oleh (Hemmati, et al., 2017), (Hariga, et al., 2019). Rata-rata persediaan pemasok dikutip dari (Sajadieh, et al., 2010).

$$I_v(t) = \frac{1}{T_v} \left(\left(n_v Q \left(\frac{Q}{P} + \frac{(n_v - 1)}{n_v} T_v \right) - \frac{n_v^2 Q^2}{2P} \right) - \left(\frac{T_v Q}{n_v} (1 + 2 + \dots + (n_v - 1)) \right) \right)$$

$$I_v(t) = \frac{Q}{2} \left((n_v - 1) \left(1 - \frac{n_v Q}{T_v P} \right) + \frac{n_v Q}{T_v P} \right) \quad (3.28)$$

$TC_v = \text{biaya setup} + \text{biaya transportasi} + \text{biaya simpan}$

$$TC_v = \frac{A_v}{T_v} + \frac{n_v}{T_v} (tf + 2dt_v c_1 + dt_v c_2 Q) + \frac{h_v Q}{2} \left((n_v - 1) \left(1 - \frac{n_v Q}{T_v P} \right) + \frac{n_v Q}{T_v P} \right) \quad (3.29)$$

Jika $Q = qn_b$, dan $T_v = n_v T_w = n_v n_b T_d$, maka substitusikan ke dalam persamaan (3.28), didapatkan:

$$TC_v = \frac{a+q(\theta+\beta)}{q} \left(\frac{A_v}{n_v n_b} + \frac{(tf+2dt_v c_1+dt_v c_2 n_b q)}{n_b} \right) + \frac{h_v n_b q}{2} \left((n_v - 1) \left(1 - \frac{a+q(\theta+\beta)}{P} \right) + \frac{a+q(\theta+\beta)}{P} \right) \quad (3.30)$$

Karena $A_v = \hat{A}_v$, dan $h_v = \hat{h}_v$ maka persamaan diatas dapat ditulis ulang, sehingga akan menghasilkan total emisi karbon pemasok, sebagai berikut.

$TE_v = \text{emisi setup} + \text{emisi transportasi} + \text{emisi simpan}$

$$TE_v = \frac{\hat{A}_v}{n_v n_b T_b} + \frac{1}{n_b T_b} (2de_1 + de_2 b n_b q) + \frac{\hat{h}_v n_b q}{2} \left((n_v - 1) \left(1 - \frac{a+q(\theta+\beta)}{P} \right) + \frac{a+q(\theta+\beta)}{P} \right) \quad (3.31)$$

$$TE_v = \frac{a+q(\theta+\beta)}{q} \left(\frac{\hat{A}_v}{n_v n_b} + \frac{(2de_1+de_2bn_bq)}{n_b} \right) + \frac{h_v n_b q}{2} \left((n_v - 1) \left(1 - \frac{a+q(\theta+\beta)}{P} \right) + \frac{a+q(\theta+\beta)}{P} \right) \quad (3.32)$$

3.5.5. Model IV. Batas karbon

Batasan karbon merupakan batas emisi yang diizinkan per satuan waktu (Ghosh et al. 2016). Pada kasus ini, jika emisi karbon yang dihasilkan melebihi batas karbon yang telah ditentukan, maka pemasok maupun pembeli akan mendapat penalty. Oleh karena itu, perusahaan dituntut untuk mengelola emisi mereka sesuai dengan batas yang telah ditentukan. Sesuai dengan tujuan penelitian untuk meminimasi total biaya sistem rantai pasok dibawah kebijakan VMIC dengan mempertimbangkan emisi karbon baik secara gabungan maupun masing-masing, maka penelitian ini juga menambahkan asumsi batas karbon untuk meminimasi total biaya yang harus dikeluarkan oleh masing-masing pemangku kepentingan. Penelitian sebelumnya yang mambahakan asumsi batas karbon dalam sistem rantai pasok dua eselon diantaranya (Hariga et al. 2019), (Ghosh et al. 2017), (Ghosh et al. 2016) dan (Zanoni et al. 2014). Adapun batasan karbon dalam penelitian ini sebagai berikut.

1. Model VMIC

Berdasarkan persamaan (3.27) dan (3.31), digunakan untuk meminimasi total emisi karbon masing-masing pemasok dan pembeli. Sedangkan persamaan (3.22) untuk meminimasi total emisi karbon sistem. Mengikuti persamaan tersebut, batas karbon akan *feasible* jika dan hanya jika batas karbon \hat{C} lebih besar dari TE . Formulasi matematis dari kasus ini, sebagai berikut:

$$TCCE(q, n_b, n_v) = \frac{(a+q(\theta+\beta))}{q} \left(\frac{A_v}{n_v n_b} + \frac{A_b}{n_b} + S + \frac{(tf+2dt_v c_1+dt_v c_2 n_b q)}{n_b} \right) + \frac{h_v n_b q (a+q(\theta+\beta))}{2P} + \frac{h_n}{2} \left[(a + q(\theta + \beta)) \left(\frac{(n_b n_v - 1)q}{(a+q(\theta+\beta))} - \frac{(n_v - 1)n_b q}{P} \right) \right] + \frac{h_b q}{2} + \frac{C_p \theta q}{2}$$

Dengan batasan:

$$TE(q, n_b, n_v) = \frac{(a+q(\theta+\beta))}{q} \left(\frac{\hat{A}_v}{n_v n_b} + \frac{\hat{A}_b}{n_b} + S + \frac{(2de_2 + de_2 n_b q)}{n_b} \right) + \frac{\hat{h}_v n_b q (a+q(\theta+\beta))}{2P} + \frac{\hat{h}_n}{2} \left[(a+q(\theta+\beta)) \left(\frac{(n_b n_v - 1)q}{(a+q(\theta+\beta))} - \frac{(n_v - 1)n_b q}{P} \right) \right] + \frac{\hat{h}_b q}{2} + \frac{c_p \theta q}{2} \leq \hat{C}$$

$$0 \leq q \leq \quad (3.33)$$

2. Model Persediaan Pembeli

Pada model ini, peneliti mempertimbangkan ketika pemasok dan pembeli menentukan minimasi total biaya masing-masing dengan batasan emisi karbon. Selain meminimasi total biaya, tujuan pembeli adalah menentukan jumlah pengiriman dari gudang ke rak pembeli n_b dan ukuran lot pengiriman q . Adapun masalah batasan karbon pembeli sebagai berikut

$$\min TCCE_b(n_b, q) = \frac{A_b((a+q(\theta+\beta))}{n_b q} + \frac{S(a+q(\theta+\beta))}{q} + \frac{h_b q}{2} + \frac{c_p \theta q}{2} + \frac{h_w(n_b-1)q}{2}$$

Dengan batasan:

$$\frac{\hat{A}_b((a+q(\theta+\beta))}{n_b q} + \frac{\hat{h}_b q}{2} + \frac{d_{eb} \theta q}{2} + \frac{\hat{h}_w(n_b-1)q}{2} \leq \hat{C}_b \quad (3.34)$$

3. Model Persediaan Pemasok

Dibawah kebijakan masing-masing pemasok dan pembeli, tujuan dari pemasok adalah menentukan jumlah pengiriman optimal n_v dengan ukuran lot Q ke gudang pembeli dan total biaya dengan batasan emisi karbon. Adapun formulasi optimasi pemasok sebagai berikut.

$$TCCE_v = \frac{a+q(\theta+\beta)}{P} \left(\frac{A_v}{n_v n_b} + \frac{(tf+2dt_v c_1 + dt_v c_2 n_b q)}{n_b} \right) + \frac{h_v n_b q}{2} \left((n_v - 1) \left(1 - \frac{a+q(\theta+\beta)}{P} \right) \right)$$

Dengan batasan:

$$\frac{\hat{A}_v}{n_v n_b T_b} + \frac{1}{n_b T_b} (2de_1 + de_2 n_b q) + \frac{\hat{h}_v n_b q}{2} \left((n_v - 1) \left(1 - \frac{a+q(\theta+\beta)}{P} \right) \right) + \frac{a+q(\theta+\beta)}{P} \leq \hat{C}_v \quad (3.35)$$

3.5.6. Model V. Pajak Karbon

a. Model VMIC

Penentuan pajak karbon yang harus di bayarkan yaitu dengan mengalikan total biaya dengan besaran pajak yang telah ditentukan. Peneliti yang mempertimbangkan pajak emisi pada sistem gabungan total biaya pemasok dan pembeli diantaranya (Hariga et al. 2019), (Daryanto & Wee, 2018), (Tiwari et al., 2018), (Ghosh et al., 2017), dan (Ghosh et al. 2016b). Adapun total emisi per unit waktu sistem, sebagai berikut

$$\min TCE = TC + (tx * TE)$$

Dimana diketahui;

$$TC = \frac{(a+q(\theta+\beta))}{q} \left(\frac{A_v}{n_v n_b} + \frac{A_b}{n_b} + S + \frac{(tf+2dt_v c_1 + dt_v c_2 n_b q)}{n_b} \right) + \frac{h_v n_b q (a+q(\theta+\beta))}{2P} + \frac{h_n}{2} \left[(a + q(\theta + \beta)) \left(\frac{(n_b n_v - 1)q}{(a+q(\theta+\beta))} - \frac{(n_v - 1)n_b q}{P} \right) \right] + \frac{h_b q}{2} + \frac{C_p \theta q}{2}$$

Dan,

$$TE = \left(\frac{(a+q(\theta+\beta))}{q} \left(\frac{\hat{A}_v}{n_v n_b} + \frac{\hat{A}_b}{n_b} + S + \frac{(2de_1 + de_2 n_b q)}{n_b} \right) + \frac{\hat{h}_v n_b q (a+q(\theta+\beta))}{2P} + \frac{\hat{h}_n}{2} \left[(a + q(\theta + \beta)) \left(\frac{(n_b n_v - 1)q}{(a+q(\theta+\beta))} - \frac{(n_v - 1)n_b q}{P} \right) \right] + \frac{\hat{h}_b q}{2} + \frac{C_p \theta q}{2} \right)$$

Sehingga persamaan di atas dapat di tulis sebagai berikut;

$$TCCCE = \frac{(a+q(\theta+\beta))}{q} \left(\frac{A_v}{n_v n_b} + \frac{A_b}{n_b} + S + \frac{(tf+2dt_v c_1 + dt_v c_2 n_b q)}{n_b} \right) + \frac{h_v n_b q (a+q(\theta+\beta))}{2P} + \frac{h_n}{2} \left[(a + q(\theta + \beta)) \left(\frac{(n_b n_v - 1)q}{(a+q(\theta+\beta))} - \frac{(n_v - 1)n_b q}{P} \right) \right] + \frac{h_b q}{2} + \frac{C_p \theta q}{2} + \left[tx \left(\frac{(a+q(\theta+\beta))}{q} \left(\frac{\hat{A}_v}{n_v n_b} + \frac{\hat{A}_b}{n_b} + S + \frac{(2de_1 + de_2 n_b q)}{n_b} \right) + \frac{\hat{h}_v n_b q (a+q(\theta+\beta))}{2P} + \frac{\hat{h}_n}{2} \left[(a + q(\theta + \beta)) \left(\frac{(n_b n_v - 1)q}{(a+q(\theta+\beta))} - \frac{(n_v - 1)n_b q}{P} \right) \right] + \frac{\hat{h}_b q}{2} + \frac{C_p \theta q}{2} \right) \right] \quad (3.36)$$

b. Model Pemasok

Pajak emisi karbon yang harus dibayarkan oleh pemasok besarnya dapat dihitung dengan mengalikan biaya pajak yang telah ditentukan dengan total biaya emisi karbon pemasok. Sedangkan untuk total biaya dibawah kebijakan pajak emisi

besarannya dapat dihitung dengan menjumlahkan total biaya pemasok dengan total biaya pajak emisi pemasok.

$$TCE_v = TC_v + (tx * TE_v)$$

$$TCCCE_v = \frac{A_v}{n_v n_b T_b} + \frac{1}{n_b T} (tf + 2dt_v c_1 + dt_v c_2 n_b q) + \frac{h_v n_b q}{2} \left((n_v - 1) \left(1 - \frac{a+q(\theta+\beta)}{P} \right) + \frac{a+q(\theta+\beta)}{P} \right) + tx \left(\frac{\hat{A}_v}{n_v n_b T_b} + \frac{1}{n_b T} (2de_1 + de_2 n_b q) + \frac{\hat{h}_v n_b q}{2} \left((n_v - 1) \left(1 - \frac{a+q(\theta+\beta)}{P} \right) + \frac{a+q(\theta+\beta)}{P} \right) \right) \quad (3.37)$$

c. Model Pembeli

Fungsi tujuan pembeli adalah menentukan kuantitas pengiriman dari gudang ke rak dengan jumlah pengiriman yang sama, untuk optimasi total biaya secara keseluruhan termasuk pajak karbon yang dibayarkan untuk emisi karbon per ton. Adapapun model matematis pajak emisi karbon pembeli sebagai berikut;

$$TCE_b = TC_b + (tx * TE_b)$$

$$TCCCE_v tx = \frac{A_b}{n_b T_d} + \frac{S}{T_d} + \frac{c_p \theta q^2}{T_d} + \frac{h_b q^2}{T_d} + \frac{h_w}{T_w} \left(\frac{n_b(n_b-1)qT_d}{2} \right) + tx \left(\frac{\hat{A}_b}{n_b T_d} + \frac{S}{T_d} + \frac{d_{eb} \theta q^2}{T_d} + \frac{\hat{h}_b q^2}{T_d} + \frac{\hat{h}_w}{T_w} \left(\frac{n_b(n_b-1)qT_d}{2} \right) \right) \quad (3.38)$$

3.6. Algoritma Solusi

Prosedur solusi pada penelitian ini menggunakan algoritma genetika. Prosedur algoritma yang digunakan sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Kumar and Uthayakumar 2019). Penyelesaian algoritma genetika dilakukan dengan menggunakan *software python*. Adapun prosedur algoritma yang dilakukan sebagai berikut;

- a. Tentukan fungsi tujuan, batas atas, batas atas dan jumlah variabel yang mempengaruhi nilai fungsi tujuan. Fungsi tujuan model yang dikembangkan adalah minimiasi total biaya gabungan pemasok dan pembeli dibawah kebijakan VMIC, total emisi karbon, total biaya masing-masing pemasok dan pembeli, total emisi pemasok dan pembeli, batas karbon dan pajak karbon. Pada

penelitian ini variabel yang mempengaruhi nilai fungsi tujuan yaitu variabel keputusan (n_b, n_v, q) dengan batas atas dan bawah masing-masing (36,10,100) dan (1,1,1).

b. Tentukan parameters N, Pm, Pc, beta, sigma.

N : Ukuran populasi yang terbentuk dari setiap kromosom, (100)

pm : Probabilitas mutasi/ sering terjadinya mutasi ,(0.2)

gamma : persentase yang dipertahankan dari masing-masing *parents*, (0.2)

Pc : Probabilitas crossover/ probabilitas terbentuknya individu baru (anak) (0.8)

maxiter : Maksimum iterasi (1000)

c. Buat inisiasi random populasi, yaitu menentukan posisi secara random.

d. Evaluasi fungsi tujuan: populasi yang terbentuk di evaluasi berdasarkan fungsi tujuan, evaluasi pada tahap ini merupakan evaluasi awal. Nilai yang didapatkan pada evaluasi ini akan digunakan untuk proses selanjutnya. Selanjutnya akan masuk ke tahap seleksi dan reproduksi.

1. Pilih kromosom *parents*. Pada tahap ini akan dilakukan pemilihan *parents* (P1 dan P2) yang selanjutnya akan digunakan untuk reproduksi individu baru.

2. Lakukan *crossover* (pindah silang). *Parents* yang telah terbentuk akan di pindah silang. Pada penelitian ini digunakan *crossover random uniform*. Dari proses ini akan menghasilkan c1 dan c2

3. Lakukan mutasi. Individu baru yang terbentuk dari proses *crossover* c1 dan c2, kemudian di mutasi, sehingga menghasilkan individu baru.

e. Evaluasi kembali fungsi tujuan. Individu baru yang terbentuk akan kembali di evaluasi sesuai dengan fungsi tujuan, apakah lebih baik atau lebih buruk dari individu sebelumnya

f. Sortir dan eliminasi individu baru. Individu-individu baru yang terbentuk akan disortit, kemudan dieliminasi yang terjelek. Individu baru yang dipilih yang selanjutnya dimasukkan kedalam populasi.

g. Kembali ke langkah 3

3.7. Verifikasi Model

Verifikasi model digunakan untuk memeriksa apakah model yang sudah dibangun sesuai atau tidak. Verifikasi model pada penelitian ini dengan menyesuaikan dengan dimensi satuan. Adapun verifikasi model yang dilakukan sebagai berikut;

1. Total Biaya VMIC

Total biaya sistem *vendor management inventory consignment* pada produk deteriorasi pada rantai pasok dua eselon dengan mempertimbangkan emisi karbon, dihitung berdasarkan gabungan biaya pembeli dan pemasok. Oleh karena itu, untuk verifikasi model yang dibangun, menggunakan satuan. Verifikasi model total biaya VMIC sebagai berikut.

$$TC(q, n_b, n_v) = \frac{(a+q(\theta+\beta))}{q} \left(\frac{A_v}{n_v n_b} + \frac{A_b}{n_b} + S + \frac{(tf+2dt_v c_1 + dt_v c_2 b n_b q)}{n_b} \right) +$$

$$\frac{h_v n_b q (a+q(\theta+\beta))}{2P} + \frac{h_n}{2} \left[(a + q(\theta + \beta)) \left(\frac{(n_b n_v - 1)q}{(a+q(\theta+\beta))} - \frac{(n_v - 1)n_b q}{P} \right) \right] + \frac{h_b q}{2} + \frac{C_p \theta q}{2}$$

$$TC(q, n_b, n_v) = \left(\frac{\frac{unit}{tahun} + unit}{unit} \right) \left(\$ + \$ + \$ + (\$ + km * \frac{\$}{liter} * \frac{liter}{km} + km * \frac{\$}{liter} * \right.$$

$$\left. \frac{liter}{km} * kg * unit) \right) + \frac{\frac{\$}{tahun} * unit * (\frac{unit}{tahun} + unit)}{\frac{unit}{tahun}} +$$

$$\frac{\frac{\$}{tahun} * ((\frac{unit}{tahun} * \frac{unit}{tahun}) - unit (\frac{unit}{tahun} + unit))}{\frac{unit}{tahun}} + \frac{\$}{tahun} * unit + \frac{\$}{unit} * unit$$

$$TC(q, n_b, n_v) = \frac{\$}{tahun} + \frac{\$}{tahun} + \frac{\$}{tahun} + \frac{\$}{tahun} + \$$$

$$TC(q, n_b, n_v) = \frac{\$}{tahun}$$

Karena model bentuk matematis $TC = TC_b = TC_v$, maka

$$TC_b(q, n_b, n_v) = \frac{\$}{tahun}$$

$$TC_v(q, n_b, n_v) = \frac{\$}{\text{tahun}}$$

2. Total Emisi

Total emisi sistem *vendor management inventory consignment* pada produk deteriorasi pada rantai pasok dua eselon dihitung berdasarkan gabungan emisi pembeli dan pemasok. Oleh karena itu, untuk verifikasi model digunakan model VMIC sebagai contoh dalam melakukan verifikasi model. Verifikasi model total biaya VMIC sebagai berikut.

$$TE(q, n_b, n_v) = \frac{(a+q(\theta+\beta))}{q} \left(\frac{\hat{A}_v}{n_v n_b} + \frac{\hat{A}_b}{n_b} + \frac{(2de_2+de_2n_bq)}{n_b} \right) + \frac{\hat{h}_v n_b q (a+q(\theta+\beta))}{2P} +$$

$$\frac{\hat{h}_n}{2} \left[(a+q(\theta+\beta)) \left(\frac{(n_b n_v - 1)q}{(a+q(\theta+\beta))} - \frac{(n_v - 1)n_b q}{P} \right) \right] + \frac{\hat{h}_b q}{2} + \frac{d_{eb} \theta q}{2}$$

$$TE(q, n_b, n_v) = \frac{\left(\frac{\text{unit}}{\text{tahun}} + \text{unit} \right)}{\text{unit}} \left(kgCO_2 + kgCO_2 + km * \frac{\frac{kgCO_2}{\text{unit}}}{km} + km * \frac{\frac{kgCO_2}{\text{unit}}}{km} * \right.$$

$$\left. \text{unit} \right) + \frac{\frac{kgCO_2}{\text{unit}} * \text{unit} * \left(\frac{\text{unit}}{\text{tahun}} + \text{unit} \right)}{\frac{\text{unit}}{\text{tahun}}} + \frac{kgCO_2}{\text{tahun}} \left[\left(\text{unit} + \text{unit} \left(\frac{\text{unit}}{\left(\frac{\text{unit}}{\text{tahun}} + \text{unit} \right)} - \right. \right. \right.$$

$$\left. \left. \frac{\text{unit}}{\text{tahun}} \right) \right] + \frac{kgCO_2}{\text{tahun}} * \text{unit} + \frac{kgCO_2}{\text{unit}} * \text{unit}$$

$$TE(q, n_b, n_v) = \frac{kgCO_2}{\text{tahun}} + \frac{kgCO_2}{\text{tahun}} + \frac{kgCO_2}{\text{tahun}} + kgCO_2$$

Karena kg dan ton merupakan satuan berat, dan dari rujukan penelitian sebelumnya menggunakan $tonCO_2$, maka didapatkan;

$$TE(q, n_b, n_v) = tonCO_2/\text{tahun}$$

Karena bentuk model matematis $TE = TE_b = TE_v$ yang mirip dengan satuan parameter yang sama, maka:

$$TE_b(q, n_b, n_v) = tonCO_2/\text{tahun}$$

$$TE_v(q, n_b, n_v) = tonCO_2/\text{tahun}$$

BAB IV

IMPLEMENTASI MODEL

Bab ini menjelaskan implementasi model-model yang telah dibangun kedalam kasus perusahaan. Data-data yang diperlukan diperoleh dari data sekunder, yaitu data dari penelitian sebelumnya.

4.1 Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder. Data sekunder merupakan data yang didapatkan secara tidak langsung. Data sekunder dapat diperoleh melalui studi pustaka, literatur-literatur, majalah, katalog dan sumber data lainnya. Pada penelitian ini data yang digunakan merupakan data campuran dari berbagai penelitian sebelumnya yang dimodifikasi sesuai dengan studi kasus.

4.1.1 Studi Kasus

Pada penelitian ini akan dilakukan analisis terhadap satu jenis produk yang mudah mengalami deteriorasi atau penurunan akibat penyimpanan atau penanganan yang tidak tepat. Produk yang mudah mengalami deteriorasi contohnya *frozen food*, susu, obat-obatan, makanan kaleng dll. Kasus pada penelitian ini, diambil produk ikan sarden kaleng. Ikan sarden kaleng merupakan salah satu jenis produk deteriorasi *non-perishable* yang mudah mengalami penurunan akibat mikroorganisme dan penanganan yang tidak tepat. Adapun tingkat penurunan kualitas pada penelitian ini dianggap konstan.

4.1.2 Data Pemasok

Seperti yang dijelaskan pada Bab sebelumnya, data pemasok yang dibutuhkan dalam penelitian ini terdiri dari data tingkat produksi, biaya *setup*, biaya simpan, dan biaya transportasi.

4.1.2.1 Data Tingkat Produksi Pemasok

Penelitian ini menganalisis satu jenis produk terdeteriorasi yang mudah mengalami penurunan kualitas. Seperti yang telah dijelaskana diatas produk yang akan dianalisis adalah produk ikan sarden kaleng. Permintaan terhadap produk ikan

sarden kaleng cukup tinggi, terutama pada masa pandemi. Berikut data produksi ikan sarden kaleng perusahaan X tahun 2020 dapat dilihat dari Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Produksi Sarden Kaleng

Produksi Sarden Kaleng	
Bulan	Unit
Januari	52380
Februari	49195
Maret	53787
April	47919
Mei	46542
Juni	48794
Juli	51178
Agustus	51979
September	53516
Oktober	56542
November	49739
Desember	44936
Jumlah	606507

Berdasarkan tabel diatas diketahui jumlah produksi ikan sarden kaleng perusahaan X pada tahun 2020 adalah sebanyak 606.507 unit/tahun.

4.1.2.2 Biaya *Setup* Pemasok

Biaya *setup* merupakan biaya yang timbul dalam mempersiapkan mesin dan peralatan yang digunakan dalam produksi. Biaya *setup* pemasok terdiri dari biaya tenaga kerja, biaya energi, listrik, dan perbaikan mesin produksi (*maintenance*). Berikut adalah rincian biaya *setup* pemasok.

- Biaya tenaga kerja	:\$ 107.291.820/tahun
- Biaya energi	:\$ 46.968.794/tahun
- Biaya maintenance	:\$ 23.952.839/tahun +
Total biaya	:\$178.231.453 /tahun

Total produksi per tahun 606.507/tahun. Dimisalkan 1 hari waktu *setup* 30 menit dengan 8 jam kerja per hari, sehingga didapatkan total biaya *setup* pemasok.

$$= \frac{30 \text{ menit}}{60 \frac{\text{menit}}{\text{jam}} \times 8 \frac{\text{jam}}{\text{hari}}} \times \frac{\$ 178.231.453}{1 \text{ setup} \times 250 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}}}$$

$$=\$ 44.557,863 /setup \sim \$ 44.557 /setup$$

Berdasarkan perhitungan diatas maka didapatkan biaya emisi *setup* pemasok sebesar \$ 44.557/*setup*. Besarnya emisi karbon yang dipancarkan pemasok dari kegiatan *setup* yaitu sebesar 957 kgCO₂.

4.1.2.3 Biaya Simpan Pemasok

Biaya simpan merupakan biaya yang berkaitan dengan biaya penyimpanan produk. Biaya simpan pemasok terdiri dari dua komponen biaya yaitu biaya fisik dan biaya finansial. Biaya fisik komponen yaitu biaya yang dikeluarkan untuk menunjang proses penyimpanan produk (biaya pendukung) seperti biaya sewa gedung, biaya listrik, biaya peralatan (rak penyimpanan). Sedangkan biaya finansial yaitu biaya yang berkaitan dengan proporsi biaya kemungkinan, yang dihitung dari investasi biaya produk. Biaya-biaya penyimpanan terdiri dari administrasi gudang, biaya listrik, biaya modal yang tertanam dalam persediaan, biaya emisi karbon dari pemakaian tenaga listrik atau elektronik, biaya tenaga kerja pelaksana gudang.

- Biaya tenaga kerja	:\$ 92.800.000/tahun
- Biaya sewa gedung dan penyusutan	:\$ 72.000.000/tahun
- Biaya listrik	:\$ 44.551.000/tahun
- Biaya peralatan dan penyusutan	:\$ 24.000.000/tahun+
Total biaya	: \$233.351.000/tahun

$$\begin{aligned} \text{Biaya simpan pemasok} &= \frac{\text{Total Biaya}}{\text{Total produksi}} \\ &= \$233.351.000 / 606.507 \\ &= \$385/\text{unit}/\text{tahun} \end{aligned}$$

Besarnya biaya finansial pemasok dapat dihitung dengan cara mengalikan biaya investasi (misalnya biaya produksi) dengan proporsi biaya modal.

$$\begin{aligned} \text{Biaya finansial pemasok} &= 2000 \times 0,1 \\ &= \$ 200/\text{unit}/\text{tahun} \end{aligned}$$

Untuk biaya emisi karbon dari konsumsi elektronik mengikuti (Daryanto dan Wee, 2018), yaitu dimana standar emisi elektronik sebesar 500 grCO₂/kWh dan rata-rata konsumsi energi digudang sebesar 100 kWh/unit/tahun. Sedangkan total emisi karbon dari penyimpanan di gudang per satuan produk sebesar 4 kgCO₂/unit/tahun.

4.1.2.4 Biaya Transportasi Pemasok

Biaya transportasi merupakan biaya yang dikeluarkan karena aktivitas pengiriman produk dari pemasok ke gudang pembeli. Besaran biaya transportasi dipengaruhi oleh jarak pengiriman dan berat muatan yang dikirim. Adapun untuk biaya transportasi pada penelitian ini menggunakan dari penelitian (Daryanto & Wee, 2018).

- Biaya tetap transportasi pemasok : \$ 500/trip
- Biaya variabel transportasi pemasok : \$ 0.75/liter
- Jarak antara pemasok dengan gudang pembeli : 100 km
- Konsumsi bahan bakar tanpa muatan : \$ 30 liter/100 km
- Konsumsi bahan bakar tambahan per muatan : \$ 0.45 liter/100km/muatan
- Emisi karbon dari bahan bakar : 0,00078 kgCO₂/km
- Tambahan emisi karbon transportasi per unit : Rp. 4.5×10^{-6} kgCO₂/unit/km
- Berat produk : 0.425 kg/unit

4.1.3 Data Pembeli

Data pembeli yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data permintaan pembeli yang merupakan data peramalan dari permintaan konsumen akhir. Data selanjutnya yang dibutuhkan adalah biaya simpan, biaya pesan, biaya kirim dan biaya detriorasi.

4.1.3.1 Data Permintaan Pembeli

Data permintaan pembeli terhadap susu siap minum kemasan dari pelanggan selama tiga tahun terakhir dapat dilihat pada tabel 4.2. Data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari data penelitian yang dilakukan oleh (Tambunan, 2021).

Tabel 4.2 Data Permintaan Sarden Kaleng

Permintaan Sarden Kaleng	
Bulan	Unit
Januari	31428
Februari	32702
Maret	30865
April	33212

Permintaan Sarden Kaleng	
Bulan	Unit
Mei	33763
Juni	32862
Juli	31908
Agustus	31588
September	30973
Oktober	29763
November	32484
Desember	34405
Rata-rata	32162

Seperti pada data pemasok, untuk data permintaan pembeli digunakan data tahun 2021.

4.1.3.2 Biaya Pesan Pembeli

Dalam melakukan pemesanan produk, pembeli (perusahaan Y) akan mengeluarkan sejumlah biaya diantaranya biaya komunikasi dan biaya administrasi. Biaya ini terdiri dari biaya telpon, internet, dan cetak surat yang dibuat perusahaan untuk mencatat jumlah, spesifikasi produk yang dibutuhkan kepada pemasok dan biaya tenaga kerja untuk penerimaan produk. Biaya penerimaan produk yaitu, biaya yang dikeluarkan untuk bongkar muat produk dari truk ke gudang pembeli. Berdasarkan aturan *vendor management inventory consignment* biaya pesan awal pembeli dibebankan kepada pemasok. Akan tetapi untuk menghitung biaya masing-masing pemasok dan pembeli sehingga dibutuhkan rincian biaya pesan pembeli. Adapun rincian biaya pesan pembeli sebagai berikut:

- Biaya telpon dan internet :\$ 9.540.000/tahun
- Biaya administrasi :\$ 4.380.000/tahun
- Biaya tenaga kerja :\$ 42.000.000/tahun

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya pesan pembeli} &= \frac{\text{Biaya telpon dan internet} + \text{biaya administrasi}}{\text{rata-rata permintaan}} \\
 &= \frac{9.540.000 + 4.380.000 + 42.000.000}{32.162} \\
 &= \$ 563 / \text{pesanan}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan biaya pesan pembeli sebesar \$ 563/pesan. Sedangkan, biaya transfer dari gudang pembeli ke rak pembeli sebesar \$5000/transfer. Adapun jumlah emisi dari kegiatan pemesanan :

4.1.3.3 Biaya Simpan Pembeli

Biaya simpan perusahaan Y selaku pembeli terdiri dari biaya simpan di gudang dan biaya simpan di rak pembeli. Untuk biaya simpan gudang pembeli menetapkan biaya listrik, sewa gudang, keamanan gudang dan perawatan gudang. Sementara itu, untuk biaya simpan di rak, pembeli menetapkan biaya pembelian rak, listrik dan perawatan.

1. Biaya simpan di gudang

- Sewa gedung dan penyusutan : \$ 88.000.000/tahun
- Biaya tenaga kerja : \$ 74.446.000/tahun
- Biaya Listrik : \$ 39.500.000/tahun
- Biaya peralatan dan penyusutan : \$ 25.400.000/tahun

Berdasarkan data diatas, maka biaya finansial penyimpanan produk di gudang pembeli sebesar \$ 570/unit/tahun dan biaya komponen \$ 365/unit/tahun, dengan kapasitas maksimal gudang 500.000 unit. Dari data diatas besarnya biaya emisi yang didapatkan

2. Biaya simpan di rak

- Biaya tenaga kerja : \$ 36.750.000/tahun
- Biaya listrik : \$ 25.363.000/tahun
- Biaya peralatan : \$ 8.968.000/tahun +
- Jumlah : \$ 71.081.000/tahun
- Kapasitas maksimal rak 100 unit

Jadi biaya simpan di rak pembeli \$ 1.580/unit/tahun

4.1.3.4 Biaya Deteriorasi Pembeli

Perusahaan Y menetapkan biaya deteriorasi yang terjadi di gudang maupun dirak pembeli. Biaya deteriorasi timbul akibat penurunan nilai suatu

produk. Pada kasus ini, tingkat deteriorasi produk diketahui dan konstan seiring dengan waktu. Adapun biaya deteriorasi pembeli terdiri dari;

- Biaya deteriorasi di rak pembeli : \$ 600/unit
- Emisi deteriorasi : 5 kgCO₂/unit
- Tingkat deteriorasi produk : 0,1

Data deteriorasi pembeli yang digunakan merupakan data dari penelitian yang dilakukan oleh (Daryanto & Wee, 2018), (Tiwari et al., 2018), (Lee & Kim, 2014) dan (Yang & Wee, 2000).

Secara singkat data numerik parameter yang digunakan sesuai dengan penelitian (Daryanto and Wee, 2018) sebagai berikut;

Tabel 4.3 Data Nilai Parameter yang digunakan

Parameter	Nilai	Satuan
Rata-rata tingkat permintaan (a)	32.162	Unit/tahun
Tingkat produksi pemasok (P)	606.507	Unit/tahun
Biaya pesan pembeli (A_b)	563	/pesan
Tingkat deteriorasi produk (θ)	0,1	
Biaya simpan pembeli (h_b)	1.580	\$/unit/tahun
Biaya deteriorasi pembeli (C_p)	600	\$/unit
Biaya setup pemasok (A_v)	44.557	\$/setup
Biaya simpan finansial pemasok (h_v^{fin})	200	\$/unit/tahun
Biaya simpan komponen pemasok (h_v^{phy})	385	\$/unit/tahun
Biaya simpan finansial gudang pembeli (h_w^{fin})	570	\$/unit/tahun
Biaya simpan komponen pembeli (h_w^{phy})	365	\$/unit/tahun
Biaya simpan gudang pembeli (h_w)	935	\$/unit/tahun
Biaya simpan pemasok (h_v)	585	\$/unit/tahun
Biaya simpan sistem (h_n)	565	\$/unit/tahun
Total emisi setup pemasok (\hat{A}_v)	957	kgCO ₂
Total emisi simpan pemasok (\hat{h}_v)	4	kgCO ₂ /unit/tahun

Parameter	Nilai	Satuan
Total emisi pesan pembeli (\hat{A}_b)	15	kgCO ₂
Total emisi simpan pembeli di gudang (\hat{h}_w)	6	kgCO ₂ /unit/tahun
Total emisi simpan sistem (\hat{h}_n)	2	kgCO ₂ /unit/tahun
Total emisi simpan pembeli di rak (\hat{h}_b)	8	kgCO ₂ /unit/tahun
Biaya pengiriman produk ke rak pembeli (S)	5,000	\$/transfer
Biaya tetap transportasi (tf)	500	\$/trip
Biaya variabel transportasi (t_v)	0.75	\$/liter
Biaya dari bahan bakar (c_1)	30	/100 km
Biaya tambahan bahan bakar per muatan (c_2)	0.45	/100 km/ton
Jumlah emisi dari bahan bakar (e_1)	0.00078	tonCO ₂ /km
jumlah tambahan emisi bahan bakar per muatan (e_2)	4.5-6	tonCO ₂ /unit/km
Jarak tempuh (d)	100	Km
Berat produk (b)	0,425	Kg
Biaya emisi deteriorasi (d_{eb})	5	kgCO ₂ /unit
Batas atas karbon (\hat{C})	1200	tonCO ₂ /tahun
Batas atas karbon pembeli (\hat{C}_b)	400	tonCO ₂ /tahun
Batas atas karbon pemasok (\hat{C}_v)	800	tonCO ₂ /tahun
Pajak karbon (tx)	61.8	\$/tonCO ₂
Penalty (r)	400,000	

4.2 Pengolahan Data

Pengolahan data pada penelitian ini menggunakan *software python*. Sesuai dengan prosedur pencarian solusi atau algoritma solusi, pengolahan data yang dilakukan dengan menggunakan algoritma genetika. Proses pengolahan data dilakukan dengan memasukkan nilai dari parameter yang telah ditentukan. Pengolahan data dilakukan per masing-masing model, sehingga menghasilkan nilai optimasi yang berbeda antar model. Adapun hasil pengolahan data yang telah dilakukan sebagai berikut.

1. Model I. *Vendor Management Inventory Consignment* (VMIC)

Pengolahan data ini dilakukan dengan menggunakan *software Spyder* (*Anaconda 3*), dan batasan-batasan jumlah iterasi yang dilakukan sebanyak 1000 iterasi dan *tunning* program sebanyak 20 kali. Batasan kedua variabel minimal dan maksimal dari setiap variabel keputusan n_v , n_b dan q masing-masing yaitu, (1,36), (1, 10) dan (1,100). Berdasarkan hasil yang didapatkan total biaya sistem rantai pasok dibawah kebijakan *vendor management inventory consignment* (TC) yaitu sebesar, \$ 1,663,459.81/tahun. Jumlah pengiriman ke rak pembeli (n_b) sebanyak 36 kali, dari pemasok ke gudang pembeli (n_v) sebanyak 10 kali dan kuantitas pengiriman dari gudang pembeli ke rak pembeli (q) sebanyak 99.9996 unit. Pengiriman dari pemasok ke pembeli diketahui $Q = n_b q$, sehingga didapatkan ukuran pengiriman sebanyak 3,599.856 unit. Adapun hasil pengolahan data secara singkat dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.4 Hasil Pengolahan Data Model I. VMIC

Running	TC	n_b	n_v	q
1	1,664,595.06	36	10	99.9981
2	1,663,531.47	36	10	99.9952
3	1,663,475.06	36	10	99.9986
4	1,664,384.04	36	10	99.9438
5	1,663,480.92	36	10	99.9983
6	1,663,459.81	36	10	99.9996
7	1,663,598.58	36	10	99.9912
8	1,663,541.67	36	10	99.9946
9	1,663,545.43	36	10	99.9944
10	1,663,745.51	36	10	99.9823
11	1,663,541.17	36	10	99.9947
12	1,663,597.36	36	10	99.9913
13	1,663,946.21	36	10	99.9702
14	1,663,568.32	36	10	99.9993
15	1,663,828.94	36	10	99.9773
16	1,663,498.33	36	10	99.9972
17	1,663,809.06	36	10	99.9785
18	1,663,586.92	36	10	99.9919
19	1,663,528.42	36	10	99.9954
20	1,663,546.40	36	10	99.9943

2. Model II. Emisi Karbon *Vendor Management Inventory Consignment*

Berdasarkan hasil pengolahan data menggunakan bantuan *software Spyder* (*Anaconda 3*), dengan variabel keputusan n_b , n_v , dan q , didapatkan total emisi karbon kebijakan *vendor management inventory consignment* (TCE) yaitu sebesar 8,819.54 tonCO₂/tahun. Jumlah pengiriman ke rak pembeli (n_b) sebanyak 36 kali, dari pemasok ke gudang pembeli (n_v) sebanyak 10 kali dan ukuran pengiriman dari gudang pembeli ke rak pembeli (q) sebanyak 99.9997 unit. Pengiriman dari pemasok ke pembeli diketahui $Q = n_b q$, sehingga didapatkan ukuran pengiriman sebanyak 3,599,98 unit. Total emisi karbon yang dikeluarkan lebih besar dari batas yang telah ditentukan yaitu sebesar 1,200 tonCO₂/tahun, sehingga dengan menggunakan sistem ini pemasok dan pembeli dikenakan *penalty* sebesar \$400.000. Adapun hasil pengolahan data secara singkat dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.5 Hasil Pengolahan Data Model II. Emisi Karbon VMIC

Runing	TE	n_b	n_v	q
1	8,819.58	36	10	99.99241
2	8,819.60	36	10	99.98733
3	8,819.54	36	10	99.9997
4	8819.600	36	10	99.98825
5	8,819.59	36	10	99.9907
6	8819.550	36	10	99.99758
7	8,819.59	36	10	99.99086
8	8,819.54	36	10	99.99904
9	8,819.58	36	10	99.99166
10	8,819.57	36	10	99.99317
11	8,819.55	36	10	99.99682
12	8,819.62	36	10	99.98399
13	8,819.55	36	10	99.99814
14	8,819.63	36	10	99.98311
15	8,819.62	36	10	99.98516
16	8819.57	36	10	99.99393
17	8,819.58	36	10	99.99119
18	8,819.55	36	10	99.99825
19	8,819.61	36	10	99.98648
20	8,819.83	36	10	99.94597

3. Model III. Model Pemasok dan Pembeli

Pada model ini akan dicari total biaya dan total emisi dari masing-masing pemasok dan pembeli. Adapun variabel keputusan dalam model ini antara pemasok dan pembeli berbeda-beda. Pada model pemasok variabel keputusan yaitu jumlah pengiriman dari pemasok ke gudang pembeli (n_v) dengan kriteria performansi total biaya pemasok (TC_v) dan total emisi pemasok (TE_v). Sedangkan model pembeli dengan variabel keputusan jumlah pengiriman dari gudang pembeli ke rak pembeli (n_b) dan ukuran pengiriman (q) dengan kriteria performansi total biaya pembeli (TC_b) dan total emisi pembeli (TE_b). Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan bantuan *software spyder (Anaconda 3)*, dengan jumlah iterasi 1000 kali dan 20 kali running program. Adapun hasil pengolahan daa model *independent* pemasok dan pembeli sebagai berikut.

a. Model Pembeli untuk Total Biaya

Berdasarkan hasil perhitungan dengan batas bawah dan atas pengiriman dari gudang pembeli ke rak pembeli (1, 36) dan ukuran pengiriman (1,100), didapatkan total biaya sistem rantai pasok dibawah kebijakan pembeli (TC_b), yaitu sebesar \$1,614,136.33/tahun. Jumlah pengiriman ke rak pembeli (n_b) sebanyak 36 kali, dan kuantitas pengiriman dari gudang pembeli ke rak pembeli (q) sebanyak 99,99979 unit. Jika kuantitas pengiriman dari pemasok ke gudang pembeli $Q = n_b q$, maka didapatkan sebanyak 3,599,99244 unit \sim 3,600 unit. Adapun hasil pengolahan data secara singkat dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.6 Hasil Pengolahan Data Model III. Total Biaya Model Pembeli

Runing	TC_b	n_b	n_v	q
1	1,614,250.32	36	-	99.99272
2	1,614,352.14	36	-	99.98641
3	1,614,194.13	36	-	99.99621
4	1,614,158.38	36	-	99.99842
5	1,614,342.07	36	-	99.98704
6	1,614,153.21	36	-	99.99874
7	1,614,170.43	36	-	99.99767
8	1,614,214.09	36	-	99.99497
9	1,614,206.45	36	-	99.99544

Runing	TC_b	n_b	n_v	q
10	1,614,297.50	36	-	99.9898
11	1,614,390.98	36	-	99.984
12	1,614,136.33	36	-	99.99979
13	1,614,147.83	36	-	99.99907
14	1,614,233.73	36	-	99.99375
15	1,614,216.45	36	-	99.99482
16	1,614,193.86	36	-	99.99622
17	1,614,255.88	36	-	99.99238
18	1,614,318.99	36	-	99.98847
19	1,614,281.19	36	-	99.99081
20	1,614,188.61	36	-	99.99655

b. Model Pemasok

Berdasarkan hasil perhitungan dengan batas bawah dan atas pengiriman dari pemasok ke gudang pembeli (1, 10), didapatkan total biaya sistem rantai pasok dibawah kebijakan pemasok (TC_v), yaitu sebesar \$447,221.43/tahun. Jumlah pengiriman dari pemasok ke gudang pembeli (n_v) sebanyak 10 kali, dan kuantitas pengiriman dari gudang pembeli ke rak pembeli (q) sebanyak 1 unit. Pada model ini ada pengaruh timbal balik antara kuantitas pengiriman dan jumlah pengiriman dari gudang pembeli ke rak pembeli. Besarnya kuantitas pengiriman dapat ditentukan dengan menggunakan batas atas atau batas bawah (1,100), begitupula dengan jumlah pengiriman dengan batasan (1, 36). pada model pemasok, didapatkan hasil optimasi besarnya kuantitas pengiriman sebanyak 1 unit dengan jumlah pengiriman dari gudang ke rak pembeli sebanyak 36 kali. Adapun hasil pengolahan data secara singkat dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.7 Hasil Pengolahan Data Model III. Total Biaya Model Pemasok

Runing	TC_v	n_b	n_v	q
1	447,221.47	36	10	1
2	447,227.25	36	10	1
3	447,224.96	36	10	1
4	447,223.46	36	10	1
5	447,225.28	36	10	1
6	447,221.43	36	10	1

Runing	TC_v	n_b	n_v	q
7	447,222.56	36	10	1
8	447,225.32	36	10	1
9	447,224.81	36	10	1
10	447,221.51	36	10	1
11	447,238.87	36	10	1
12	447,222.67	36	10	1
13	447,223.90	36	10	1
14	447,223.98	36	10	1
15	447,225.01	36	10	1
16	447,223.23	36	10	1
17	447,221.80	36	10	1
18	447,222.21	36	10	1
19	447,231.65	36	10	1
20	447,225.11	36	10	1

c. Model Emisi Pembeli

Berdasarkan hasil perhitungan dengan batas bawah dan atas pengiriman dari gudang pembeli ke rak pembeli (1, 36) dan ukuran pengiriman (1,100), didapatkan total biaya emisi karbon yang dihasilkan dari kegiatan pembeli (TE_b), yaitu sebesar 0.31409125tonCO₂/tahun. Jumlah pengiriman ke rak pembeli (n_b) sebanyak 36 kali, dan kuantitas pengiriman dari gudang pembeli ke rak pembeli (q) sebanyak 99,9996 unit. Jika kuantitas pengiriman dari pemasok ke gudang pembeli $Q = n_b q$, maka didapatkan sebanyak 3,599,99244 unit \sim 3,600 unit. Jumlah emisi yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan dengan batas atas emisi yang telah ditentukan. Adapun hasil pengolahan data secara singkat dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.8 Hasil Pengolahan Data Model III. Model Emisi Pembeli

Runing	TE_b	n_b	n_v	q
1	0.13410067	36	-	99.9933
2	0.13409478	36	-	99.9977
3	0.13410149	36	-	99.9927
4	0.1341024	36	-	99.992
5	0.13409616	36	-	99.9966
6	0.13409557	36	-	99.9971

Runing	TE_b	n_b	n_v	q
7	0.13409516	36	-	99.9963
8	0.13409851	36	-	99.9949
9	0.13410185	36	-	99.9924
10	0.13409857	36	-	99.9948
11	0.13409928	36	-	99.9943
12	0.13409241	36	-	99.9994
13	0.13409788	36	-	99.9954
14	0.13409465	36	-	99.9978
15	0.13409536	36	-	99.9972
16	0.13409215	36	-	99.9996
17	0.13409866	36	-	99.9948
18	0.13409321	36	-	99.9988
19	0.13411464	36	-	99.9829
20	0.13409506	36	-	99.9975

d. Model Emisi Pemasok

Berdasarkan hasil perhitungan dengan batas bawah dan atas pengiriman dari pemasok ke gudang pembeli (1, 10), didapatkan total emisi dari kegiatan pemasok (TE_v), yaitu sebesar 8,824.83tonCO₂/tahun. Jumlah pengiriman dari pemasok ke gudang pembeli (n_v) sebanyak 10 kali, dan kuantitas pengiriman dari gudang pembeli ke rak pembeli (q) sebanyak 98,9989 unit. Pada model ini ada pengaruh timbal balik antara kuantitas pengiriman dan jumlah pengiriman dari gudang pembeli ke rak pembeli. Besarnya kuantitas pengiriman dapat ditentukan dengan menggunakan batas atas atau batas bawah (1,100), begitupula dengan jumlah pengiriman dengan batasan (1, 36). Jumlah emisi yang dihasilkan dari kegiatan pemasok lebih tinggi dibandingkan dengan batas emisi yang telah ditetapkan. Adapun hasil pengolahan data secara singkat dapat dilihat pada tabel di bawah ini

Tabel 4.9 Hasil Pengolahan Data Model III. Model Emisi Pemasok

Runing	TE_v	n_b	n_v	q
1	8,824.88	36	10	98.9892
2	8,824.84	36	10	98.9996
3	8,824.83	36	10	98.9989

Runing	TE_v	n_b	n_v	q
4	8,824.84	36	10	98.9957
5	8,824.98	36	10	98.9711
6	8,824.86	36	10	98.9922
7	8,824.84	36	10	98.9957
8	8,824.83	36	10	98.9982
9	8,824.89	36	10	98.9883
10	8,824.89	36	10	98.9882
11	8,824.86	36	10	98.9922
12	8,824.84	36	10	98.9965
13	8,824.97	36	10	98.9731
14	8,824.98	36	10	98.9714
15	8,824.89	36	10	98.9871
16	8,824.88	36	10	98.9894
17	8,824.88	36	10	98.9898
18	8,824.86	36	10	98.9921
19	8,824.86	36	10	98.9931
20	8,824.95	36	10	98.9767

4. Model IV. Batasan Karbon

Batasan pada model ini adalah total emisi kurang dari atau sama dengan batas atas karbon. Batas atas karbon sistem VMIC, pemasok dan pembeli berbeda-beda dan besarnya ditentukan oleh peneliti. Apabila emisi karbon yang dihasilkan lebih besar dari batas atas karbon yang telah ditentukan, maka akan mendapatkan *penalty*, yang besarnya telah ditentukan. Proses pengolahan data yang dilakukan dengan bantuan *software Spyder (Anaconda 3)* dengan *running* program sebanyak 20 kali. Adapun hasil pengolahan data secara singkat dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

a. Model Pembeli

Hasil yang pengolahan data didapatkan total biaya optimal sistem rantai pasok dibawah kebijakan pembeli, yaitu sebesar \$ 1,614,133.40/tahun. Jumlah pengiriman dari gudang pembeli ke rak pembeli sebanyak 36 kali, dengan ukuran pengiriman sebanyak 100 unit. Sehingga didapatkan jumlah pengiriman dari pemasok ke gudang pembeli dengan rumus $Q = n_b q$, sebanyak 3,600 unit. Emisi karbon yang

dihasilkan dari aktivitas pembeli lebih kecil dibandingkan dengan batas atas karbon yang telah ditentukan yaitu $0.134092 \text{ tonCO}_2/\text{tahun} \leq 400 \text{ tonCO}_2/\text{tahun}$. Oleh karena itu, pembeli tidak dikenakan *penalty*. Adapun hasil pengolahan data secara singkat dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.10 Hasil Pengolahan Data Model IV. Model Pembeli

Running	TCC_b	n_b	n_v	q
1	1,614,138.70	36		100.00
2	1,614,162.69	36		100.00
3	1,614,133.40	36		100.00
4	1,614,258.44	36		99.99
5	1,614,157.99	36		100.00
6	1,614,155.06	36		100.00
7	1,614,242.71	36		99.99
8	1,614,240.48	36		99.99
9	1,614,217.01	36		99.99
10	1,614,205.64	36		100.00
11	1,614,325.29	36		99.99
12	1,614,245.91	36		99.99
13	1,614,192.52	36		100.00
14	1,614,457.78	36		99.98
15	1,614,431.10	36		99.98
16	1,614,252.22	36		99.9926
17	1,614,280.66	36		99.9908
18	1,614,218.88	36		99.9947
19	1,614,183.51	36		100.00
20	1,614,153.04	36		100.00

b. Model Pemasok

Hasil yang pengolahan data didapatkan total biaya optimal sistem rantai pasok dibawah kebijakan pemasok, yaitu sebesar \$847,221.37/tahun. Jumlah pengiriman dari gudang pembeli ke rak pembeli sebanyak 36 kali dan jumlah pengiriman dari pemasok ke pembeli sebanyak 10 kali. Pada model ini, besarnya ukurang pengiriman q dapat ditentukan dengan $q = 1$ atau $q = 100$. Oleh karena itu, hasil perhitungan didapatkan $q = 1$. Sehingga didapatkan jumlah pengiriman dari pemasok ke gudang pembeli dengan rumus $Q = n_b q$,

sebanyak 36 unit. Emisi karbon yang dihasilkan dari aktivitas pemasok lebih besar dibandingkan dengan batas atas karbon yang telah ditentukan yaitu $8,824.83 \text{ tonCO}_2/\text{tahun} \geq 800 \text{ tonCO}_2/\text{tahun}$. Oleh karena itu, pemasok dikenakan *penalty* sebesar \$400.000. Adapun hasil pengolahan data secara singkat dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.11 Hasil Pengolahan Data Model IV. Model Pemasok

Running	TCC_v	n_b	n_v	q
1	847,221.37	36	10	1.00
2	847,222.67	36	10	1.00
3	847,221.97	36	10	1.00
4	847,221.64	36	10	1.00
5	847,224.81	36	10	1.01
6	847,222.69	36	10	1.00
7	847,225.11	36	10	1.01
8	847,222.63	36	10	1.00
9	847,224.99	36	10	1.01
10	847,222.32	36	10	1.00
11	847,223.17	36	10	1.00
12	847,231.82	36	10	1.02
13	847,233.43	36	10	1.03
14	847,226.81	36	10	1.01
15	847,225.47	36	10	1.01
16	847,225.00	36	10	1.01
17	847,222.96	36	10	1.00
18	847,221.44	36	10	1.00
19	847,221.70	36	10	1.00
20	847,226.95	36	10	1.01

c. Model VMIC

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari perhitungan total biaya sistem rantai pasok dibawah kebijakan *vendor management inventory consignment*, total biaya optimal yaitu, Rp 1,757,368.74/tahun, dengan jumlah pengiriman ke rak pembeli sebanyak 12 kali, dan ukuran pengiriman dari gudang pembeli ke rak pembeli sebanyak 99.66 unit. Untuk pengiriman dari pemasok ke pembeli diketahui $Q =$

$n_b q$, maka didapatkan ukuran pengiriman sebanyak 1,195.92 unit. Adapun hasil pengolahan data secara singkat dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.12 Hasil Pengolahan Data Model IV. Model VMIC

Running	TCC	n_b	n_v	q
1	2,063,474.65	36	10	99.9986634
2	2,063,509.30	36	10	99.997
3	2,063,591.60	36	10	99.99
4	2,063,459.69	36	10	100.00
5	2,063,495.46	36	10	100.00
6	2,063,455.40	36	10	100.00
7	2,063,519.28	36	10	100.00
8	2,063,686.18	36	10	99.99
9	2,063,632.91	36	10	99.99
10	2,063,595.44	36	10	99.99
11	2,064,426.43	36	10	99.94
12	2,063,659.05	36	10	99.99
13	2,063,793.30	36	10	99.98
14	2,063,456.07	36	10	99.9998
15	2,063,950.18	36	10	99.97
16	2,063,453.83	36	10	99.9999192
17	2,063,496.85	36	10	99.9973243
18	2,063,536.48	36	10	99.9949339
19	2,063,537.11	36	10	99.99
20	2,063,453.43	36	10	99.9999

5. Model V. Pajak Karbon

Pengolahan data dilakukan dengan menjumlahkan total biaya dengan total emisi dikali dengan nilai pajak. Model ini bertujuan untuk menentukan biaya pajak optimal yang harus dikeluarkan oleh pemasok dan pembeli. Pada model ini akan di bagi dalam tiga bagian, dimana pada bagian a dan b akan memperlihatkan besaran pajak pada pembeli dan pemasok, sedangkan pada bagian c akan memperlihatkan besaran pajak dibawah kebijakan VMIC. Adapun hasil pengolahan dengan bantuan s data secara singkat dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

a. Model Pembeli

Hasil pengolahan data yang diperoleh menggunakan bantuan *software spyder* (*Anaconda 3*) dengan *running* program sebanyak 20 kali, didapatkan total biaya pajak optimal sistem rantai pasok dibawah kebijakan pemasok, yaitu sebesar \$1,037,122.74/tahun. Jumlah pengiriman dari gudang pembeli ke rak pembeli sebanyak 36 kali, dengan ukuran pengiriman sebanyak 99.9998 unit ~ 100 unit. Dari perhitungan tersebut didapatkan jumlah pengiriman dari pemasok ke pembeli dengan ukuran pengiriman $Q = n_b q$, yaitu sebanyak 3,600 unit. Adapun hasil pengolahan data secara singkat dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.13 Hasil Pengolahan Data Model V. Model pembeli

Running	$TCCC_b$	n_b	n_v	q
1	1,614,205.28	36		99.996
2	1,614,528.67	36		99.976
3	1,614,176.54	36		99.9978
4	1,614,179.71	36		99.9976
5	1,614,160.07	36		99.999
6	1,614,345.64	36		99.99
7	1,614,153.95	36		99.999
8	1,614,223.76	36		99.99
9	1,614,212.79	36		99.996
10	1,614,167.02	36		99.998
11	1,614,164.42	36		99.999
12	1,614,491.25	36		99.98
13	1,614,157.79	36		99.999
14	1,614,302.06	36		99.99
15	1,614,266.84	36		99.99
16	1,614,196.72	36	.	99.9966
17	1,614,196.20	36	.	99.9966
18	1,614,618.56	36	.	99.9704
19	1,614,145.18	36		99.9998
20	1,614,241.07	36		99.9938

b. Model Pemasok

Hasil pengolahan data yang diperoleh menggunakan bantuan *software spyder* (*Anaconda 3*) dengan *running* program sebanyak 20 kali, didapatkan total biaya pajak optimal sistem rantai pasok dibawah kebijakan pemasok, yaitu sebesar \$1,037,122.74/tahun. Jumlah pengiriman dari pemasok ke gudang pembeli sebanyak 10 kali, dengan ukuran pengiriman dari gudang pembeli ke rak pembeli sebanyak 84.58 unit. Dari perhitungan tersebut didapatkan jumlah pengiriman dari pemasok ke pembeli dengan ukuran pengiriman $Q = n_b q$, yaitu sebanyak 3,044.88 unit. Adapun hasil pengolahan data secara singkat dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.14 Hasil Pengolahan Data Model V. Model Pemasok

Running	$TCCC_v$	n_b	n_v	q
1	1,037,122.74	36	10	84.585
2	1,037,122.74	36	10	84.58
3	1,037,122.74	36	10	84.5858
4	1,037,122.74	36	10	84.5846
5	1,037,122.74	36	10	84.5842
6	1,037,122.74	36	10	84.586
7	1,037,122.74	36	10	84.5791
8	1,037,122.74	36	10	84.585
9	1,037,122.74	36	10	84.5864
10	1,037,122.74	36	10	84.5848
11	1,037,122.74	36	10	84.5847
12	1,037,122.74	36	10	84.5775
13	1,037,122.74	36	10	84.5856
14	1,037,122.74	36	10	84.5852
15	1,037,122.74	36	10	84.5852
16	1,037,122.74	36	10	84.5851
17	1,037,122.74	36	10	84.5851
18	1,037,122.74	36	10	84.5849
19	1,037,122.74	36	10	84.5871
20	1,037,122.74	36	10	84.5846

c. Model VMIC

Berdasarkan hasil pengolahan data menggunakan bantuan *software Spyder* (*Anaconda 3*) dengan 20 kali *running* program, didapatkan dari hasil perhitungan total biaya pajak optimal pajak sistem rantai pasok dibawah kebijakan *vendor management inventory consignment*, yaitu sebesar \$2,208,510.50/tahun dengan jumlah pengiriman ke rak pembeli sebanyak 36 kali, dari pemasok ke gudang pembeli sebanyak 10 kali dan ukuran pengiriman dari gudang pembeli ke rak pembeli sebanyak 99,9993 unit ~ 100 unit. Untuk pengiriman dari pemasok ke pembeli diketahui $Q = n_b q$, maka didapatkan ukuran pengiriman sebanyak 3,600 unit. Adapun hasil pengolahan data secara singkat dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.15 Hasil Pengolahan Data Model V. Model VMIC

Running	<i>TCCC</i>	n_b	n_v	q
1	2,208,636.54	36	10	99.9919189
2	2,208,614.90	36	10	99.9931982
3	2,208,510.50	36	10	99.9993716
4	2,208,646.22	36	10	99.9913462
5	2,208,696.38	36	10	99.9883809
6	2,208,515.52	36	10	99.999075
7	2,208,622.92	36	10	99.9927239
8	2,208,582.87	36	10	99.9950925
9	2,208,579.05	36	10	99.9953182
10	2,208,519.77	36	10	99.9988234
11	2,208,518.13	36	10	99.9989207
12	2,209,181.17	36	10	99.9597259
13	2,208,595.69	36	10	99.9943344
14	2,208,586.13	36	10	99.9948993
15	2,208,537.57	36	10	99.9977709
16	2,208,697.82	36	10	99.9882956
17	2,208,771.15	36	10	99.9839599
18	2,208,551.25	36	10	99.9969622
19	2,208,512.41	36	10	99.9992592
20	2,208,575.27	36	10	99.9955417

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahawa total biaya pajak dibawah kebijakan pembeli dan pemasok lebih tinggi dibandingkan dengan total biaya pajak dibawah kebijakan *vendor management inventory consignment* (VMIC). Hasil pengolahan data yang diperoleh dengan jumlah pengiriman dari gudang pembeli ke rak sebanyak 36 kali, dengan ukuran pengiriman dari gudang pembeli ke rak pembeli yaitu 100 unit. Sedangkan jumlah pengiriman dari pemasok ke pembeli sebanyak 10 kali, dengan ukuran pengiriman sebanyak 3,600 unit. Perbedaan total biaya pajak yang harus dikeluarkan dibawah kebijakan masing-masing pemasok dan pembeli dengan kebijakan VMIC, yaitu sebesar \$442,757.41/tahun. Artinya dengan kebijakan VMIC pemasok dan pembeli dapat menghemat biaya sebesar 17% setiap tahunnya.

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada Bab ini akan membahas mengenai hasil penelitian yang telah dilakukan dengan membandingkan perbandingan hasil dari tiap-tiap model yang telah dikembangkan. Selain itu pada juga akan melakukan analisis sensitivitas pada masing-masing model.

5.1. Perbandingan Total Biaya Masing-masing Model

Berdasarkan hasil perhitungan yang diperoleh dari Bab sebelumnya, selanjutnya akan diperlihatkan analisis perbedaan hasil dari tiap-tiap model. Adapun hasil yang diperoleh dapat dilihat sebagai berikut.

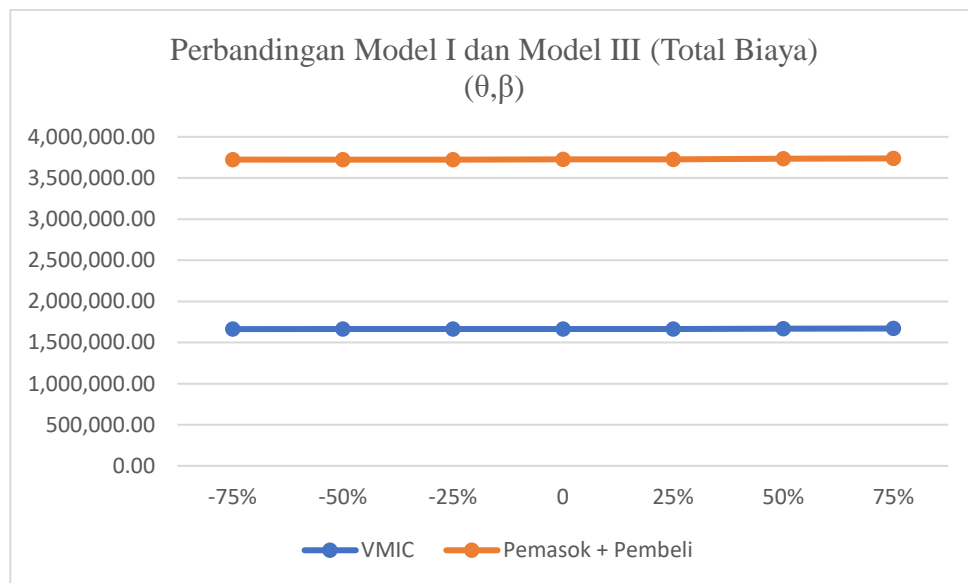
1. Perbandingan Model I dan Model III

Perbedaan model I dan model III yaitu berdasarkan pemangku kepentingan dan pengambil kebijakan dalam menentukan ukuran dan jumlah pengiriman. Model I merupakan model gabungan biaya pemasok dan pembeli dibawah kebijakan VMIC, sedangkan model III merupakan model *independent* (masing-masing) pemasok dan pembeli. Berdasarkan Bab sebelumnya diketahui total biaya gabungan sistem rantai pasok dibawah kebijakan VMI sebesar \$1,663,459.81/tahun, dengan kuantitas pengiriman dari gudang ke rak pembeli sebesar 99.9996 unit ~ 100 unit dalam 36 kali pengiriman. Pemasok melakukan pengiriman produk sebanyak 10 kali dengan kuantitas pengiriman 3,599,99856 unit ~ 3,600 unit. Sedangkan pada model III diketahui total biaya pembeli sebesar \$1,614,136.33/tahun dengan ukuran pengiriman ke rak pembeli sebanyak 99.99979 ~ 100 unit dengan jumlah pengiriman ke rak pembeli sebanyak 36. Total biaya pemasok sebesar \$447,221.43/tahun dengan 10 kali pengiriman ke gudang pembeli. Total biaya pembeli dan pemasok dijumlahkan sehingga menghasilkan total biaya sebesar \$2,061,357.77/tahun dengan kuantitas pengiriman ke gudang pembeli sebanyak 3,600 unit. Total biaya ini lebih besar dibandingkan total biaya dibawah kebijakan VMIC, dengan selisih sebesar \$397,897.96/tahun atau 19%. Untuk lebih lanjutnya perbandingan model I dan model III dilakukan dengan melakuka analisis

sensitivitas dengan mengubah nilai dari parameter θ dan β . Adapun perbandingan model I dan model III dapat dilihat pada tabel 5.1 dan gambar 5.1.

Tabel 5.1 Perbandingan Analisis Sensitivitas Model I dan Model III

θ, β	Pemasok + Pembeli				VMIC				Simpan	Simpan %
	TC	n_b	n_v	q	TC	n_b	n_v	q		
-75%	2,060,601.01	36	10	100	1,662,688.34	36	10	100	397,912.67	19%
-50%	2,060,854.67	36	10	100	1,662,940.74	36	10	100	397,913.93	19%
-25%	2,061,110.41	36	10	100	1,663,205.83	36	10	100	397,904.58	19%
0	2,061,357.77	36	10	100	1,663,459.81	36	10	100	397,897.96	19%
25%	2,062,876.02	36	10	100	1,665,013.08	36	10	100	397,862.94	19%
50%	2,065,405.02	36	10	100	1,667,592.36	36	10	100	397,812.66	19%
75%	2,067,909.53	36	10	100	1,670,173.33	36	10	100	397,736.20	19%



Gambar 5.1 Grafik perbandingan Model I dan Model III (Total Biaya)

Berdasarkan tabel 5.1 dan gambar 5.1, menjelaskan peningkatan nilai parameter θ dan β menyebabkan total biaya baik dibawah kebijakan VMIC maupun kebijakan masing-masing pemasok dan pembeli meningkat. Diketahui bahwa θ merupakan parameter tingkat deteriorasi produk, artinya total biaya akan meningkat seiring dengan meningkatnya tingkat deteriorasi produk. Peningkatan deteriorasi mengakibatkan banyak produk yang mengalami kerusakan sehingga

menyebabkan biaya deteriorasi meningkat, dan ketersediaan stok semakin menipis. Oleh karena itu, untuk memenuhi permintaan konsumen, maka tingkat persediaan pun harus ditingkatkan. Perubahan nilai parameter β yang seiring dengan perubahan nilai parameter θ , dikarenakan tingkat permintaan konsumen akhir dipengaruhi oleh tingkat stok. Ketersediaan stok akan menurun ataupun meningkat seiring dengan tingkat deteriorasi produk. Pembeli akan meningkatkan tingkat stok persediaan jika tingkat deteriorasi produk meningkat begitupun sebaliknya. Berdasarkan kondisi tersebut, untuk memenuhi permintaan pembeli, pemasok akan mengurangi atau menambah tingkat produksinya sesuai dengan informasi yang diberikan oleh pembeli. Sesuai kontrak *consignment* pemasok akan mengirim produk segera setelah selesai diproduksi ke gudang pembeli dan menyimpan produk tersebut sampai pembeli menggunakan produk. Selain itu, diketahui bahwa tingkat produksi pemasok lebih tinggi dibandingkan dengan tingkat maksimum permintaan pembeli.

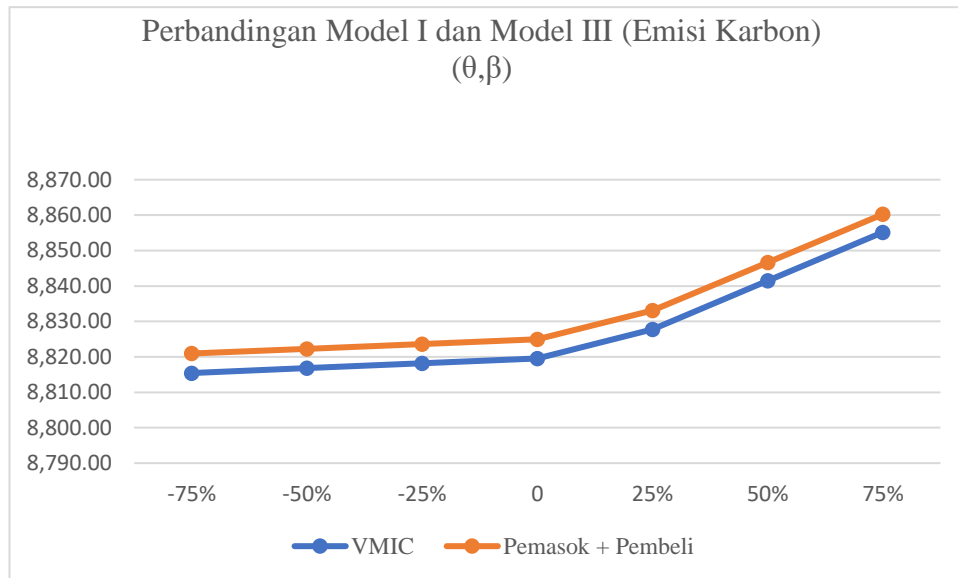
Peningkatan atau penurunan tingkat deteriorasi dan stok juga menyebabkan biaya simpan dan biaya transportasi meningkat. Kedua biaya ini dipengaruhi oleh jumlah unit produk yang disimpan maupun dikirim. Untuk meminimasi total biaya dan meningkatkan keuntungan, apabila tingkat deteriorasi meningkat, maka perlu dilakukan investasi teknologi untuk mengurangi tingkat deteriorasi produk. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Pal, Bardhan, and Giri 2018).

2. Perbandingan Model II dan Model III

Perbedaan model II dan model III sama seperti perbedaan model I dan model III yaitu pada sistem koordinasi. Pada model II, model matematis dibangun dengan mempertimbangkan total emisi karbon dibawah kebijakan VMIC, sedangkan pada model III mempertimbangan total emisi karbon dibawah kebijakan masing-masing pemasok dan pembeli. Tujuan dari kedua model ini sama yaitu meminimasi total emisi baik secara koordinasi dibawah kebijakan VMIC maupun masing-masing pemasok dan pembeli. Adapun perbandingan model II dan Model III (Emisi Karbon) sebagai berikut.

Tabel 5.2 Perbandingan Model II dan Model III (Emisi Karbon)

θ, β	Pemasok + Pembeli				VMIC				Simpan	Simpan %
	TE	n_b	n_v	q	TE	n_b	n_v	q		
-75%	8,820.95	36	10	100	8,815.43	36	10	100	5.52	0.06%
-50%	8,822.24	36	10	100	8,816.80	36	10	100	5.44	0.06%
-25%	8,823.60	36	10	100	8,818.17	36	10	100	5.43	0.06%
0	8,824.96	36	10	100	8,819.54	36	10	100	5.42	0.06%
25%	8,833.11	36	10	100	8,827.76	36	10	100	5.35	0.06%
50%	8,846.67	36	10	100	8,841.46	36	10	100	5.21	0.06%
75%	8,860.25	36	10	100	8,855.17	36	10	100	5.08	0.06%



Gambar 5.2 Grafik Perbandingan Model I dan Model III (Emisi karbon)

Berdasarkan Tabel 5.2 dan gambar 5.2 pada model II diketahui jumlah total emisi dibawah koordinasi sistem VMIC lebih kecil dibandingkan total emisi pemasok dan pembeli. peningkatan nilai dari parameter θ dan β meningkatkan total emisi baik dibawah kebijakan VMIC maupun kebijakan masing-masing pemasok dan pembeli. Penerapan kebijakan VMIC dapat mengurangi emisi karbon yang dipancarkan keluar sebanyak 0.06%. atau sebesar 5 tonCO₂/tahun. Jumlah pengurangan emisi karbon dengan kebijakan VMIC sangat sedikit dibandingkan dengan kebijakan VMIC dalam optimasi total biaya.

Pengurangan emisi karbon yang dihasilkan dibawah kebijakan VMIC tidak signifikan. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor seperti proses transportasi dari pemasok ke gudang pembeli.

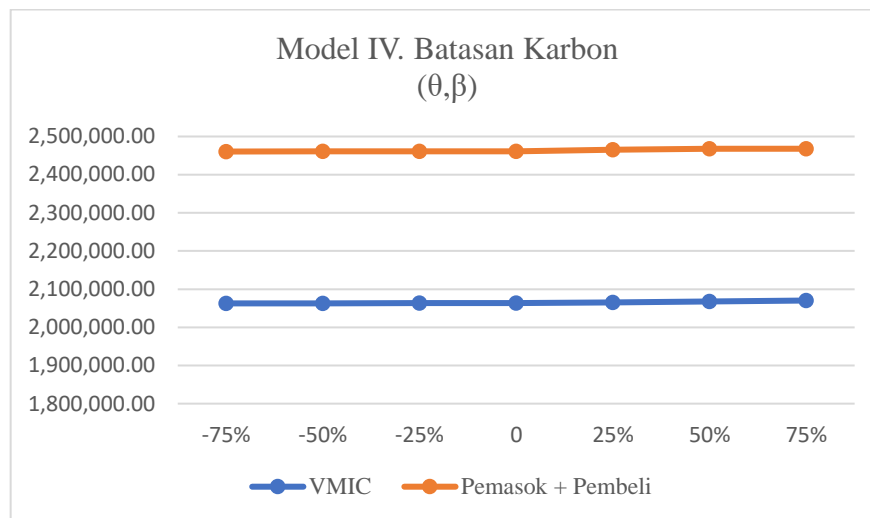
3. Perbandingan Model VMIC dan Model *Independent* pada Model IV

Tujuan dari model ini adalah menentukan total biaya rantai pasok dengan batasan emisi karbon lebih kecil atau sama dengan batas karbon yang telah ditentukan, baik dibawah kebijakan VMIC maupun kebijakan masing-masing. Seperti yang dijelaskan pada model sebelumnya, dalam model ini apabila emisi karbon yang dihasilkan dari aktivitas rantai pasok lebih besar dari batas yang telah ditentukan, maka pemangku kebijakan akan dikenakan dengan *penalty* yang besarnya telah ditentukan. Besaran *penalty* disetiap negara berbeda-beda, sesuai dengan aturan dan kebijakan yang telah ditentukan oleh pemerintah. Akan tetapi, jika emisi karbon yang dihasilkan lebih kecil atau kurang dari batas karbon yang telah ditentukan, pemangku kepentingan dapat melakukan penjualan sisa emisi karbon yang dimiliki ke perusahaan lain. Adapun hasil pengolahan data dengan batasan emisi karbon dapat dilihat pada tabel 5.3 dan gambar 5.4.

Tabel 5.3 Perbandingan model VMIC dan *Independent* pada Model IV.

Batasan Karbon

θ, β	Pemasok + Pembeli				VMIC				Simpan	Simpan %
	<i>TCC</i>	n_b	n_v	q	<i>TCC</i>	n_b	n_v	q		
-75%	2,460,602.84	36	10	100	2,062,680.25	36	10	100	397,922.59	16.17%
-50%	2,461,105.57	36	10	100	2,062,945.24	36	10	100	398,160.33	16.18%
-25%	2,461,109.54	36	10	100	2,063,203.77	36	10	100	397,905.76	16.17%
0	2,461,354.77	36	10	100	2,063,453.43	36	10	100	397,901.34	16.17%
25%	2,465,386.28	36	10	100	2,065,009.34	36	10	100	400,376.94	16.24%
50%	2,467,885.97	36	10	100	2,067,589.17	36	10	100	400,296.80	16.22%
75%	2,467,904.64	36	10	100	2,070,172.70	36	10	100	397,731.93	16.12%



Gambar 5.3. Perbandingan Model VMIC dan *Independent* pada Model IV. Batasan Karbon

Berdasarkan Tabel 5.3 dan gambar 5.3 diketahui bahwa total biaya dibawah kebijakan VMIC dengan batasan karbon lebih kecil dibandingkan dengan total biaya dibawah kebijakan pemasok ditambah kebijakan pembeli. Akan tetapi, dibawah kebijakan VMIC maupun kebijakan masing-masing pemasok dan pembeli, emisi karbon yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan batas atas yang telah ditentukan. Sehingga baik dibawah masing-masing kebijakan tersebut dikenakan biaya *penalty* yang harus dibayarkan. Berdasarkan data diatas, diketahui jumlah pengiriman dari gudang pembeli ke rak sebanyak 36 kali dan kuantitas pengiriman sebanyak 100 unit, serta jumlah pengiriman dari pemasok ke gudang pembeli sebanyak 10 kali. Oleh karena itu, kuantitas pengiriman dari pemasok ke gudang pembeli didapatkan sebanyak 3,600 unit. Sedangkan total biaya berbanding lurus dengan nilai deteriorasi (θ) dan tingkat persediaan stok (β). Total biaya rantai pasok yang dihasilkan akan meningkat seiring dengan peningkatan nilai θ dan β , baik dibawah kebijakan VMIC maupun kebijakan masing-masing pemasok dan pembeli. Sementara itu, dibawah kebijakan VMIC terdapat pengurangan biaya rantai pasok sebesar 16.17%, dibandingkan dengan total biaya masing-masing pemasok dan pembeli.

Pada kasus ini, perlu adanya perbaikan antara jumlah muatan dengan alat transportasi yang digunakan, sehingga dapat meminimasi total biaya transportasi dan emisi karbon yang dihasilkan, sehingga dapat meminimasi total biaya secara keseluruhan. Untuk meminimasi total biaya dan emisi karbon, baik dibawah kebijakan VMIC maupun kebijakan masing-masing pemasok maupun pembeli, perlu mengidentifikasi jenis bahan bakar yang sesuai dengan jenis kendaraan yang digunakan. Selain itu, kondisi kendaraan dan jarak tempuh juga mempengaruhi tingkat emisi yang dihasilkan dari aktivitas transportasi. Emisi juga dihasilkan dari kegiatan penyimpanan yang membutuhkan energi listrik yaitu penerangan dan pengatur suhu ruangan. Pengaturan suhu ruangan bertujuan untuk tetap menjaga kualitas produk, sehingga dapat meminimalisir terjadinya deteriorasi. Perlu adanya pertimbangan dan teknologi tepat guna yang dapat digunakan untuk meminimasi penggunaan energi listrik dalam gudang maupun rak.

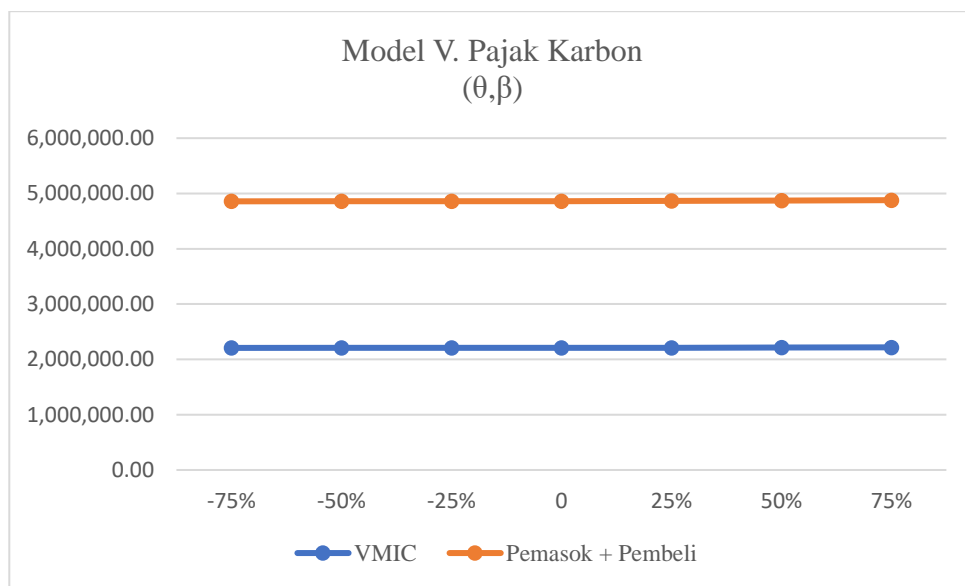
4. Perbandingan Model VMIC dan Model *Independent* pada Model V

Tujuan dari model ini adalah menentukan total biaya yang dikeluarkan dengan batasan pajak karbon, baik secara koordinasi maupun kebijakan masing-masing pemasok dan pembeli. Besaran biaya pajak yang harus dibayarkan tergantung jumlah emisi yang dibuang ke lingkungan, semakin tinggi jumlah emisi yang dipancarkan semakin tinggi biaya pajak yang harus dibayarkan. Oleh karena itu, setiap pemangku kepentingan berusaha mengoptimalkan total biaya pajak yang harus dikeluarkan. Salah satu caranya adalah dengan melakukan koordinasi antara pemasok dan pembeli dibawah kebijakan VMIC. Adapun perbedaan total biaya yang harus dikeluarkan pemasok dan pembeli dibawah kebijakan koordinasi VMIC maupun kebijakan masing-masing pemasok dan pembeli, sebagai berikut.

Tabel 5.4 Perbandingan Analisis Sensitivitas Model V. Pajak Karbon

θ, β	Pemasok + Pembeli				VMIC				Simpan	Simpan %
	<i>TCCC</i>	n_b	n_v	q	<i>TCCC</i>	n_b	n_v	q		
-75%	2,650,105.04	36	10	100	2,207,481.15	36	10	100	442,623.88	17%
-50%	2,650,491.96	36	10	100	2,207,816.90	36	10	100	442,675.06	17%
-25%	2,650,881.06	36	10	100	2,208,172.00	36	10	100	442,709.06	17%

θ, β	Pemasok + Pembeli				VMIC				Simpan	Simpan %
	<i>TCCC</i>	n_b	n_v	q	<i>TCCC</i>	n_b	n_v	q		
0	2,651,267.91	36	10	100	2,208,510.50	36	10	100	442,757.41	17%
25%	2,653,590.81	36	10	100	2,210,563.67	36	10	100	443,027.15	17%
50%	2,657,446.09	36	10	100	2,213,990.51	36	10	100	443,455.58	17%
75%	2,661,275.02	36	10	100	2,217,421.17	36	10	100	443,853.85	17%



Gambar 5.4 Perbandingan Model VMIC dan *Independent* pada Model.V Pajak Karbon

Berdasarkan tabel 5.4 dan gambar 5.4 diketahui, penerapan model VMIC untuk meminimasi total biaya rantai pasok dengan mempertimbangkan pajak karbon dapat menghemat biaya rantai pasok sebesar 17%. Artinya dengan penerapan kebijakan ini, pemasok maupun pembeli dapat menghemat total biaya yang dikeluarkan. Selain itu, dari data diatas dapat dijelaskan pertambahan dan pengurangan nilai besarnya tingkat deteriorasi (θ) dan tingkat persediaan (β), diikuti dengan total biaya rantai pasok. Besarnya pajak karbon tergantung dari total emisi yang dipancarkan dari setiap aktivitas rantai pasok. Total biaya sistem rantai pasok dengan mempertimbangkan pajak karbon akan meningkat, dimana total biaya ditambah dengan total pajak yang harus dibayarkan. Sistem ini dapat diterapkan di negara-negara yang telah menetapkan biaya pajak karbon dari aktivitas rantai

pasok. Negara Indonesia masih merancang penerapan pajak karbon, maupun batas atas karbon dari emisi karbon yang dihasilkan oleh kegiatan industri. Akan tetapi, beberapa negara telah menetapkan, pajak emisi karbon, batas atas dan perdagangan karbon, sesuai dengan peraturan pemerintah dan ada yang merujuk sesuai dengan peraturan protokol kyoto.

5.2. Analisis Sensitivitas

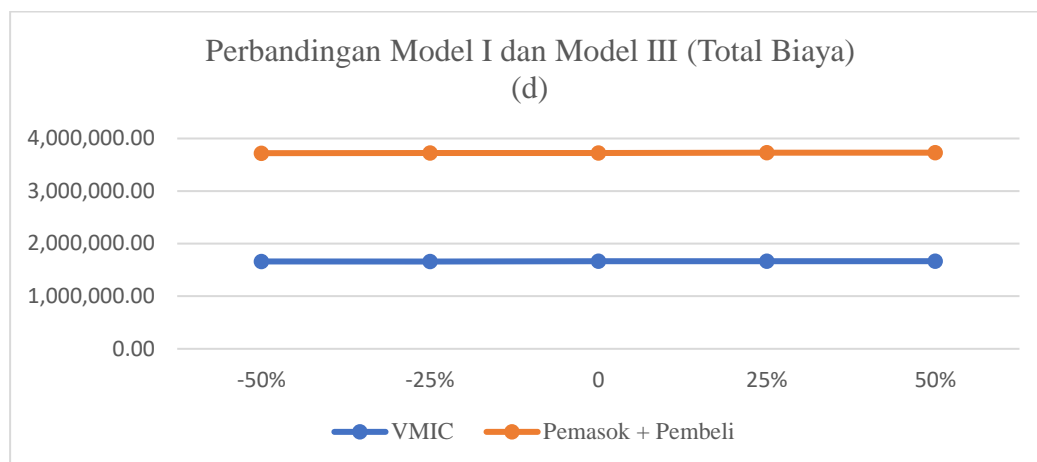
Jika dipembahasan sebelumnya dilakukan perubahan nilai pada parameter θ dan β . Pada analisis sensitivitas dilakukan perubahan nilai pada parameter jarak (d), konsumis bahan bakar (c_1), tambahan konsumsi bahan bakar (c_2), emisi karbon (e_1), dan tambahan emisi karbon (e_2). Adapun hasil analisis sensitivitas dari model yang dibangun sebagai berikut.

1. Model Total Biaya

Berdasarkan pembahasan dari bagian 5.1, total biaya sistem manajemen rantai pasok baik dibawah kebijakan VMIC maupun kebijakan masing-masing pemasok dan pembeli, bahwa total biaya akan meningkat seiring dengan peningkatan nilai dari parameter θ dan β . Begitupula dengan perubahan nilai dari parameter jarak (d) dan paramter konsumsi bahan bakar (c_1), serta (c_2). Menunjukkan bahwa total biaya berbanding lurus dengan peningkatan nilai parameter tersebut. Adapun hasil pengolahan data yang didapatkan dapat dilihat pada tabel (5.5), (5.6) dan gambar (5.5), (5.6).

Tabel 5.5 Analisis Sensitifitas Model I dan Model III Terhadap Jarak Tempuh

d	Pemasok + Pembeli				VMIC				Simpan	Simpan %
	TC	n_b	n_v	q	TC	n_b	n_v	q		
-50%	2,059,116.62	36	10	100	1,661,720.05	36	10	100	397,396.57	19%
-25%	2,060,237.05	36	10	100	1,662,978.02	36	10	100	397,259.03	19%
0	2,061,357.77	36	10	100	1,663,459.81	36	10	100	397,897.96	19%
25%	2,062,477.82	36	10	100	1,665,490.20	36	10	100	396,987.63	19%
50%	2,063,598.82	36	10	100	1,666,745.82	36	10	100	396,853.00	19%



Gambar 5.5 Grafik Analisis Sensitivitas Model I dan Model III Terhadap Jarak Tempuh

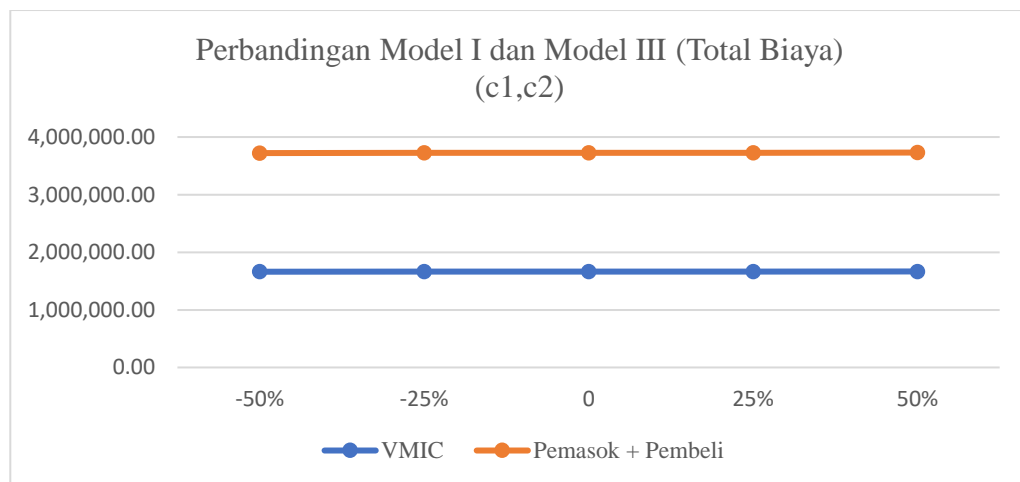
Dari tabel 5.5 dan gambar 5.5, diketahui bahwa total biaya rantai pasok sistem baik dibawah kebijakan VMIC maupun kebijakan masing-masing pemasok dan pembeli, semakin bertambah jika nilai parameter jarak (d) bertambah. Adapun jumlah pengiriman dari gudang pembeli ke rak pembeli konstan sebanyak 36 kali, dengan kuantitas pengiriman maksimal 100 unit. Sedangkan pemasok akan melakukan pengiriman sebanyak 10 kali, sehingga pemasok akan mengirim produk ke gudang pembeli sebanyak 3,600 unit. Besarnya total biaya rantai pasok dibawah kebijakan VMIC lebih rendah dibandingkan dengan kebijakan masing-masing pemasok dan pembeli. Penerapan kebijakan VMIC dalam sistem rantai pasok dapat menghemat biaya sebesar 19%. Besarnya total biaya rantai pasok berbanding lurus dengan peningkatan maupun pengurangan jarak tempuh transportasi dalam sistem rantai pasok. Akan peningkatan total biaya yang dihasilkan tidak terlalu signifikan. Perlunya pengujian statistika lainnya untuk mengetahui tingkat signifikansi perubahan total biaya sistem rantai pasok dengan perubahan nilai setiap parameternya.

Selain itu, perubahan nilai dari konsumsi bahan bakar dan tambahan konsumsi bahan bakar yang ditunjukkan oleh tabel 5.6 dan gambar 5.6, juga berbanding lurus dengan peningkatan total biaya rantai pasok. Besar kecilnya biaya transportasi yang dikeluarkan tidak lepas dari jarak tempuh, konsumsi bahan bakar dan tambahan konsumis bahan bakar. Untuk lebih lanjut dan mendalam perlu diketahui akibat dari

kondisi kendaraan, medan jalan dan waktu tempuh terhadap peningkatan biaya transportasi yang berdampak pada biaya rantai pasok. Selain itu, juga perlu dipertimbangkan berbagai aspek seperti *sustainability*, peraturan pemerintah dalam berlalu lintas. Oleh sebab itu, untuk penelitian selanjutnya diperlukan batasan-batasan tersebut secara lebih detail.

Tabel 5.6 Analisis Sensitivitas Model I dan Model III Terhadap Konsumsi Bahan Bakar dan Tambahan Bahan Bakar

c_1, c_2	Pemasok + Pembeli				VMIC				Simpan	Simpan %
	TC	n_b	n_v	q	TC	n_b	n_v	q		
-50%	2,059,116.91	36	10	100	1,661,723.05	36	10	100	397,393.85	19%
-25%	2,060,237.54	36	10	100	1,662,973.57	36	10	100	397,263.97	19%
0	2,061,357.77	36	10	100	1,663,459.81	36	10	100	397,897.96	19%
25%	2,062,477.88	36	10	100	1,665,483.19	36	10	100	396,994.68	19%
50%	2,063,598.35	36	10	100	1,666,765.76	36	10	100	396,832.59	19%



Gambar 5.6 Grafik Analisis Sensitivitas Model I dan Model III Terhadap Konsumsi Bahan Bakar dan Tambahan Konsumsi Bahan Bakar

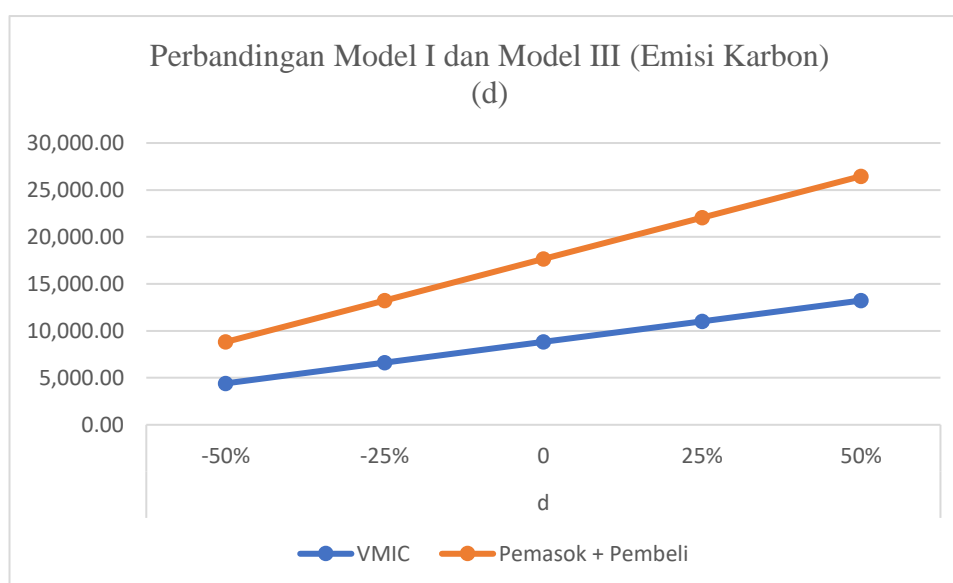
2. Model II. Emisi Karbon

Berdasarkan pembahasan dari bagian 5.1, total biaya sistem manajemen rantai pasok baik dibawah kebijakan VMIC maupun kebijakan masing-masing pemasok dan pembeli, bahwa total biaya akan meningkat seiring dengan peningkatan nilai dari parameter θ dan β . Begitupula dengan perubahan nilai dari parameter jarak (d)

dan parameter emisi karbon (e_1), serta tambahan emisi karbon (e_2). Menunjukkan bahwa total emisi berbanding lurus dengan peningkatan nilai parameter tersebut. Adapun hasil pengolahan data yang didapatkan dapat dilihat pada tabel (5.7), (5.8) dan gambar (5.7), (5.8).

Tabel 5.7 Analisis Sensivitas Model II dan Model III Terhadap Jarak Tempuh

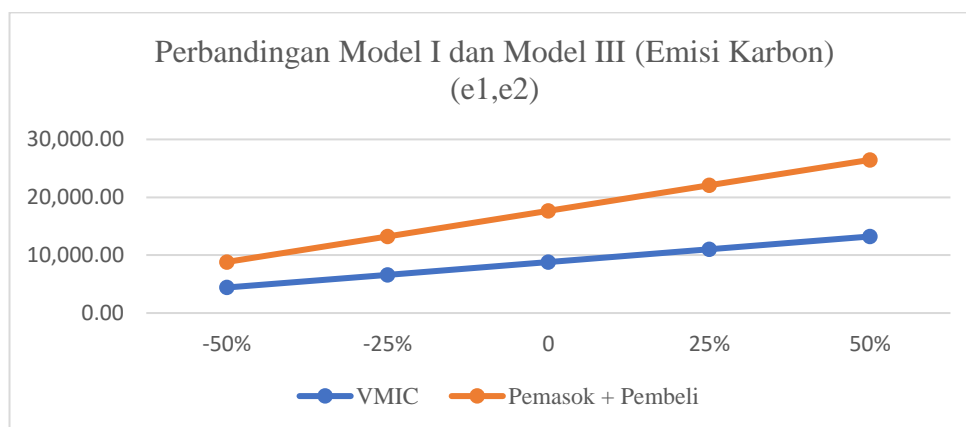
d	Pemasok + Pembeli				VMIC				Simpan	Simpan %
	TE	n_b	n_v	q	TE	n_b	n_v	q		
-50%	4,412.98	36	10	100	4,410.26	36	10	100	2.72	0.06%
-25%	6,618.97	36	10	100	6,614.90	36	10	100	4.06	0.06%
0	8,824.96	36	10	100	8,819.54	36	10	100	5.42	0.06%
25%	11,030.95	36	10	100	11,024.17	36	10	100	6.77	0.06%
50%	13,236.94	36	10	100	13,228.81	36	10	100	8.13	0.06%



Gambar 5.7 Garfik Analisis Sensitivitas Model II dan Model III Terhadap Jarak Tempuh

Tabel 5.8 Analisis Sensivitas Model II dan Model III Terhadap Emisi Karbon dan Tambahan Emisi Karbon

e_1, e_2	Pemasok + Pembeli				VMIC				Simpan	Simpan %
	TE	n_b	n_v	q	TE	n_b	n_v	q		
-50%	4,412.98	36	10	100	4,410.26	36	10	100	2.71	0.06%
-25%	6,618.97	36	10	100	6,614.90	36	10	100	4.07	0.06%
0	8,824.96	36	10	99	8,819.54	36	10	100	5.42	0.06%
25%	11,030.95	36	10	100	11,024.17	36	10	100	6.77	0.06%
50%	13,236.95	36	10	100	13,228.81	36	10	100	8.13	0.06%



Gambar 5.8 Grafik Analisis Sensitivitas Model II dan Model III Terhadap Emisi Karbon dan Tambahan Emisi Karbon

Dari tabel 5.7, 5.8 dan gambar 5.7, 5.8, diketahui bahwa total emisi rantai pasok sistem baik dibawah kebijakan VMIC maupun kebijakan masing-masing pemasok dan pembeli, semakin bertambah jika nilai parameter jarak tempuh (d), emisi karbon (e_1) dan tambahan emisi karbon (e_2) bertambah. Adapun jumlah pengiriman dari gudang pembeli ke rak pembeli konstan sebanyak 36 kali, dengan kuantitas pengiriman maksimal 100 unit. Sedangkan pemasok akan melakukan pengiriman sebanyak 10 kali, sehingga diketahui kuantitas pengiriman pemasok ke pembeli sebanyak 3,600 unit. Besarnya total emisi rantai pasok dibawah kebijakan VMIC lebih rendah dibandingkan dengan kebijakan masing-masing pemasok dan pembeli. Penerapan kebijakan VMIC dalam sistem rantai pasok dapat mengurangi emisi karbon sebesar 0.06%. Jumlah ini sedikit dibandingkan dengan jumlah yang diharapkan. Besarnya total emisi karbon dalam sistem rantai pasok berbanding

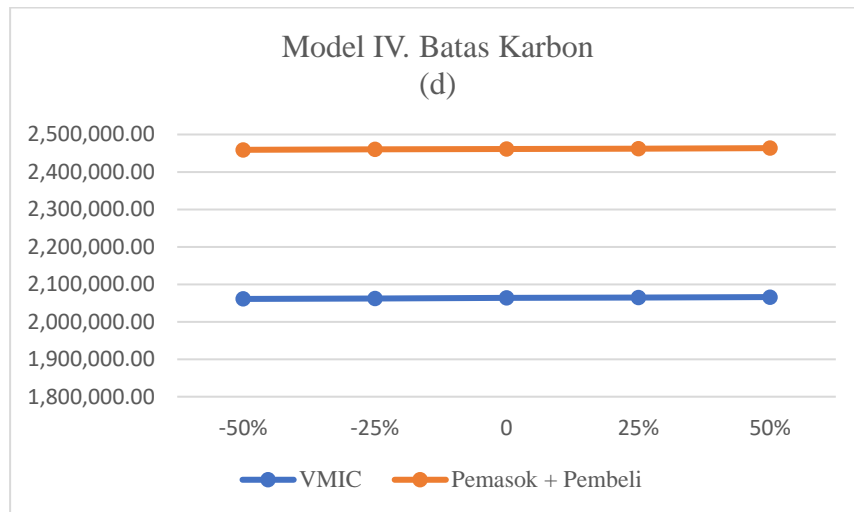
lurus dengan peningkatan maupun pengurangan jarak tempuh tempuh transportasi dalam sistem rantai pasok. Besar kecilnya biaya transportasi yang dikeluarkan tidak lepas dari jarak tempuh, emisi karbon dan tambahan emisi karbon yang dipancarkan dari aktivitas transportasi dan penyimpanan. Perlu adanya inventasi teknologi untuk mengurangi konsumsi elektronik dalam proses penyimpanan produk, selain itu pemilihan jenis bahan bakar dan jenis kendaraan turut serta dalam mengurangi emisi karbon yang dipancarkan dari aktivitas sistem rantai pasok.

3. Model IV. Batasan Karbon

Berdasarkan pembahasan dari bagian 5.3, total biaya sistem manajemen rantai pasok dengan batasan batas atas karbon, baik dibawah kebijakan VMIC maupun kebijakan masing-masing pemasok dan pembeli, bahwa total biaya akan meningkat seiring dengan peningkatan nilai dari parameter θ dan β . Begitupula dengan perubahan nilai dari parameter jarak (d) dan paramter konsumsi bahan bakar (c_1), serta (c_2). Menunjukkan bahwa total biaya berbanding lurus dengan peningkatan nilai parameter tersebut. Adapun hasil pengolahan data yang didapatkan dapat dilihat pada tabel (5.9), (5.10), (5.11) dan gambar (5.9), (5.10), (5.11).

Tabel 5.9 Analisis Sensitivitas Model IV Terhadap Jarak Tempuh

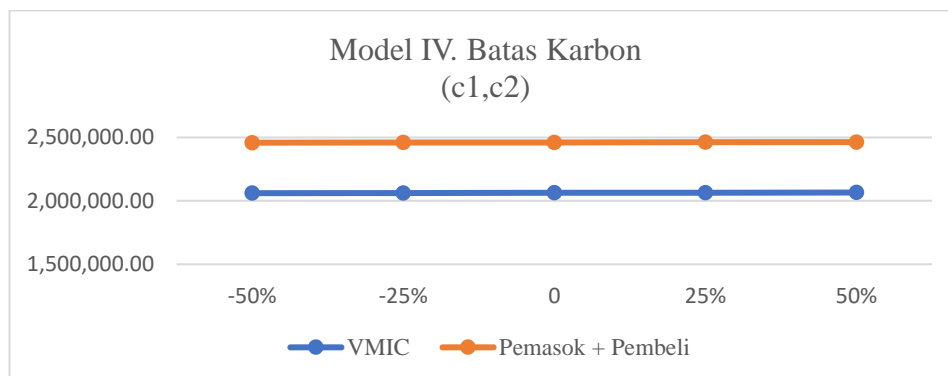
d	Pemasok + Pembeli				VMIC				Simpan	Simpan %
	TCC	n_b	n_v	q	$TCCE$	n_b	n_v	q		
-50%	2,459,113.78	36	10	100	2,060,963.66	36	10	100	398,150.12	16.19%
-25%	2,460,234.22	36	10	100	2,062,211.44	36	10	100	398,022.78	16.18%
0	2,461,354.77	36	10	100	2,063,453.43	36	10	100	397,901.34	16.17%
25%	2,462,474.94	36	10	100	2,064,716.41	36	10	100	397,758.52	16.15%
50%	2,463,596.27	36	10	100	2,065,975.35	36	10	100	397,620.92	16.14%



Gambar 5.9 Grafik Analisis Sensitivitas Model IV Terhadap Jarak Tempuh

Tabel 5.10 Analisis Senitivitas Model IV Terhadap Konsumsi Bahan Bakar dan Tambahan Konsumsi Bahan Bakar

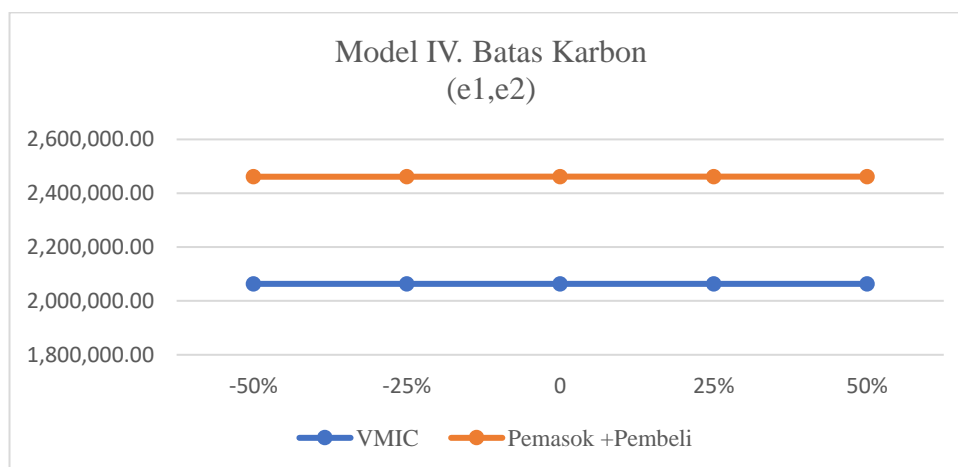
c_1, c_2	Pemasok + Pembeli				VMIC				Simpan	Simpan %
	TCC	n_b	n_v	q	$TCCE$	n_b	n_v	q		
-50%	2,459,113.82	36	10	100	2,060,953.37	36	10	100	398,160.45	16%
-25%	2,460,234.28	36	10	100	2,062,225.50	36	10	100	398,008.78	16%
0	2,461,354.77	36	10	100	2,063,453.43	36	10	100	397,901.34	16%
25%	2,462,474.95	36	10	100	2,064,711.51	36	10	100	397,763.44	16%
50%	2,463,595.31	36	10	100	2,065,962.44	36	10	100	397,632.88	16%



Gambar 5.10 Grafik Analisis Sensitivitas Model IV Terhadap Konsumsi Bahan Bakar dan Tambahan Konsumsi Bahan Bakar

Tabel 5.11 Analisis Sensitivitas Model IV Terhadap Emisi Karbon dan
Tambahan Emisi Karbon

e_1, e_2	Pemasok + Pembeli				VMIC				Simpan	Simpan %
	TCC	n_b	n_v	q	$TCCE$	n_b	n_v	q		
-50%	2,461,354.49	36	10	100	2,063,458.21	36	10	100	397,896.28	16%
-25%	2,461,355.56	36	10	100	2,063,455.24	36	10	100	397,900.33	16%
0	2,461,354.77	36	10	100	2,063,453.43	36	10	100	397,901.34	16%
25%	2,461,354.90	36	10	100	2,063,454.76	36	10	100	397,900.13	16%
50%	2,461,355.03	36	10	100	2,063,463.96	36	10	100	397,891.07	16%



Gambar 5.11 Grafik Analisis Sensitivitas Model IV Terhadap Emisi Karbon dan Tambahan Emisi Karbon

Dari tabel (5.9), (5.10), (5.11) dan gambar (5.9), (5.10), (5.11) diketahui bahwa total biaya rantai pasok dengan batasan batas atas karbon yang diizinkan, baik dibawah kebijakan VMIC maupun kebijakan masing-masing pemasok dan pembeli bertambah, jika nilai parameter jarak tempuh (d), konsumsi bahan bakar (c_1), tambahan konsumsi bahan bakar (c_2), emisi karbon (e_1) dan tambahan emisi karbon (e_2) bertambah. Adapun jumlah pengiriman dari gudang pembeli ke rak pembeli konstan sebanyak 36 kali, dengan kuantitas pengiriman maksimal 100 unit. Sedangkan pemasok akan melakukan pengiriman sebanyak 10 kali, sehingga didapatkan kuantitas pengiriman sebanyak 3,600 unit. Besarnya total biaya rantai pasok dibawah kebijakan VMIC lebih rendah dibandingkan dengan kebijakan

masing-masing pemasok dan pembeli. Penerapan kebijakan VMIC dalam sistem rantai pasok dapat menghemat biaya sebesar 16%.

Besarnya total biaya rantai pasok berbanding lurus dengan peningkatan maupun pengurangan jarak tempuh, konsumsi bahan bakar dan tambahan konsumsi bahan bakar, serta emisi karbon dan tambahan emisi karbon dalam sistem rantai pasok. Hasil dari pengolahan data, dapat disimpulkan bahwa baik dibawah kebijakan VMIC maupun kebijakan masing-masing pemasok dan pembeli mendapatkan *penalty*. Hal ini dikarenakan, total emisi yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan dengan total emisi karbon yang telah ditentukan. Peningkatan dan pengurangan nilai dari parameter jarak tempuh, konsumsi bahan bakar, tambahan konsumsi bahan bakar, emisi karbon dan tambahan emisi karbon tidak mempengaruhi biaya *penalty* yang harus ditanggung oleh masing-masing pemangku kepentingan. Perlunya dilakukan analisis lebih mendalam terhadap biaya *penalty* yang harus dibayarkan terhadap total biaya karbon dalam mengurangi emisi karbon.

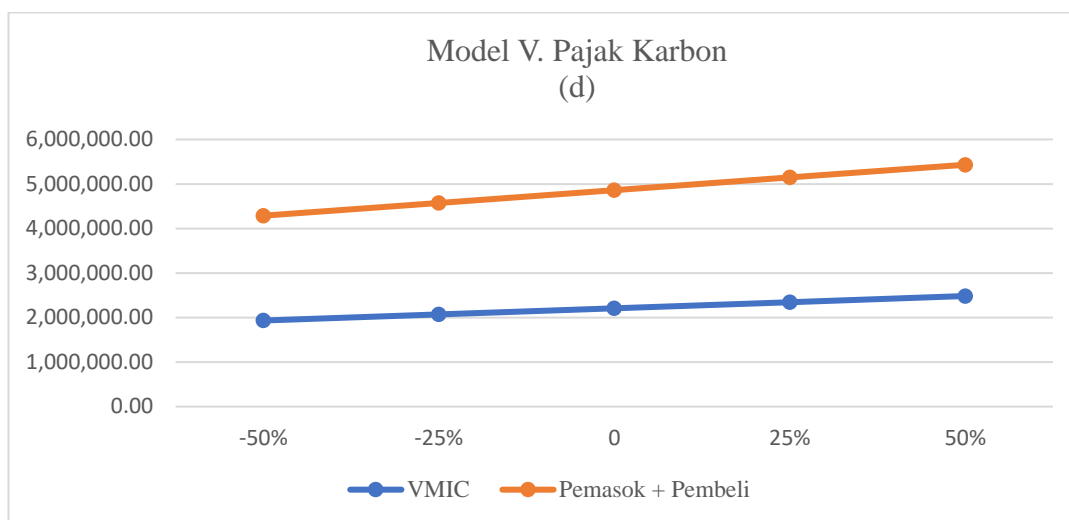
4. Model V. Pajak Karbon

Berdasarkan pembahasan dari bagian 5.4, total biaya sistem manajemen rantai pasok dengan batasan pajak karbon, baik dibawah kebijakan VMIC maupun kebijakan masing-masing pemasok dan pembeli, bahwa total biaya akan meningkat seiring dengan peningkatan nilai dari parameter θ dan β . Begitupula dengan perubahan nilai dari parameter jarak (d) dan paramter konsumsi bahan bakar (c_1), serta (c_2). Menunjukkan bahwa total biaya berbanding lurus dengan peningkatan nilai parameter tersebut. Adapun hasil pengolahan data yang didapatkan dapat dilihat pada tabel (5.12), (5.13),(5.14) dan gambar (5.12), (5.13), (5.14).

Tabel 5.12 Analisis Sensitivitas Model V Terhadap Jarak Tempuh

d	Pemasok + Pembeli				VMIC				Simpan	Simpan %
	$TCCCE$	n_b	n_v	q	$TCCCE$	n_b	n_v	q		
-50%	2,354,222.51	36	10	100	1,933,502.75	36	10	100	420,719.76	18%
-25%	2,502,745.24	36	10	100	2,071,001.75	36	10	100	431,743.49	17%
0	2,651,267.91	36	10	100	2,208,510.50	36	10	100	442,757.41	17%
25%	2,799,790.56	36	10	100	2,346,013.98	36	10	100	453,776.58	16%

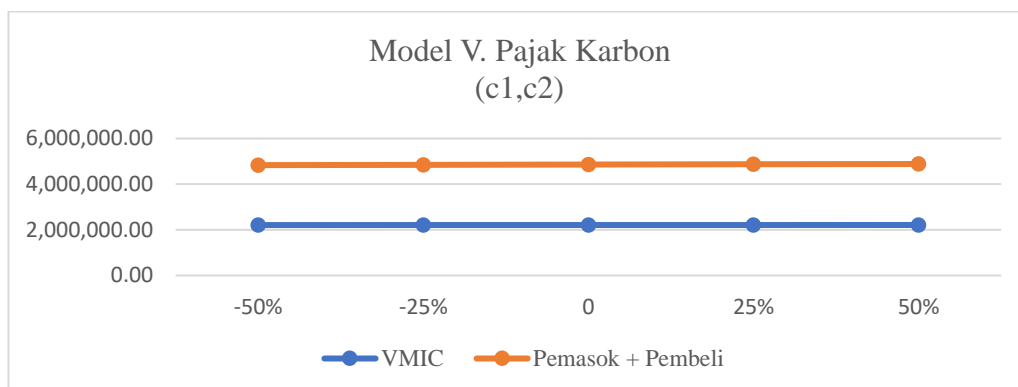
d	Pemasok + Pembeli				VMIC				Simpan	Simpan %
	$TCCCE$	n_b	n_v	q	$TCCCE$	n_b	n_v	q		
50%	2,948,313.20	36	10	100	2,483,511.67	36	10	100	464,801.53	16%



Gambar 5.12. Grafik Analisis Sensitivitas Model V Terhadap Jarak Tempuh

Tabel 5.13 Analisis Sensitivitas Model V Terhadap Konsumsi Bahan Bakar dan Tambahan Konsumsi Bahan Bakar

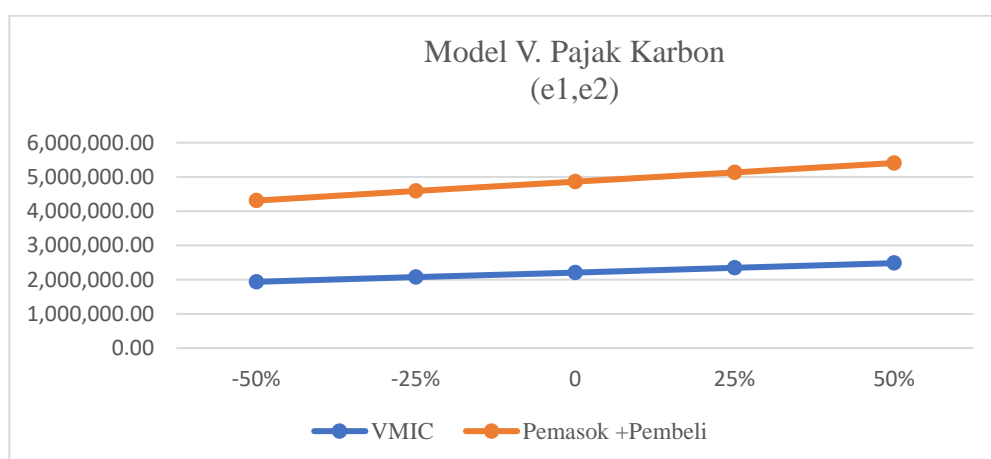
c_1, c_2	Pemasok + Pembeli				VMIC				Simpan	Simpan %
	$TCCCE$	n_b	n_v	q	$TCCCE$	n_b	n_v	q		
-50%	2,627,288.32	36	10	100	2,206,000.73	36	10	100	421,287.59	16%
-25%	2,639,811.37	36	10	100	2,207,260.68	36	10	100	432,550.70	16%
0	2,651,267.91	36	10	100	2,208,510.50	36	10	100	442,757.41	17%
25%	2,661,496.10	36	10	100	2,209,755.48	36	10	100	451,740.62	17%
50%	2,670,848.21	36	10	100	2,211,010.85	36	10	100	459,837.36	17%



Gambar 5.13. Grafik Analisis Sensitivitas Model V Terhadap Konsumsi Bahan Bakar dan Tambahan Konsumsi Bahan Bakar

Tabel 5.14 Analisis Sensitivitas Model V Terhadap Emisi karbon dan Tambahan Emisi Karbon

e_1, e_2	Pemasok + Pembeli				VMIC				Simpan	Simpan %
	$TCCCE$	n_b	n_v	q	$TCCCE$	n_b	n_v	q		
-50%	2,372,414.20	36	10	100	1,936,020.45	36	10	100	436,393.75	18%
-25%	2,512,812.79	36	10	100	2,072,267.21	36	10	100	440,545.59	18%
0	2,651,267.91	36	10	100	2,208,510.50	36	10	100	442,757.41	17%
25%	2,788,483.18	36	10	100	2,344,754.24	36	10	100	443,728.94	16%
50%	2,924,873.79	36	10	100	2,480,999.34	36	10	100	443,874.45	15%



Gambar 5.14 Analisis Sensivitas Model V terhadap emisi karbon (e_1) dan tambahan emisi karbon (e_2)

Dari tabel (5.12), (5.13), (5.14) dan gambar (5.12), (5.13), (5.14) diketahui bahwa total biaya pajak rantai pasok dengan batasan batas atas karbon yang diizinkan, baik dibawah kebijakan VMIC maupun kebijakan masing-masing pemasok dan pembeli bertambah, jika nilai parameter jarak tempuh (d), konsumsi bahan bakar (c_1), tambahan konsumsi bahan bakar (c_2), emisi karbon (e_1) dan tambahan emisi karbon (e_2) bertambah . Adapun jumlah pengiriman dari gudang pembeli ke rak pembeli konstan sebanyak 36 kali, dengan kuantitas pengiriman maksimal 100 unit. Sedangkan pemasok akan melakukan pengiriman sebanyak 10 kali, sehingga didapatkan kuantitas pengiriman sebanyak 3,600 unit. Besarnya total biaya pajak rantai pasok dibawah kebijakan VMIC lebih rendah dibandingkan dengan kebijakan masing-masing pemasok dan pembeli. Penerapan kebijakan VMIC dalam sistem rantai pasok dapat menghemat biaya sebesar 16%.

Besarnya total biaya pajak rantai pasok berbanding lurus dengan peningkatan maupun pengurangan jarak tempuh, konsumsi bahan bakar dan tambahan konsumsi bahan bakar, serta emisi karbon dan tambahan emisi karbon dalam sistem rantai pasok. Hasil dari pengolahan data, dapat disimpulkan bahwa baik dibawah kebijakan VMIC maupun kebijakan masing-masing pemasok dan pembeli biaya pajak meningkat seiring dengan peningkatan emisi karbon yang dihasilkan. Semakin tinggi emisi karbon yang dihasilkan dari kegiatan rantai pasok, semakin tinggi pula biaya pajak yang harus dibayarkan. Disisi lain, dalam sistem rantai pasok juga perlu diperhatikan batas atas karbon yang telah ditentukan, dimana dengan batasan ini, setiap pemangku kepentingan dapat membuat kebijakan dalam melakukan mengurangi emisi karbon untuk mengurangi total biaya yang dikeluarkan dan dapat memperoleh keuntungan dengan memperdagangkan sisa total emisi yang dimiliki. Untuk penelitian selanjutnya, perlu ditambahkan komponen perdagangan karbon dalam meminimasi total biaya dalam sistem rantai pasok.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada Bab ini menunjukkan kesimpulan dari hasil yang didapatkan dari penelitian pada tesis ini. Selanjutnya pada bab ini juga berisi saran-saran penelitian yang dapat dilakukan pada penelitian selanjutnya mengenai sistem inventori dan saran untuk perusahaan dalam mengimplementasikan pengembangan model dalam dunia praktisi.

6.1 Kesimpulan

Dalam kesimpulan penelitian ini dapat menjawab pertanyaan penelitian yang telah dirumuskan sebelumnya. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat ditarik beberapa kesimpulan penelitian yaitu sebagai berikut:

1. Penelitian ini telah berhasil mengembangkan lima model persediaan baik di bawah kebijakan VMIC maupun kebijakan masing-masing pemasok dan pembeli. Selain itu, penelitian ini juga berhasil mengembangkan model emisi karbon yaitu batas karbon dan pajak karbon. Penelitian ini dikembangkan berdasarkan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh (Hariga et al. 2019) (Hemmati et al. 2017) dan (Ghosh et al. 2016). Penelitian ini mempertimbangkan kondisi permintaan yang deterministik dimana permintaan dipengaruhi oleh tingkat persediaan seperti yang dilakukan oleh (Hemmati et al. 2017) dan produk akan mengalami deteriorasi dirak pembeli. Selain itu, penelitian ini juga mempertimbangkan emisi karbon, batas karbon dan pajak karbon seperti yang dilakukan oleh (Hariga et al. 2019) dan (Ghosh et al. 2016). Penelitian ini dimulai dengan memodifikasi model dasar yang dilakukan oleh (Hemmati et al. 2017), akan tetapi tujuan dari model yang dikembangkan oleh (Hemmati et al. 2017) dan penelitian ini berbeda, dimana pada model (Hemmati et al. 2017) bertujuan untuk meningkatkan keuntungan di bawah kebijakan VMIC dan masing-masing pemasok pembeli, sedangkan penelitian ini bertujuan untuk meminimasi total biaya sistem baik di bawah kebijakan VMIC

maupun masing-masing pemasok dan pembeli . Selanjutnya pada penelitian ini juga tidak mempertimbangkan nilai jual seperti yang dilakukan oleh (Hemmati et al. 2017). Setelah mengembangkan model dasar, langkah selanjutnya ada memodifikasi model sesuai dengan tujuan penelitian ini. Selanjutnya mengembangkan model emisi karbon seperti yang dilakukan oleh (Ghosh et al. 2016), sehingga terbentuk model II. Untuk model IV dan V dimodifikasi berdasarkan penelitian (Hariga et al. 2019) dan (Ghosh et al. 2016) dimana pada model ini ditambahkan batasan yaitu batas atas emisi karbon dan pajak karbon. Variabel-variabel keputusan yang dikembangkan pada setiap model dioptimasi dengan menggunakan metode algoritma genetik dengan bantuan *software Spyder (Anaconda 3)* untuk meminimasi total biaya maupun total emisi, baik dibawah kebijakan VMIC maupun kebijakan masing-masing pemasok dan pembeli. Dari hasil penelitian pada studi kasus yang dilakukan diperoleh hasil sebagai berikut yaitu:

- a. Model I memberikan hasil penghematan pada total biaya sebesar 19% dibandingkan dengan model III. Dimana model I merupakan model integrasi sistem rantai pasok dua eselon dibawah kebijakan *vendor management inventory consignment*, sementara itu model III merupakan model *independent* pemasok dan pembeli dalam membuat kebijakan. Hasil pengolahan data didapatkan total biaya pemasok ditambah biaya pembeli sebesar \$ 2,061,357.77/tahun, sedangkan total biaya dibawah kebijakan VMIC sebesar \$ 1,663,459.81/tahun.
- b. Pada model II dan model III, total emisi karbon dibawah kebijakan VMIC lebih rendah dibandingkan dengan total emisi karbon dibawah kebijakan *independent* pemasok dan pembeli. Penghematan total emisi dengan menggunakan model VMIC sebesar 0,06%. Total emisi yang dihasilkan dengan kebijakan VMIC sebesar 8,819.54 tonCO₂ dengan jumlah pengiriman dari gudang pembeli ke rak pembeli sebanyak 36 kali, dengan kuantitas pengiriman sebanyak 3,600 unit. Sedangkan jumlah pengiriman dari pemasok ke gudang pembeli sebanyak 10 kali. Adapun total emisi yang dihasilkan dari penjumlahan total emisi pemasok dan pembeli sebesar

8,824.96 tonCO₂. Oleh karena itu, untuk menghemat total emisi yang dikeluarkan dalam sistem rantai pasok disarankan menggunakan model dibawah kebijakan VMIC.

- c. Model IV menghasilkan total biaya yang tidak jauh berbeda dengan model I, dimana pada model I tidak dibatasi oleh total emisi kurang dari atau sama dengan batas atas karbon. Total biaya pada model ini dibawah kebijakan VMIC sebesar \$ 2,063,453.43, lebih besar dibandingkan dengan total biaya tanpa batasan emisi karbon kurang dari atau sama dengan batas atas karbon, hal ini dikarenakan pada model ini, dikenakan biaya penalty yang disebabkan oleh emisi karbon yang dihasilkan dari aktivitas rantai pasok lebih tinggi dari batas karbon yang telah ditentukan.
 - d. Model V menghasilkan total pajak dibawah kebijakan VMIC lebih rendah dibandingkan dengan kebijakan *independent* pemasok dan pembeli. Total pajak yang harus dikeluarkan berdasarkan kebijakan VMIC sebesar \$ 2,208.510.50tahun, sedangkan dengan kebijakan *independent* total pajak yang harus dikeluarkan sebesar \$ 2,651,267.91/tahun. Dengan kebijakan VMIC pemasok dan pembeli dapat menghemat total biaya pajak sebesar 17%.
2. Model VMIC yang telah dikembangkan dapat memberikan keuntungan bagi pemasok yaitu dengan mengurangi biaya simpan pemasok, dimana dengan kebijakan *consignment* pemasok dapat menyimpan produk di gudang pembeli, sehingga pembeli dan pemasok dapat berbagi pembiayaan penyimpanan. Selain itu disisi pembeli tidak mengalami kehilangan penjualan dan penambahan biaya pesan.
 3. Model integrasi VMIC yang dikembangkan dapat mengurangi emisi yang dikeluarkan dari kegiatan rantai pasok sebesar 7%. Artinya dengan kebijakan ini dapat memberikan manfaat berkelanjutan bagi lingkungan, pemasok, pembeli dan konsumen akhir. Total Emisi karbon yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan batas karbon, maka perusahaan tidak mendapat *penalty* dan perusahaan dapat menerapkan kebijakan penjualan karbon dari sisa batas

karbon. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Ghosh et al. 2016).

Karena menggunakan bantuan *software Spyder (Anaconda 3)* dimana dalam melakukan optimasi akan mencari nilai solusi optimal yang mendekati nilai batas atas ataupun batas bawah variabel yang ditentukan. Oleh karena itu, hasil optimasi yang dilakukan akan menghasilkan jumlah pengiriman baik dari pemasok ke gudang pembeli, maupun dari gudang pembeli ke rak pembeli sebanyak 36 kali. Sedangkan kuantitas pengiriman akan mendekati 100 unit, karena batasan yang digunakan 100 unit. Semakin tinggi nilai batas atas yang digunakan dalam menjalankan operasi optimasi ini, semakin rendah nilai total biaya maupun total emisi yang dihasilkan. Model-model yang telah dihasilkan dapat diimplementasikan pada perusahaan yang lain sebagai saran perbaikan sistem secara berkala (*continous improvement*). Selain itu juga model-model ini dapat menjadi tambahan wawasan pengambilan keputusan untuk mengoptimalkan biaya dan emisi karbon dengan mempertimbangkan sumberdaya yang dimiliki perusahaan. Untuk menerapkan model tersebut dapat dilakukan dengan membuat kondisi batasan sesuai dengan kondisi perusahaan.

6.2 Saran Penelitian

1. Saran Bagi Perusahaan

Pada tesis ini, penelitian dilakukan pada perusahaan X sebagai pemasok dan perusahaan Y sebagai pembeli. Dari model yang telah dibentuk strategi perusahaan yang dapat dilakukan untuk meminimalkan total biaya dan emisi yaitu:

- a. Menerapkan sistem manajemen rantai pasok dibawah kebijakan VMIC, dimana dengan kebijakan ini perusahaan dapat menghemat total biaya maupun total emisi yang dihasilkan.
- b. Jumlah kekurangan produk dan kehilangan penjualan dapat diminimasi, dibawah kebijakan *consigment* pembeli tidak perlu khawatir akan kekurangan atau kehilangan penjualan. Pemasok akan melakukan pengiriman pesanan

ke pembeli setelah produk selesai diproduksi, dan pembeli dapat memanfaatkan produk tersebut sampai dibutuhkan oleh pembeli.

- c. Pengurangan total biaya maupun total emisi disisi pemasok, karena produk disimpan digudang pembeli.

2. Saran Penelitian Selanjutnya

Penelitian masih terdapat kekurangan sehingga dalam penelitian selanjutnya pada area penelitian dapat mempertimbangkan .

- a. Deteriorasi pada produk *perishable* dengan tingkat deteriorasi beragam. Penelitian ini dapat mempertimbangkan tingkat deteriorasi dengan distribusi random, ekponensial ataupun weibull. Adapaun rujukan yang bisa dijadikan pada kasus ini yaitu penelitian yang dilakukan oleh (Philip 1974), (Misra 1975), (Wu et al. 2000) (Huang 2013) . Penelitian ini juga bisa dilakukan dengan menggunkan kebijakan yang berbeda seperti *Join Economic Lot Sizing* (JELS) dengan mempertimbangkan adanya kekurangan (*shortage*) seperti penelitian.
- b. Selain itu penelitian ini juga dapat dikembangkan dengan mempertimbangkan umur produk. Dimana umur produk bersifat random seperti penelitian yang dilakukan oleh (Kalpakam and Arirignan 1988), (Kalpakam and Sapna 1994), (Kalpakam and Sapna 1996) (Kalpakam and Shanthi 2001) dan (Jain and Silver 1994).
- c. Model dapat dikembangkan dengan mempertimbangkan efek deteriorasi pada raw material disisi pemasok.
- d. Mempertimbangkan model dengan tujuan meningkatkan keuntungan sistem dengan mempertimbangkan harga jual, inflasi dan infeksi produksi deteriorasi.
- e. Mempertimbangkan *delay payment* pada kebijakan VMIC, dimana pembeli dapat menunda pembayaran.
- f. Model dapat dikembangkan menjadi lebih kompleks seperti, multi pembeli, multi pemasok dan multi eselon dan mempertimbangkan peran logistik 3PL, seperti yang dilakukan oleh (Daryanto, Wee, and Astanti 2019).

- g. Model dapat dikembangkan efek pancaran karbon pada proses transportasi menggunakan *cold container*.
- h. Model dapat dilakukan perbandingan optimasi menggunakan metode difrensial dan metode metaheuristik lainnya, seperti *Particle Swarm Optimization* (PSO), dll, serta mempertimbangkan parameter tuning dengan menggunakan metode fuzzy , taguchi dan yang lainnya

DAFTAR PUSTAKA

- Akbari Kaasgari, Maryam, Din Mohammad Imani, and Mehdi Mahmoodjanloo. 2017. "Optimizing a Vendor Managed Inventory (VMI) Supply Chain for Perishable Products by Considering Discount: Two Calibrated Meta-Heuristic Algorithms." *Computers and Industrial Engineering* 103:227–41. doi: 10.1016/j.cie.2016.11.013.
- Alfares, Hesham K., and Ahmed M. Attia. 2017. "A Supply Chain Model with Vendor-Managed Inventory, Consignment, and Quality Inspection Errors." *International Journal of Production Research* 55(19):5706–27. doi: 10.1080/00207543.2017.1330566.
- Aliabadi, Leyla, Reza Yazdanparast, and Mohammad Mahdi Nasiri. 2019. "An Inventory Model for Non-Instantaneous Deteriorating Items with Credit Period and Carbon Emission Sensitive Demand: A Signomial Geometric Programming Approach." *International Journal of Management Science and Engineering Management* 14(2):124–36. doi: 10.1080/17509653.2018.1504331.
- Astanti, Ririn Diar, Yosef Daryanto, and Parama Kartika Dewa. 2022. "Low-Carbon Supply Chain Model under a Vendor-Managed Inventory Partnership and Carbon Cap-and-Trade Policy." doi: 10.3390/joitmc.
- Babekian, Salbi, Moncer Hariga, and Zied Bahroun. 2017. "Integrated Economic and Environmental Two-Stage Supply Chain Model under Vendor Managed Consignment Inventory Partnership." in *2017 7th International Conference on Modeling, Simulation, and Applied Optimization, ICMSAO 2017*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
- Bai, Qingguo, Yeming (Yale) Gong, Mingzhou Jin, and Xianhao Xu. 2019. "Effects of Carbon Emission Reduction on Supply Chain Coordination with Vendor-Managed Deteriorating Product Inventory." *International Journal of Production Economics* 208:83–99. doi: 10.1016/j.ijpe.2018.11.008.
- Balkhi, Zaid T., and Lakdere Benkherouf. 2004. *On an Inventory Model for Deteriorating Items with Stock Dependent and Time-Varying Demand Rates*. Vol. 31.
- Banerjee, Avijit. n.d. *A JOINT ECONOMIC-LOT-SIZE MODEL FOR PURCHASER AND VENDOR*.

- Battini, D., A. Grassi, A. Persona, and F. Sgarbossa. 2010. "Consignment Stock Inventory Policy: Methodological Framework and Model." *International Journal of Production Research* 48(7):2055–79. doi: 10.1080/00207540802570669.
- Ben-Daya, Mohamed, Elkafi Hassini, Moncer Hariga, and Mohammad M. AlDurgam. 2013. "Consignment and Vendor Managed Inventory in Single-Vendor Multiple Buyers Supply Chains." *International Journal of Production Research* 51(5):1347–65. doi: 10.1080/00207543.2012.662725.
- Bouchery, Yann, Asma Ghaffari, Zied Jemai, and Tarkan Tan. 2017. "Impact of Coordination on Costs and Carbon Emissions for a Two-Echelon Serial Economic Order Quantity Problem." *European Journal of Operational Research* 260(2):520–33. doi: 10.1016/j.ejor.2016.12.018.
- Braglia, M., and L. Zavanella. 2003. "Modelling an Industrial Strategy for Inventory Management in Supply Chains: The 'Consignment Stock' Case." *International Journal of Production Research* 41(16):3793–3808. doi: 10.1080/0020754031000138330.
- Chen, S. L., and C. L. Liu. 2008. "The Optimal Consignment Policy for the Manufacturer under Supply Chain Co-Ordination." *International Journal of Production Research* 46(18):5121–43. doi: 10.1080/00207540701276608.
- Chen, Xi, Saif Benjaafar, and Adel Elomri. 2013. "The Carbon-Constrained EOQ." *Operations Research Letters* 41(2):172–79. doi: 10.1016/j.orl.2012.12.003.
- Chowdhury, R. Roy, S. K. Ghosh, and K. S. Chaudhuri. 2015. "An Inventory Model for Deteriorating Items with Stock and Price Sensitive Demand." *International Journal of Applied and Computational Mathematics* 1(2):187–201. doi: 10.1007/s40819-014-0011-9.
- Daryanto, Yosef, Hui Ming Wee, and Ririn Diar Astanti. 2019. "Three-Echelon Supply Chain Model Considering Carbon Emission and Item Deterioration." *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 122:368–83. doi: 10.1016/j.tre.2018.12.014.
- Daryanto, Yosef, and Hui-Ming Wee. n.d. *Single Vendor-Buyer Integrated Inventory Model for Deteriorating Items Considering Carbon Emission*.
- Dong, Yan, and Kefeng Xu. 2002. "A Supply Chain Model of Vendor Managed Inventory." *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 38(2):75–95. doi: 10.1016/S1366-5545(01)00014-X.

- Ganesh Kumar, M., and R. Uthayakumar. 2019. "Modelling on Vendor-Managed Inventory Policies with Equal and Unequal Shipments under GHG Emission-Trading Scheme." *International Journal of Production Research* 57(11):3362–81. doi: 10.1080/00207543.2018.1530471.
- Ghare, P. M., and G. F. Schrader. 1963. "A Model for Exponentially Decaying Inventory." *Journal of Industrial Engineering* 14(5).
- Ghosh, Arindam. 2021. "Optimisation of a Production-Inventory Model under Two Different Carbon Policies and Proposal of a Hybrid Carbon Policy under Random Demand." *International Journal of Sustainable Engineering* 14(3):280–92. doi: 10.1080/19397038.2020.1800858.
- Ghosh, Arindam, J. K. Jha, and S. P. Sarmah. 2016a. "Optimizing a Two-Echelon Serial Supply Chain with Different Carbon Policies." *International Journal of Sustainable Engineering* 9(6):363–77. doi: 10.1080/19397038.2016.1195457.
- Ghosh, Arindam, J. K. Jha, and S. P. Sarmah. 2016b. "Optimizing a Two-Echelon Serial Supply Chain with Different Carbon Policies." *International Journal of Sustainable Engineering* 9(6):363–77. doi: 10.1080/19397038.2016.1195457.
- Ghosh, Arindam, J. K. Jha, and S. P. Sarmah. 2017a. "Optimal Lot-Sizing under Strict Carbon Cap Policy Considering Stochastic Demand." *Applied Mathematical Modelling* 44:688–704. doi: 10.1016/j.apm.2017.02.037.
- Ghosh, Arindam, J. K. Jha, and S. P. Sarmah. 2017b. "Optimal Lot-Sizing under Strict Carbon Cap Policy Considering Stochastic Demand." *Applied Mathematical Modelling* 44:688–704. doi: 10.1016/j.apm.2017.02.037.
- Ghosh, Arindam, S. P. Sarmah, and J. K. Jha. 2018. "Collaborative Model for a Two-Echelon Supply Chain with Uncertain Demand under Carbon Tax Policy." *Sadhana - Academy Proceedings in Engineering Sciences* 43(9). doi: 10.1007/s12046-018-0899-6.
- Giri, B. C., and S. Bardhan. 2012. "Supply Chain Coordination for a Deteriorating Item with Stock and Price-Dependent Demand under Revenue Sharing Contract." *International Transactions in Operational Research* 19(5):753–68. doi: 10.1111/j.1475-3995.2011.00833.x.
- Giri, B. C., and S. Bardhan. 2015. "A Vendor–Buyer JELS Model with Stock-Dependent Demand and Consigned Inventory under Buyer’s Space Constraint." *Operational Research* 15(1):79–93. doi: 10.1007/s12351-015-0167-z.

- Goswami, Adrijit, and K. S. Chaudhuri. 1991. "An Eoq Model for Deteriorating Items with Shortages and a Linear Trend in Demand." *Journal of the Operational Research Society* 42(12). doi: 10.1057/jors.1991.204.
- Goyal, S. K. 1977. "An Integrated Inventory Model for a Single Supplier-Single Customer Problem." *International Journal of Production Research* 15(1):107–11. doi: 10.1080/00207547708943107.
- Goyal, S. K., and B. C. Giri. n.d. *Invited Review Recent Trends in Modeling of Deteriorating Inventory*.
- Gümüş, Mehmet, Elizabeth M. Jewkes, and James H. Bookbinder. 2008. "Impact of Consignment Inventory and Vendor-Managed Inventory for a Two-Party Supply Chain." *International Journal of Production Economics* 113(2):502–17. doi: 10.1016/j.ijpe.2007.10.019.
- Hariga, Moncer. 1995. *An EOQ Model for Deteriorating Items with Shortages and Time-Varying Demand*. Vol. 46.
- Hariga, Moncer, Salbi Babekian, and Zied Bahroun. 2019. "Operational and Environmental Decisions for a Two-Stage Supply Chain under Vendor Managed Consignment Inventory Partnership." *International Journal of Production Research* 57(11):3642–62. doi: 10.1080/00207543.2018.1548787.
- Hemmati, M., S. M. T. Fatemi Ghomi, and Mohsen S. Sajadieh. 2017. "Vendor Managed Inventory with Consignment Stock for Supply Chain with Stock- and Price-Dependent Demand." *International Journal of Production Research* 55(18):5225–42. doi: 10.1080/00207543.2017.1296203.
- Hou, K. L., and L. C. Lin. 2006. "An EOQ Model for Deteriorating Items with Price- and Stock-Dependent Selling Rates under Inflation and Time Value of Money." *International Journal of Systems Science* 37(15):1131–39. doi: 10.1080/00207720601014206.
- Huang, Ming Guan. 2013. "Economic Ordering Model for Deteriorating Items with Random Demand and Deterioration." *International Journal of Production Research* 51(18):5612–24. doi: 10.1080/00207543.2013.791753.
- Jaber, Mohamad Y., Simone Zanoni, and Lucio E. Zavanella. 2014. "A Consignment Stock Coordination Scheme for the Production, Remanufacturing and Waste Disposal Problem." *International Journal of Production Research* 52(1):50–65. doi: 10.1080/00207543.2013.827804.

- Jain, Karuna, and Edward A. Silver. 1994. *Lot Sizing for a Product Subject to Obsolescence or Perishability*. Vol. 75.
- Jolai, Fariborz, R. Tavakkoli-Moghaddam, M. Rabbani, and M. R. Sadoughian. 2006. "An Economic Production Lot Size Model with Deteriorating Items, Stock-Dependent Demand, Inflation, and Partial Backlogging." *Applied Mathematics and Computation* 181(1):380–89. doi: 10.1016/j.amc.2006.01.039.
- Kalpakam, S., and G. Arirignan. 1988. "A Continuous Review Perishable Inventory Model." *Statistics* 19(3):389–98. doi: 10.1080/02331888808802112.
- Kalpakam, S., and K. P. Sapna. 1994. "*Continuous Review (s, S) Inventory System with Random Lifetimes and Positive Leadtimes*". Vol. 16.
- Kalpakam, S., and K. P. Sapna. 1996. *A Lost Sales (S-I, S) Perishable Inventory System With Renewal Demand*.
- Kalpakam, S., and S. Shanthi. 2001. *A Perishable Inventory System with Modified (S/I, S) Policy and Arbitrary Processing Times*. Vol. 28.
- Khan, Mehmood, Mohamad Y. Jaber, Simone Zanoni, and Lucio Zavanella. 2016. "Vendor Managed Inventory with Consignment Stock Agreement for a Supply Chain with Defective Items." *Applied Mathematical Modelling* 40(15–16):7102–14. doi: 10.1016/j.apm.2016.02.035.
- Lee, Sunghee, and Daeki Kim. 2014. "An Optimal Policy for a Single-Vendor Single-Buyer Integrated Production-Distribution Model with Both Deteriorating and Defective Items." *International Journal of Production Economics* 147(PART A):161–70. doi: 10.1016/j.ijpe.2013.09.011.
- Lin, I. Chen, and Jen Ming Chen. 2010. "Coordinating a Channel with a Joint VMI and Consignment Contract for a Deteriorating Item and Stock Dependent Demand." in *Proceedings - 2010 IEEE 17th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, IE and EM2010*.
- Mishra, Pandit Jagatananda, Trailokyanath Singh, and Hadibandhu Pattanayak. 2016a. "An Optimal Ordering Policy for Deteriorating Items Varying with Stock Dependent Demand and Time-Proportional Deterioration under Permissible Delay in Payment." *Journal of Information and Optimization Sciences* 37(6):893–910. doi: 10.1080/02522667.2016.1226622.
- Mishra, Pandit Jagatananda, Trailokyanath Singh, and Hadibandhu Pattanayak. 2016b. "An Optimal Ordering Policy for Deteriorating Items Varying with Stock Dependent Demand and Time-Proportional Deterioration under Permissible Delay

- in Payment.” *Journal of Information and Optimization Sciences* 37(6):893–910. doi: 10.1080/02522667.2016.1226622.
- Mishra, Vinod Kumar. 2013. “An Inventory Model of Instantaneous Deteriorating Items with Controllable Deterioration Rate for Time Dependent Demand and Holding Cost.” *Journal of Industrial Engineering and Management* 6(2):495–506. doi: 10.3926/jiem.530.
- Misra, Ram B. 1975a. “Optimum Production Lot Size Model for a System with Deteriorating Inventory.” *International Journal of Production Research* 13(5):495–505. doi: 10.1080/00207547508943019.
- Misra, Ram B. 1975b. “Optimum Production Lot Size Model for a System with Deteriorating Inventory.” *International Journal of Production Research* 13(5):495–505. doi: 10.1080/00207547508943019.
- Nafisah, Laila, Mohammad Ekky Nugraha, and Ahmad Muhsin. 2021. “Deterioration Item Inventory Policy with Sales Discount under Order Quantity Discount and Permissible Delay in Payments.” *RSF Conference Series: Engineering and Technology* 1(1):15–22. doi: 10.31098/cset.v1i1.333.
- Palanivel, M., and M. Suganya. 2022. “Partial Backlogging Inventory Model with Price and Stock Level Dependent Demand, Time Varying Holding Cost and Quantity Discounts.” *Journal of Management Analytics* 9(1):32–59. doi: 10.1080/23270012.2021.1887771.
- Peidro, David, Josefa Mula, Raúl Poler, and Francisco Cruz Lario. 2009. “Quantitative Models for Supply Chain Planning under Uncertainty.” *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 43(3–4):400–420. doi: 10.1007/s00170-008-1715-y.
- Peston, M. H., and Thomson M. Whitin. 1958. “The Theory of Inventory Management.” *Economica* 25(100). doi: 10.2307/2550770.
- Philip, George C. 1974a. “A Generalized Eoq Model for Items with Weibull Distribution Deterioration.” *AIIE Transactions* 6(2):159–62. doi: 10.1080/05695557408974948.
- Philip, George C. 1974b. “A Generalized Eoq Model for Items with Weibull Distribution Deterioration.” *AIIE Transactions* 6(2):159–62. doi: 10.1080/05695557408974948.
- Pour, Amir Nasiri, and Somayeh Najafi Ghobadi. 2018. “Optimal Selling Price, Replenishment Lot Size and Number of Shipments for Two-Echelon Supply

- Chain Model with Deteriorating Items.” *Decision Science Letters* 7(3):311–22. doi: 10.5267/j.dsl.2017.7.001.
- Prasad, Krishna, and Bani Mukherjee. 2016. “Optimal Inventory Model under Stock and Time Dependent Demand for Time Varying Deterioration Rate with Shortages.” *Annals of Operations Research* 243(1–2):323–34. doi: 10.1007/s10479-014-1759-3.
- Raafat, Fred. 1991. *Survey of Literature on Continuously Deteriorating Inventory Models*. Vol. 42.
- Sajadieh, Mohsen S., Anders Thorstenson, and Mohammad R. Akbari Jokar. 2010. “An Integrated Vendor-Buyer Model with Stock-Dependent Demand.” *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 46(6):963–74. doi: 10.1016/j.tre.2010.01.007.
- Sarker, Bhaba R., Subhasis Mukherjeea, and Chidambaram v Balanb. 1997. *Production Economics An Order-Level Lot Size Inventory Model with Inventory-Level Dependent Demand and Deterioration*. Vol. 48.
- Sen, Nabin, Sudarshan Bardhan, and Bibhas Chandra Giri. 2021. “Effectiveness of Consignment Stock Policy under Space Limitations and Deterioration.” *International Journal of Production Research* 59(6):1834–51. doi: 10.1080/00207543.2020.1727040.
- Srivastava, Meenakshi, and Ranjana Gupta. 2007. *EOQ Model for Deteriorating Items Having Constant and Time-Dependent Demand Rate*. Vol. 44.
- Tat, Roya, Ata Allah Taleizadeh, and Maryam Esmaeili. 2015. “Developing Economic Order Quantity Model for Non-Instantaneous Deteriorating Items in Vendor-Managed Inventory (VMI) System.” *International Journal of Systems Science* 46(7):1257–68. doi: 10.1080/00207721.2013.815827.
- Tiwari, Sunil, Yosef Daryanto, and Hui Ming Wee. 2018. “Sustainable Inventory Management with Deteriorating and Imperfect Quality Items Considering Carbon Emission.” *Journal of Cleaner Production* 192:281–92. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.04.261.
- Tsai, Deng Maw. 2011. “An Optimal Production and Shipment Policy for a Single-Vendor Single-Buyer Integrated System with Both Learning Effect and Deteriorating Items.” *International Journal of Production Research* 49(3):903–22. doi: 10.1080/00207540903473375.

- Viani Trinanda Adi Nugroho, Agustina, and Hui Ming. 2019. *SUPPLY CHAIN COORDINATION UNDER VENDOR MANAGED INVENTORY SYSTEM CONSIDERING CARBON EMISSION FOR IMPERFECT QUALITY DETERIORATING ITEMS*.
- Wu, Jong Wu, Chinho Lin, Bertram Tan, and Wen Chuan Lee. 2000. "An EOQ Inventory Model with Time-Varying Demand and Weibull Deterioration with Shortages." *International Journal of Systems Science* 31(6):677–83. doi: 10.1080/00207720050030716.
- Wu, Kun Shan, Liang Yuh Ouyang, and Chih te Yang. 2006a. "An Optimal Replenishment Policy for Non-Instantaneous Deteriorating Items with Stock-Dependent Demand and Partial Backlogging." *International Journal of Production Economics* 101(2):369–84. doi: 10.1016/j.ijpe.2005.01.010.
- Wu, Kun Shan, Liang Yuh Ouyang, and Chih te Yang. 2006b. "An Optimal Replenishment Policy for Non-Instantaneous Deteriorating Items with Stock-Dependent Demand and Partial Backlogging." *International Journal of Production Economics* 101(2):369–84. doi: 10.1016/j.ijpe.2005.01.010.
- Yang, Po Chung, and Hui Ming Wee. 2000. "Economic Ordering Policy of Deteriorated Item for Vendor and Buyer: An Integrated Approach." *Production Planning and Control* 11(5):474–80. doi: 10.1080/09537280050051979.
- Yang, Shuai, Ki Sung Hong, and Chulung Lee. 2014. "Supply Chain Coordination with Stock-Dependent Demand Rate and Credit Incentives." Pp. 105–11 in *International Journal of Production Economics*. Vol. 157. Elsevier B.V.
- Yang, Shuai, Yujie Xiao, and Yong Hong Kuo. 2017. "The Supply Chain Design for Perishable Food with Stochastic Demand." *Sustainability (Switzerland)* 9(7). doi: 10.3390/su9071195.
- Yao, Yuliang, Philip T. Evers, and Martin E. Dresner. 2007. "Supply Chain Integration in Vendor-Managed Inventory." *Decision Support Systems* 43(2):663–74. doi: 10.1016/j.dss.2005.05.021.
- Yu, Yugang, George Q. Huang, Zhaofu Hong, and Xiandong Zhang. 2011. "An Integrated Pricing and Deteriorating Model and a Hybrid Algorithm for a VMI (Vendor-Managed-Inventory) Supply Chain." *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering* 8(4):673–82. doi: 10.1109/TASE.2011.2140371.
- Yu, Yugang, Zheng Wang, and Liang Liang. 2012. "A Vendor Managed Inventory Supply Chain with Deteriorating Raw Materials and Products." *International*

Journal of Production Economics 136(2):266–74. doi:
10.1016/j.ijpe.2011.11.029.

Zanoni, Simone, and Mohamad Y. Jaber. 2015. “A Two-Level Supply Chain with Consignment Stock Agreement and Stock-Dependent Demand.” *International Journal of Production Research* 53(12):3561–72. doi:
10.1080/00207543.2014.980012.

Zanoni, Simone, Laura Mazzoldi, and Mohamad Y. Jaber. 2014. “Vendor-Managed Inventory with Consignment Stock Agreement for Single Vendor-Single Buyer under the Emission-Trading Scheme.” *International Journal of Production Research* 52(1):20–31. doi: 10.1080/00207543.2013.812812.

LAMPIRAN A. Pemograman Pengolahan Data

```
import numpy as np

from geneticalgorithm import geneticalgorithm as ga

#Cost Function

def objectivefunction(x):

# parameters cost function

    a=32162 #unit/year

    beta= 0.25

    P=606507 # unit/year

    theta=0.1

    s=5000 #/transfer

    Ab=563 #/order

    Av=44557 #setup

    hn=565 #/unit/year

    hb=1580 #/unit/year

    hv=585 #/unit/year

    Cp=600 #unit

    tf= 500 #/trip

    tv=0.75 #/liter/km

    c1=0.3

    c2=0.0045

    d=100 # km

    b=0.425 #kg

    Cd= 100 #unit
```

```

# Decision Variable

#x[0]= nb

#x[1]= nv

#x[2]=q

penalty= 0

#Conditions

if x[0] <= 1:

    penalty=99

else:

    penalty=0

if x[1] <= 1 :

    penalty=99

else:

    penalty=0

if x[2] <= 1 and x[2] >= Cd:

    penalty =99999

else:

    penalty=0

TC=
((a+x[2]*(theta+beta))/x[2])*(Av/(x[0]*x[1])+Ab/x[0]+s+(tf+2*d*tv*c1+d*tv*c2*b*x[0]
*x[2])/x[0])

+ hb*x[2]/2 + (Cp*theta*x[2])/2 + (hv*x[0]*x[2]*(a+x[2]*(theta+beta)))/2*P
+(hn*((x[0]*x[1]-1)*P*x[2] -(x[1]-1)*x[0]*x[2]*(a+x[2]*(theta+beta))))/2*P

min_cost= TC-penalty*10000

return min_cost

```

```
def f(x):  
    return -np.sum(x)  
  
varbound=np.array([[1,36],[1,10],[1,100]])  
vartype=np.array(['int'],['int'],['real'])  
  
algorithm_param = {'max_num_iteration':1000,\  
                   'population_size':100,\  
                   'mutation_probability':0.2,\  
                   'elit_ratio': 0.2,\  
                   'crossover_probability': 0.8,\  
                   'parents_portion': 0.2,\  
                   'crossover_type':'uniform',\  
                   'max_iteration_without_improv':None}  
  
model=ga(function=objectivefunction,\  
         dimension=3,\  
         variable_boundaries=varbound,\  
         variable_type_mixed =vartype ,\  
         algorithm_parameters=algorithm_param)  
  
model.run()
```