



TESIS - TI 092327

PENGEMBANGAN MODEL INTEGRASI PERSEDIAAN PEMBELI-PEMASOK TUNGGAL PADA PRODUK UMUR PENDEK DENGAN PERMINTAAN STOKASTIK

PARAMITA SETYANINGRUM
NRP 2510.203.702

DOSEN PEMBIMBING

Iwan Vanany ST., MT., PhD
Prof. Ir. I Nyoman Pujawan, M.Eng., Ph.D.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN LOGISTIK DAN MANAJEMEN RANTAI PASOK
JURUSAN TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2012



THESIS - TI 092327

INTEGRATED INVENTORY MODEL OF PERISHABLE PRODUCT SINGLE-VENDOR SINGLE- RETAILER WITH STOCHASTIC DEMAND

PARAMITA SETYANINGRUM
SRN 2510.203.702

ADVISOR

Iwan Vanany ST., MT., PhD.
Prof. Ir. I Nyoman Pujawan, M.Eng., Ph.D.

MASTER PROGRAM
LOGISTICS AND SUPPLY CHAIN MANAGEMENT SPECIALIZATION
INDUSTRIAL ENGINEERING DEPARTMENT
INDUSTRIAL TECHNOLOGY FACULTY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2012

PENGEMBANGAN MODEL INTEGRASI PERSEDIAAN PEMASOK-PEMBELI TUNGGAL PADA PRODUK UMUR PENDEK DENGAN PERMINTAAN STOKASTIK

Nama Mahasiswa : Paramita Setyaningrum
NRP : 2510203702
Jurusan : Teknik Industri
Dosen Pembimbing : Iwan Vanany, ST., MT, PhD
Dosen Co-Pembimbing : Prof. Ir. I Nyoman Pujawan M.Eng, PhD

Abstrak

Pada penelitian ini dilakukan pengembangan model inventori yang terintegrasi antara pembeli-pemasok tunggal. Produk yang digunakan sebagai obyek pada penelitian ini merupakan produk umur pendek yang mempunyai masa hidup terbatas. Pola permintaan diasumsikan bersifat stokastik pada *retailer* sedangkan produsen mengetahui permintaan dengan pasti. Tujuan penelitian ini adalah meminimasi total biaya pembeli dan pemasok dimana biaya yang dipertimbangkan adalah biaya operasional dan biaya yang ditimbulkan karena karakter produk yang memiliki umur terbatas. Pada model ini, pengiriman dapat dilakukan setelah seluruh proses produksi selesai dilakukan dengan tujuan untuk menguji kualitas produk dan proses pelabelan. Pengiriman untuk satu kali produksi dilakukan beberapa kali karena biaya simpan di *retailer* lebih tinggi dibandingkan dengan biaya simpan di pabrikan. Produk yang berasal dari satu *batch* produksi memiliki umur produk yang sama. Proses produksi berikutnya harus selesai pada akhir pengiriman dari proses produksi sebelumnya. Pada penelitian ini, diterapkan metode LIFO dimana kecenderungan konsumen akan memilih produk yang sisa umurnya lebih panjang. Jadi, apabila terjadi pengiriman *batch* produk berikutnya sedangkan *batch* produk sebelumnya belum habis terjual, maka sisa produk dari *batch* produk sebelumnya akan langsung dibuang walaupun belum mencapai masa *expired date*. Produk yang terbuang akan menimbulkan biaya bagi *retailer*. Oleh karena itu, penentuan waktu siklus produksi dan ukuran lot pengiriman yang tepat sangat penting dilakukan untuk meminimasi total biaya pada manufaktur dan *retailer*. Berdasarkan hasil perhitungan dengan model yang dikembangkan, waktu siklus produksi optimal terjadi sebelum masa akhir umur hidup produk dan juga menunjukkan bahwa pengambilan keputusan terintegrasi lebih baik dibandingkan dengan keputusan diambil secara parsial.

Keywords: Integrasi Inventori, Permintaan Stokastik, *Perishable Product*, LIFO

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

INTEGRATED INVENTORY MODEL OF PERISHABLE PRODUCT SINGLE-VENDOR SINGLE- RETAILER WITH STOCHASTIC DEMAND

Nama Mahasiswa : Paramita Setyaningrum
NRP : 2510203702
Jurusan : Teknik Industri
Dosen Pembimbing : Iwan Vanany, ST., MT, PhD
Dosen Co-Pembimbing : Prof. Ir. I Nyoman Pujawan M.Eng, PhD

Abstract

On this study, a development of an integrated retailer-single producer inventory model of a perishable product has been done. This inventory model is developed for a stochastic demand environment for the retailer, while for the supplier it is assumed that the demand is certain. The objective of this research is to minimize the total cost of retailer and supplier with operational cost and outdate cost (the cost of expired products due to its limited life-span). On this model all products of one production cycle is sent after the whole cycle is finished for the purpose of quality control and labeling. The shipment is conducted several times for one production cycle due to the high inventory cost at the retailer end. Products that are made on the same production cycle have identical life-span. One cycle of production has to be finished before the end of last shipment of the previous production cycle. On this study a LIFO method is applied, thus when a new shipment arrives, the products of the previous shipment will be discarded even if it have not reached its expired date. This discarded products will invoke a cost for the retailer. Hence, the determination of production cycle time and shipment's lot size is crucial to minimize the total cost for manufacturer and retailer. The result shows that the optimum production cycle time occurs before the product end-of-life time. It also shows that an integrated decision is better than a partial one.

Keywords: Integrated Inventory, Stochastic Demand, Perishable Product, LIFO

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Kata Pengantar

Alhamdulillahirobbil'alamin, tiada rangkaian kata terindah yang lebih pantas untuk diucapkan selain panjatan puji syukur kehadiran Allah SWT, Tuhan Yang Maha Pengasih dan Penyayang, karena hanya dengan limpahan rahmat dan nikmat-Nya, penelitian ini yang berjudul "*Pengembangan Model Integrasi Persediaan Pemasok-Pembeli Tunggal pada Produk Umur Pendek dengan Permintaan Stokastik*" ini dapat terselesaikan dengan baik. Ucapan terima kasih juga saya berikan kepada pihak Kementerian Pendidikan Nasional yang telah memberikan kesempatan bagi saya mendapatkan Beasiswa Unggulan untuk melanjutkan studi S2 di ITS.

Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya atas segala bantuan dan kebaikan yang telah diberikan kepada :

1. Bapak dan Ibu tercinta serta adik-adikku yang tidak pernah lelah dalam memberikan doa, dukungan, motivasi, semangat, dan pengertiannya di setiap waktu.
2. Bapak Iwan Vanany ST., MT., PhD dan Prof. Ir. I Nyoman Pujawan M.Eng., PhD., CSCP selaku dosen pembimbing atas kesabaran dan waktu yang diluangkan untuk memberikan banyak masukan dan arahan yang sangat mendukung dalam pengerjaan Tesis ini.
3. Prof. Dr. Ir. Suparno M.S.I.E, Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono M.Eng.Sc., Prof. Ir. Moses L. Singgih M.Sc., MRegSc., PhD, Bapak Yudha Prasetyawan ST., M.Eng., Ibu Putu Dana Karningsih ST. M.Eng.Sc., PhD., dan Ibu Niniet Arvitrieda ST. MT. selaku dosen penguji atas masukan dan saran yang berharga.
4. Prof. Ir. I Nyoman Pujawan M.Eng., PhD., CSCP selaku Koordinator *Laboratorium Logistics and Supply Chain Management* yang telah memberikan kesempatan kepada saya bergabung dalam Keluarga Besar Laboratorium LSCM yang telah memberikan saya banyak pengalaman dan pengetahuan tentang ilmu Logistik dan Supply Chain Management.
5. Ika Nurshanti yang senantiasa membantu memberikan masukan, ide, dukungan dan mendengarkan keluhan selama pengerjaan Tesis ini.
6. Ir. Ahmad Rusdiansyah, M. Eng., Dr.Eng. yang telah memberikan saya informasi beasiswa S2, sehingga saya mendapat kesempatan melanjutkan kuliah S2 di ITS.
7. Ibu Maria Anityasari ST. M.E., PhD. yang telah meluangkan waktu untuk *sharing* tentang kelanjutan studi S2 dan memotivasi saya dalam melanjutkan studi saya.
8. Seluruh dosen pengajar yang telah memberikan ilmu yang sangat bermanfaat selama ini.
9. Seluruh karyawan jurusan Teknik Industri ITS yang telah membantu kelancaran proses belajar mengajar.
10. Wahyu Bagus Anshori, teman diskusi sesama topik *newsboy* model yang sama-sama mulai belajar topik inventori dari awal. Thanks a lot bro for everything, akhirnya masa-masa "berkemah" tiap hari terlewati.

11. Teman-teman satu “perkemahan”, Adel, Mbak Mimin, Gusita, Tania, Upu, Ulin, Nurul, Waba, Arif yang selalu menjadi motivator dan membawa keceriaan selama pengerjaan Tesis. Spesial untuk Mbak Mimin, terima kasih banyak dibantu mengerjakan VBA sampai jam 3 pagi.
12. Asisten Laboratorium KOI yang tidak bisa disebutkan satu per satu, terima kasih banyak mau memberi tumpangan penginapan selama beberapa waktu serta keceriaan yang diberikan selama pengerjaan Tesis.
13. Adik-adikku, Pras, Dysti, Linda, Momon, Dimas, Rangga, Bocin, dan Putu Eka. Terima kasih banyak atas support dan doa yang senantiasa diberikan hingga pengerjaan Tesis selesai.
14. Teman-teman satu bimbingan, Anis, Ai, Mbak Iir, Ulin, Arif, Waba terima kasih telah memotivasi satu sama lain dan berbagi informasi saat akan bimbingan.
15. Asisten Laboratorium LSCM yang senantiasa memberikan motivasi dan doanya.
16. Mbak Erly dan Pak Anshori, terima kasih atas waktunya untuk berbagi ilmu tentang inventori sehingga banyak membantu dalam penyelesaian Tesis ini.
17. Teman-teman diskusi model matematis Mbak Misra, Mbak Reina, Risa, Sophia, Widya, Stanza, Tegar. Terima kasih banyak sudah bersedia merelakan waktu menjadi teman diskusi sehingga penulis banyak mendapatkan ilmu baru yang menunjang penyelesaian Tesis.
18. Arif Bijak Bestari, sahabat yang senantiasa mengingatkan penulis untuk segera menyelesaikan Tesis secepatnya.
19. Mbak Nophie, Om Tatok, Om Cheng, dan Mbak Nur yang memberikan dukungan dan doa serta menjadi saudara-saudara baru selama penulis tinggal di Surabaya.
20. Sahabat-sahabat penerima beasiswa Beasiswa Unggulan; Hutama, Sudiana, Irma Duta, Mbak Okki, Kuntum, Arif dan last but not least Alm. Mbak Lina terima kasih atas semua bantuan dan akhirnya kita semua berhasil melewati ini dengan indah. Hutama dan Sudiana, terima kasih banyak atas bantuannya dalam pengerjaan Tesis ini, mohon maaf banyak merepotkan selama kalian masih studi di negeri seberang.
21. Teman-teman S2 terima kasih banyak atas kerjasamanya selama masa perkuliahan.
22. Teman seangkatan “Apatis 05” yang masih keep in touch, Alen, Yoyok, mas Bilal, Tiananda, Faiq, Ramzy yang selalu memberikan dukungan dan doa agar Tesis bisa diselesaikan secepatnya.
23. Seluruh pihak yang membantu dalam penyelesaian Tesis ini yang tidak bisa disebutkan karena terlalu banyak. Terima kasih banyak karena dengan bantuan, dukungan, motivasi dari seluruh pihak tersebut Tesis ini dapat terselesaikan dengan baik.

Daftar Isi

Abstrak.....	i
Abstract.....	iii
Kata Pengantar.....	v
Daftar Isi.....	vii
Daftar Gambar.....	xi
Daftar Tabel.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Batasan Penelitian.....	5
1.5 Asumsi Penelitian.....	6
1.6 Sistematika Penulisan.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1 <i>Perishable Product</i>	9
2.2 Inventori Model.....	12
2.2.1 Model EOQ (Economic Order Quantity)	12
2.2.2 Model EPQ (<i>Economic Production Quantity</i>)	13
2.2.3 Inventori pada <i>Perishable Product</i>	15
2.3 Manajemen Rantai Pasok.....	20
2.4 Model Ukuran Lot Ekonomis Gabungan (<i>Joint Economic Lot Size</i>)	23
2.5 Posisi Penelitian.....	29
BAB III PENGEMBANGAN MODEL.....	33
3.1 Gambaran Model Dasar.....	33

3.1.1	Penelitian Wang et al. (2010)	33
3.1.2	Penelitian Pujawan dan Kingsman (2002)	37
3.2	Pengembangan Model.....	39
3.2.1	Deskripsi Permasalahan.....	39
3.2.2	Fungsi Tujuan.....	42
3.2.3	Variabel Keputusan.....	42
3.2.4	Asumsi dan Notasi.....	43
3.2.5	Formulasi Model Matematika.....	44
3.2.6	Solusi Model.....	51
BAB IV	UJI NUMERIK.....	55
4.1	Contoh Numerik Pengembangan Model.....	55
4.2	Solusi Penyelesaian Model.....	56
4.2.1	Model Non-Koordinasi <i>Perishable Product</i>	56
4.2.2	Model Koordinasi <i>Perishable Product</i>	58
Bab V	ANALISA DAN INTERPRETASI HASIL.....	63
5.1	Analisa Pengujian Numerik pada Model Koordinasi <i>Perishable Product</i>	63
5.2	Pengaruh Perubahan Biaya pada Manufaktur.....	64
5.2.1	Pengaruh Perubahan Biaya Set-up.....	64
5.2.2	Pengaruh Biaya Penyimpanan.....	65
5.3	Pengaruh Perubahan Biaya <i>Retailer</i>	67
5.3.1	Pengaruh Perubahan Biaya Pemesanan.....	67
5.3.2	Pengaruh Perubahan Biaya Simpan.....	69
5.3.3	Pengaruh Perubahan Biaya Pengiriman.....	70
5.3.4	Pengaruh Perubahan Biaya <i>Shortage</i>	72
5.3.5	Pengaruh Perubahan Biaya <i>Overstock</i>	73

5.4	Perbandingan Model Koordinasi dan Model Non-Koordinasi <i>Perishable Product</i>	74
Bab VI KESIMPULAN DAN SARAN.....		77
6.1	Kesimpulan.....	77
6.2	Saran.....	77
DAFTAR PUSTAKA.....		79
LAMPIRAN.....		83

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Daftar Gambar

Gambar 2.1 Model EOQ	13
Gambar 2.2 Model EPQ	14
Gambar 2.3 Skema Klasifikasi <i>Supply Chain Coordination</i>	21
Gambar 2.4 Profil Inventori Integrasi Pemasok-Pembeli	26
Gambar 3.1 Profil Inventori Terhadap Waktu (Wang, et al., 2010)	34
Gambar 3.2 Profil Inventori Integrasi Skenario 1 (Pujawan dan Kingsman, 2002)	37
Gambar 3.3 Ilustrasi Model Inventori Pengembangan Model	40
Gambar 3.4 Model Integrasi Inventori	41
Gambar 3.5 <i>Influence Diagram</i> Formulasi Model Matematika	43
Gambar 4.1 Grafik Perhitungan Total Biaya vs T pada Model Non-Koordinasi .	57
Gambar 4.2 Grafik Total Biaya Koordinasi vs Lot Pengiriman $T=S_L$	59
Gambar 4.3 Grafik Total Biaya Koordinasi vs Lot Pengiriman $T=S_L-1$	60
Gambar 4.4 Grafik Rekap Pengujian Seluruh Variabel T	61
Gambar 5.1 Grafik Pengaruh Perubahan Biaya Set-up	65
Gambar 5.2 Grafik Pengaruh Perubahan Biaya Simpan Manufaktur	66
Gambar 5.3 Grafik Pengaruh Perubahan Biaya Pesan <i>Retailer</i>	68
Gambar 5.4 Grafik Pengaruh Perubahan Biaya Simpan <i>Retailer</i>	70
Gambar 5.5 Grafik Pengaruh Perubahan Biaya Pesan <i>Retailer</i>	71
Gambar 5.6 Grafik Pengaruh Perubahan Biaya <i>Shortage Retailer</i>	72
Gambar 5.7 Grafik Pengaruh Perubahan Biaya <i>Overstock Retailer</i>	74

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Daftar Tabel

Tabel 2.1 Posisi Penelitian	31
Tabel 4.1 Parameter Uji Numerik	55
Tabel 4.2 Permintaan Selama Waktu T	56
Tabel 4.3 Perhitungan Total Biaya Retailer $T = S_L$	56
Tabel 4.4 Perhitungan Total Biaya Retailer pada Semua Nilai T	57
Tabel 4.5 Perhitungan Total Biaya Non-Koordinasi	58
Tabel 4.6 Perhitungan Total Biaya Model Koordinasi dengan $T=S_L$	59
Tabel 4.7 Perhitungan Total Biaya Model Koordinasi dengan $T= S_L-1$	60
Tabel 4.8 Rekap Perhitungan Total Biaya pada Pengujian variabel T	60
Tabel 5.1 Perhitungan Total Biaya terhadap Perubahan Biaya Set-Up Manufaktur	65
Tabel 5.2 Perhitungan Total Biaya terhadap Perubahan Biaya Simpan Manufaktur	66
Tabel 5.3 Perhitungan Total Biaya terhadap Perubahan Biaya Pemesanan <i>Retailer</i>	68
Tabel 5.4 Perhitungan Total Biaya terhadap Perubahan Biaya Simpan Retailer..	69
Tabel 5.5 Perhitungan Total Biaya terhadap Perubahan Biaya Pengiriman Retailer	71
Tabel 5.6 Perhitungan Total Biaya terhadap Perubahan Biaya <i>Shortage Retailer</i>	72
Tabel 5.7 Perhitungan Total Biaya terhadap Perubahan Biaya <i>Overstock Retailer</i>	73
Tabel 5.8 Perbandingan Hasil Model Koordinasi dan Non-Koordinasi <i>Perishable Product</i>	75

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan jumlah penduduk yang sangat cepat memicu peningkatan kebutuhan masyarakat. Hal ini menjadi peluang bagi perusahaan untuk meningkatkan keuntungan perusahaan karena jumlah permintaan yang meningkat. Namun, muncul tingkat persaingan yang cukup tinggi dalam menarik konsumen. Oleh karena itu, perusahaan membutuhkan strategi untuk dapat menjaga bahkan meningkatkan jumlah permintaan dengan meningkatkan tingkat pelayanan kepada konsumen. Salah satu contoh dari kebutuhan masyarakat yang meningkat adalah produk makanan.

Produk makanan merupakan salah satu kategori produk yang bersifat tidak tahan lama (*perishable product*). Jenis produk diklasifikasikan menjadi dua kategori, yaitu *perishable product* dan *non-perishable product*. Perbedaan mendasar dari kedua jenis produk ini adalah umur produk tersebut, dimana kategori *perishable product* memiliki umur yang lebih pendek (Donselaar, et al., 2006). *Perishable product* mengalami kerusakan dengan berjalannya waktu terhitung sejak produk tersebut diproduksi. Menurut Nahmias (1982), umur *perishable product* dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu *fixed lifetime* dan *random lifetime*. Faktor lain yang menjadi karakteristik *perishable product* selain umur produk yang pendek adalah tingkat konsumsi *perishable product* tersebut bersifat tidak pasti. Adanya ketidakpastian permintaan konsumen, umur produk yang pendek dan target untuk memenuhi permintaan konsumen secara tepat diperlukan suatu perencanaan inventori yang tepat karena kelebihan produk tidak bisa disimpan dalam waktu lama.

Beberapa penelitian mengenai model inventori untuk *perishable product* cukup banyak dilakukan, antara lain oleh Castro et al. (1997), Goyal dan Giri (2001), Wang et al. (2010). Goyal dan Giri (2001) melakukan *review* terhadap penelitian *perishable product* yang dilakukan oleh para peneliti sejak tahun 1990. Penulis mengklasifikasikan penelitian menjadi tiga, yaitu model inventori dengan *fixed lifetime*, *random lifetime*, dan model inventori dimana kerusakan

terjadi sesuai dengan penurunan inventori baik dalam utilitas maupun fisik. Dari tiga klasifikasi tersebut, model dapat dikembangkan dengan menambahkan beberapa asumsi, antara lain permintaan deterministik (Wang et al., 2010), stokastik (Castro et al., 1997), dll.

Dalam penelitian Wang et al., (2010), dibahas mengenai model perencanaan inventori untuk mereduksi risiko dan melakukan perbaikan terhadap manajemen operasional perusahaan. Pada model ini penentuan tingkat produksi mempertimbangkan tiga faktor, yaitu *operation factors*, *shelf-life factors*, dan *traceability factors*. Asumsi permintaan bersifat deterministik. Pada penelitian ini tidak dipertimbangkan bagaimana produk setelah dikirim ke *retailer*. Tujuan dari penelitian ini hanya meminimasi total biaya dari manufaktur, tanpa mempertimbangkan biaya yang akan ditanggung oleh *retailer*. Penelitian Castro et al., (1997) membahas model kuantitatif tentang perencanaan produksi dan inventori pada sebuah perusahaan produksi coklat dengan asumsi permintaan stokastik, tingkat kerusakan produk konstan, dan adanya batasan kapasitas. Sifat produk yang tidak tahan lama diasumsikan diabaikan pada model penelitian ini karena umur coklat yang relatif lama, yaitu antara 6-7 bulan. Keunggulan dari penelitian Castro et al. (1997) adalah perencanaan produksi yang dilakukan setiap minggu karena penelitian inventori pada umumnya menghasilkan perencanaan produksi tahunan.

Dilihat dari kategori umur produk, Nahmias (1982) menyatakan bahwa beberapa *perishable product* termasuk kategori *fixed lifetime*. Produk yang memiliki karakteristik ini tidak dapat dikonsumsi apabila sudah mencapai masa akhir hidupnya (*expired product*). Perencanaan inventori harus dilakukan sebaik mungkin agar sisa produk yang ada hingga masa akhir hidup produk jumlahnya sesedikit mungkin. Penelitian mengenai inventori *perishable product* dengan *fixed lifetime* antara lain dilakukan oleh Enagbonma dan Eraikhuemen (2011). Pada penelitian tersebut dibahas tentang permasalahan kebijakan pemesanan optimal pada produk tunggal dengan umur produk sampai periode ke- m . Kebijakan FIFO (*first-in-first-out*) diterapkan dalam memenuhi permintaan konsumen. Jadi, persediaan yang masih ada akan digunakan untuk memenuhi permintaan hingga masa hidup produk habis. Oleh karena itu, produk yang akan dibuang adalah sisa

produk di saat akhir masa hidup. Tujuan penelitian ini adalah meminimalkan total biaya dimana variabel keputusannya adalah menentukan kebijakan mengenai keputusan dilakukan pemesanan atau tidak dan jumlah pemesanan yang dilakukan.

Penelitian mengenai sistem inventori *perishable product* ini merupakan salah satu upaya dari maksimasi keuntungan ataupun minimasi biaya dalam suatu peningkatan performansi *supply chain*. Pada awalnya, para pelaku bisnis berusaha memaksimalkan performansi bisnisnya masing-masing. Namun, dengan adanya persaingan bisnis yang berubah secara drastis menyebabkan individual bisnis tidak lagi bersaing sebagai *autonomous entities* tetapi lebih ke arah kerjasama antar entitas yang ada pada rangkaian *supply chain* (Lee, 2004). Keputusan yang diambil oleh masing-masing pihak yang ada pada *supply chain* mungkin dapat memberikan keuntungan bagi dirinya sendiri, akan tetapi belum tentu memberikan keuntungan *supply chain* secara parsial (*upstream* atau *downstream supply chain*) bahkan untuk keseluruhan (*whole supply chain*). Seperti yang diungkapkan oleh Chopra dan Meindl (2007), tujuan utama dari sistem *supply chain* adalah memenuhi permintaan konsumen tepat waktu, kuantitas, dan kualitas. Namun, banyaknya pihak yang terlibat dan dependensi antar pihak yang tinggi menuntut koordinasi dan kerjasama yang baik. Apabila keputusan yang dibuat oleh masing-masing pihak berusaha menguntungkan dirinya, maka akan selalu ada pihak yang dirugikan. Oleh karena itu diperlukan adanya koordinasi antar *stage* di dalam *supply chain* agar tidak terjadi fenomena *bullwhip effect* atau distorsi informasi antar *stage* yang dapat menyebabkan jumlah permintaan dari konsumen tidak sesuai dengan jumlah produksi yang dipasok.

Salah satu bentuk koordinasi antar *stage* pada *supply chain* dilakukan dengan mengintegrasikan beberapa *stage* dalam menentukan ukuran lot pemesanan produk, produksi produk, maupun pemesanan material yang biasa dikenal dengan model *joint economic lot size* (JELS). Pada tahun 1976, Goyal melakukan penelitian tentang JELS dengan *single-supplier* dan *single customer* dan menghasilkan kesimpulan bahwa total biaya pada *supplier* dan konsumen secara independen lebih besar dibandingkan dengan diterapkannya model integrasi. Setelah Goyal, banyak peneliti-peneliti lain yang membahas model

JELS dengan berbagai asumsi dan tujuan pengembangan modelnya. Salah satunya Lee (2004) menyatakan bahwa terdapat beberapa keuntungan penerapan model JELS, yaitu dapat mengurangi total biaya inventori, membuat informasi menjadi transparan, yang menyebabkan terjalinnya kepercayaan antar komponen *supply chain*, dan meminimasi *supply chain cost*. Glock (2012) melakukan *review* terhadap perkembangan penelitian model JELS. Salah satunya membahas tentang beberapa penelitian model integrasi antar dua *stage*.

Pada tahun 1988, Goyal mengembangkan penelitian sebelumnya dengan membahas tentang minimasi total biaya integrasi *single-vendor single-buyer* dimana manufaktur memproduksi produk untuk konsumen sebesar nQ dimana Q adalah ukuran lot pemesanan konsumen dan n adalah jumlah pemesanan dalam bentuk bilangan integer. Pada model tersebut produksi dilakukan secara langsung sebelum pengiriman dilakukan. Pujawan dan Kingsman (2002) mengembangkan model persediaan pemasok-pembeli untuk suatu horison waktu yang tak terbatas. Karakteristik produk yang diteliti bersifat *non-perishable product*. Pada model ini pembeli menginginkan pengiriman dilakukan sebanyak n kali, sedangkan produksi yang dilakukan oleh pemasok adalah m kali. Jika pengiriman dilakukan dalam jumlah q , maka *lot* pemesanan pembeli dirumuskan sebagai nq dan *lot* produksi sebagai mq . Skenario pengiriman ke *retailer* dilakukan dengan dua cara, yaitu pengiriman dilakukan setelah seluruh produksi selesai dilakukan dan pengiriman dilakukan setelah sejumlah q telah berhasil diproduksi. Asumsi yang digunakan adalah semua parameter deterministik dan produk yang digunakan bersifat *non-perishable*.

Penelitian ini menggunakan acuan model Wang, et al. (2010), namun akan dilakukan integrasi antara pemasok-pembeli tunggal, seperti pada penelitian Pujawan dan Kingsman (2002) dimana model integrasi yang digunakan adalah produk akan dikirimkan saat seluruh produksi selesai dilakukan. Pola permintaan yang digunakan adalah permintaan stokastik, tetapi dengan asumsi bahwa jumlah pengiriman dari pemasok tetap, artinya risiko adanya *lost sales* maupun *overstock* akan ditanggung oleh *retailer*. Perencanaan model inventori *perishable product* pada manufaktur hanya mempertimbangkan faktor operasional dan *shelf-life* produk. Manufaktur akan mengirim produk dalam *batch* kecil dengan interval

waktu dan jumlah pengiriman tetap. *Retailer* menginginkan produk jadi dikirim dalam *batch* kecil karena biaya penyimpanan pada retail lebih tinggi dari manufaktur (Hill, 1997).

Retailer menanggung risiko adanya *lost sales* pada tiap periode ataupun produk yang tersisa saat masa akhir hidup produk. Pada penelitian sebelumnya pemenuhan kebutuhan konsumen menggunakan kebijakan FIFO. Akan tetapi pada penelitian ini akan diterapkan kebijakan LIFO (*last-in-first-out*). Kebijakan LIFO diterapkan karena konsumen cenderung memilih produk yang baru diproduksi karena masa hidupnya lebih panjang jika dibandingkan dengan produk yang masa hidupnya lebih pendek. Jadi, saat produk dengan umur yang lebih baru tiba, konsumen akan cenderung memilih produk yang baru saja dikirim. Hal ini menyebabkan adanya produk yang tersisa tidak dipilih oleh konsumen sehingga akan terbuang walaupun masa hidup produk belum habis. Penentuan kuantitas dan waktu *replenishment* yang tepat diperlukan untuk mengurangi adanya biaya *overstock* yang muncul akibat kelebihan produk yang terjadi saat masa hidup produk habis ataupun saat terjadi *replenishment* berikutnya. Oleh karena itu, integrasi antara manufaktur dan *retailer* sangat diperlukan untuk meminimasi total biaya pada kedua pihak.

1.2 Perumusan Masalah

Pada penelitian ini akan difokuskan pada bagaimana mengembangkan model inventori *perishable product* dengan integrasi antara *single-vendor single-buyer* untuk permintaan stokastik menggunakan kebijakan LIFO.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah :

1. Mengembangkan model inventori *perishable product* dengan integrasi antara *single-vendor single-buyer* untuk permintaan probabilistik.
2. Membandingkan model inventori pemasok dan pembeli secara independen dibandingkan dengan diterapkannya integrasi pemasok-pembeli.

1.4 Batasan Penelitian

Batasan yang digunakan pada penelitian ini adalah :

1. Struktur *supply chain* yang ingin diamati adalah *single-vendor* dan *single-buyer* dengan satu jenis produk.
2. Bahan baku yang dibutuhkan oleh pemasok selalu tersedia dari *supplier*.

1.5 Asumsi Penelitian

Asumsi yang digunakan dalam penelitian adalah :

1. Tingkat produksi lebih besar dibandingkan tingkat permintaan
2. Biaya-biaya *set-up*, penyimpanan, pemesanan pada pemasok dan pembeli konstan
3. Biaya penyimpanan *retailer* lebih tinggi daripada manufaktur.
4. *Stockout* produk dianggap *lost sales*
5. *Lead time* antara pemasok ke pembeli dianggap konstan dan bernilai nol
6. Produk konsumsi bersifat LIFO (*last-in-first-out*)
7. Kerusakan produk tidak terjadi tiap waktu tetapi terakumulasi saat pengiriman *batch* berikutnya dilakukan atau pada akhir masa hidup produk dimana pada saat itu apabila masih terdapat sisa produk akan langsung dibuang.

1.6 Sistematika Penulisan

Berikut akan dijelaskan mengenai sistematika penulisan laporan penelitian yang telah dilakukan :

Bab I Pendahuluan

Bab ini terdiri dari latar belakang dilakukannya penelitian ini, berikut perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan penelitian, asumsi penelitian dan sistematika penulisan laporan.

Bab II Kajian Pustaka

Bab ini menguraikan tentang teori pendukung dari beberapa penelitian terdahulu yang berkaitan dengan pemodelan yang akan dilakukan, diantaranya penelitian mengenai *supply chain*, *perishable product*, perancangan ukuran produksi optimal, dan *joint economic lot size* serta menguraikan tentang posisi penelitian terhadap penelitian sebelumnya.

Bab III Pengembangan model

Bab ini memberikan uraian tentang deskripsi model dasar dan pengembangan yang akan dilakukan dalam penelitian.

Bab IV Contoh Numerik

Bab ini menjelaskan karakteristik dan perilaku model dengan menggunakan contoh numerik.

Bab V Analisis dan Intepretasi

Bab ini menjelaskan karakteristik dan perilaku model dan perilaku perubahan parameter terhadap solusi yang dihasilkan. Selain itu, juga membahas perbandingan antara model inventori pemasok dan pembeli secara independen dibandingkan dengan diterapkannya integrasi pemasok-pembeli

Bab VI Kesimpulan dan Saran

Pada bab ini disimpulkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan serta arah penelitian lanjutan yang dapat dilakukan untuk penelitian-penelitian berikutnya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai dasar teori yang akan digunakan sebagai penunjang dalam penelitian ini.

2.1 *Perishable Product*

Suatu produk diklasifikasikan menjadi dua bagian, yaitu *perishable product* dan *non-perishable product*. Menurut Donselaar, et al. (2006), perbedaan utama antara keduanya adalah mengenai umur dari produk tersebut, dimana umur dari produk tersebut dihitung saat proses produksi selesai dilakukan sampai produk tersebut sudah tidak bisa dikonsumsi lagi. Jenis produk yang sifatnya *perishable* mempunyai *lifetime* yang lebih pendek jika dibandingkan dengan *non-perishable product*. Suatu produk bisa dikategorikan sebagai *perishable product*, apabila memiliki salah satu dari karakteristik berikut :

1. Produk tersebut akan cepat rusak apabila tidak disimpan dalam ruang penyimpanan tertentu. Contohnya adalah ruang penyimpanan dengan suhu dingin dapat mengurangi kecepatan rusaknya suatu *perishable product*.
2. Suatu produk yang tidak bisa digunakan lagi pada waktu yang berbeda, contohnya adalah koran dan majalah.
3. Suatu produk dilihat dari masa hidupnya karena pengaruh adanya model baru atau teknologi baru yang sifatnya *fast moving*, seperti produk *fashion* dan teknologi (Xu dan Sarker, 2003).

Perishable product, seperti produk makanan yaitu roti, sayuran, buah-buahan, obat-obatan, dan makanan untuk hewan peliharaan mempunyai *lifetime* yang pendek dimana produk tersebut akan mulai mengalami penurunan kualitas setelah proses produksi dan akan semakin menurun saat pengiriman produk tersebut sampai ke tangan konsumen (Chen et al., 2009). *Perishable product* dibagi menjadi dua kategori, yaitu produk yang secara simultan menjadi rusak pada akhir periode/ *expiring date*. Kedua, yaitu produk yang akan mengalami kerusakan seiring bertambahnya waktu sampai tiba masa *expiring date*. Untuk kategori yang kedua, dibagi lagi menjadi dua bagian, yaitu produk yang mempunyai *lifetime* tetap, artinya produk tersebut hanya bisa dikonsumsi sebelum

masa *expiring date* tanpa mengurangi kualitas produk, contohnya seperti persediaan darah di bank darah dan yang kedua adalah produk yang kualitasnya akan semakin menurun sampai masa *expiring date* yaitu saat produk sudah tidak bisa dikonsumsi, seperti produk makanan, sayuran, bunga dan pakan hewan (Chen et al., 2009).

Nahmias (1982) pada Silver dan Peterson (1985) merupakan salah satu peneliti di bidang *perishable product*. Pada penelitiannya yang membahas tentang manajemen persediaan dimana produk mempunyai *lifetime* tetap, asumsi yang biasa digunakan adalah sebagai berikut :

1. Menggunakan sistem *periodic review*.
2. Semua pesanan ditempatkan pada awal periode dan *lead time* pengisian diabaikan.
3. Dengan pola distribusi yang sama, permintaan pada periode selanjutnya bersifat independen.
4. Pengurangan inventori pada manufaktur berdasarkan aturan FIFO (*first-in-first-out*), namun pola dari konsumen dalam membeli produk mengikuti aturan LIFO (*last-in-first-out*).
5. Jika masih terdapat sisa produk pada akhir masa hidup produk, maka produk tersebut sudah tidak dapat dikonsumsi.
6. Apabila permintaan lebih tinggi dari persediaan, maka terjadi *lost sales* atau *complete backorder*.
7. Biaya penyimpanan, pemesanan, dan *outdates* diasumsikan linier.

Nahmias (1982) menyatakan permasalahan yang terkait dengan produk jenis ini adalah permintaan yang bersifat stokastik, artinya permintaan yang ada pada setiap periodenya berbeda-beda. Permasalahan ini dialami oleh seluruh pihak pada rantai pasok, sehingga masing-masing pihak harus memutuskan jumlah produk yang akan dipesan ataupun diproduksi agar tidak terjadi *shortages* atau *overstock*. Apabila jumlah produk yang tersedia sedikit, maka akan muncul risiko adanya *shortages*. Adanya *shortages* pada suatu produk dapat menyebabkan konsumen berpindah ke produk lain. Namun, di sisi lain apabila jumlah produk yang tersedia banyak menyebabkan munculnya *overstock* yang disebabkan oleh

masa hidup produk yang pendek, sehingga saat masa hidup produk habis dan masih terdapat persediaan, maka produk tersebut tidak dapat dijual.

Goyal dan Giri (2001) melakukan *review* penelitian tentang *perishable product* dari tahun 1990. Area penelitiannya cukup luas, dimana secara garis besar dikelompokkan berdasarkan *lifetime* dan pola permintaan. Berdasarkan pola permintaan, dibagi menjadi dua yaitu deterministik dan stokastik. Berdasarkan *lifetime* terbagi menjadi dua, yaitu *fixed lifetime* dan *random lifetime*. Dari dua hal tersebut, penelitian mulai dikembangkan dengan menyesuaikan dengan kondisi pada dunia nyata.

Pola permintaan deterministik terbagi menjadi beberapa sub kategori, yaitu :

1. *Stock-dependent demand*
2. *Time-dependent demand*
3. *Price-dependent demand*
4. *Uniform demand*

Selain itu, Goyal dan Giri (2001) juga membahas beberapa penelitian yang mengembangkan model pada *perishable product* dengan tujuan semakin menggambarkan kondisi nyata. Penelitian tersebut dikelompokkan sebagai berikut :

1. Model dengan penundaan pembayaran
2. Model dengan pemberitahuan bahwa akan terjadi kenaikan harga barang
3. Model dengan harga diskon
4. Model dengan mempertimbangkan inflasi dan nilai uang
5. Model dengan 2 level fasilitas penyimpanan

Produk yang memiliki *fixed lifetime* memiliki masa hidup yang tetap, dimana produk tersebut dapat dikonsumsi hingga masa hidupnya habis. Produk tidak dapat dikonsumsi lagi apabila melewati masa akhir hidup (*expired date*). Contoh produknya adalah produk makanan dan obat-obatan. Sedangkan produk dengan *random lifetime* memiliki masa hidup yang tidak tetap, seperti produk makanan segar, seperti sayur dan buah-buahan.

2.2 Inventori Model

Inventori pada suatu perusahaan dapat diartikan sebagai jumlah bahan baku, produk *work in process*, dan persediaan produk jadi (Tersine, 1994). Inventori pada suatu perusahaan diusahakan diminimasi jumlahnya karena menyebabkan peningkatan biaya penyimpanan, adanya risiko kerusakan produk selama masa penyimpanan, dan munculnya biaya oportunitas. Namun, di sisi lain inventori juga diperlukan sebagai cadangan persediaan untuk memenuhi permintaan yang bersifat tidak pasti. Selain itu, untuk memenuhi *economies of scale* dan meminimasi jumlah pesanan karena biaya pemesanan yang terlalu mahal, biasanya tiap pemesanan dilakukan dengan jumlah yang cukup besar.

Oleh karena itu, model inventori digunakan untuk mengatur jumlah persediaan agar diperoleh total biaya yang minimum tetapi tetap mempertimbangkan tingkat *service level* pada konsumen. Dua permasalahan utama dalam perencanaan inventori adalah berapa jumlah yang dipesan dan kapan pemesanan dilakukan. Penanganan terhadap permasalahan tersebut tergantung pada kondisi permasalahan dan parameter yang digunakan. Model dasar yang biasa digunakan adalah EOQ (*Economic Order Quantity*) dan EPQ (*Economic Production Quantity*).

2.2.1 Model EOQ (Economic Order Quantity)

Model EOQ seringkali digunakan suatu perusahaan dengan tujuan untuk meminimumkan total biaya dari biaya pemesanan dan biaya simpan dengan menentukan ukuran lot pemesanan ekonomis. Model EOQ merupakan model inventori yang paling dasar dengan beberapa asumsi yaitu :

1. Permintaan produk selama periode perencanaan diketahui dengan pasti (D) dan datang secara kontinu sepanjang waktu dengan kecepatan yang konstan
2. Ukuran lot pemesanan (Q) tetap untuk setiap kali pemesanan
3. Produk yang dipesan akan datang secara serentak pada saat pemesanan dilakukan (*lead time* sama dengan nol).
4. Harga produk yang dipesan (C) tidak bergantung pada jumlah pesanan dan waktu.

5. Biaya pesan tetap untuk setiap pemesanan (A) dan biaya simpan (h) sebanding dengan jumlah produk yang disimpan dan harga produk per unit serta lama waktu penyimpanan.
6. Tidak ada pembatas, seperti kemampuan finansial, kapasitas gudang, dan lainnya.

Pada gambar 2.1, saat $t=0$ dilakukan pemesanan sebesar Q . Inventori akan mengalami penurunan sesuai dengan tingkat permintaan yang digambarkan dengan garis slop negatif sampai mencapai titik nol. Saat inventori pada posisi nol, dilakukan pemesanan kembali sebesar Q yang akan datang pada saat itu pula secara serentak. Rata-rata inventori yang ada pada gudang setiap saat digambarkan dengan garis putus-putus sebesar $Q/2$. Total biaya inventori tahunan model EOQ diformulasikan sebagai berikut:

$$TC(Q) = CD + \frac{AD}{Q} + \frac{hQ}{2} \quad (2.1)$$

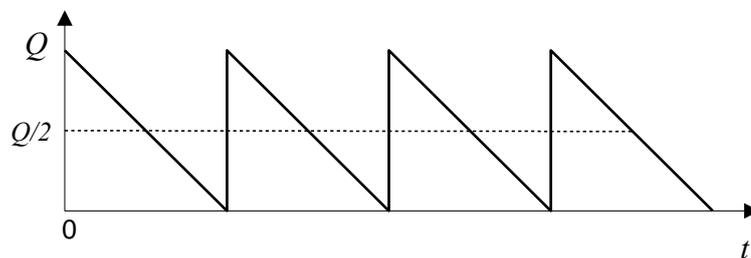
Dari turunan pertama persamaan 2.1 terhadap Q sama dengan nol, maka dapat diperoleh ukuran lot optimal Q^* .

$$\frac{\partial TC(Q)}{\partial Q} = \frac{h}{2} - \frac{AD}{Q^2} = 0$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{2AD}{h}} \quad (2.2)$$

Dengan mensubstitusikan nilai Q dengan Q^* , maka diperoleh total biaya inventori optimal yang dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$TC(Q^*) = CD + \frac{AD}{Q^*} + \frac{hQ^*}{2} \quad (2.3)$$



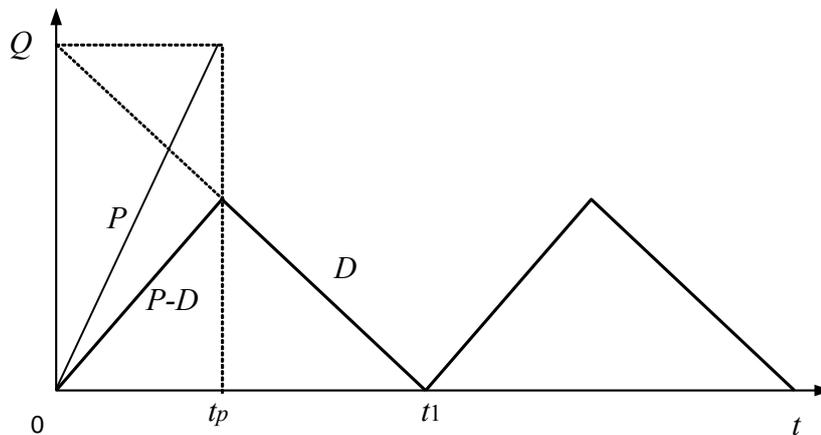
Gambar 2.1 Model EOQ

2.2.2 Model EPQ (*Economic Production Quantity*)

Model EPQ merupakan perbaikan dari model EOQ yang biasanya digunakan oleh perusahaan manufaktur dengan tujuan untuk meminimumkan total

biaya yang terdiri dari biaya *setup* dan biaya simpan produk dengan menentukan ukuran *batch* produksi ekonomis. Asumsi bahwa seluruh lot tiba secara serentak pada model EOQ direlaksasi menjadi kedatangan lot memiliki laju tertentu, misalkan P unit per satuan waktu. Sistem EPQ ini dapat digambarkan seperti gambar 2.2 Lot produksi ekonomis ditentukan dengan cara mencari ukuran lot yang meminimalkan total biaya *setup* dan biaya simpan.

Pada gambar 2.2, produksi dimulai pada saat $t=0$ dan selesai pada saat t_p . Selama t_p hingga t_1 tidak terjadi produksi, permintaan selama rentang waktu tersebut dipenuhi dengan persediaan yang ada. Saat persediaan habis (t_1), dimulai produksi untuk lot berikutnya. Selama waktu t_p persediaan meningkat dengan laju $P-D$, dimana P lebih besar daripada D . Persediaan meningkat dengan laju $P-D$, saat permintaan dipenuhi saat produksi sedang berlangsung. Namun, saat produk dikirimkan setelah seluruh proses produksi selesai, maka peningkatan laju produksi sebesar P . Persediaan akan mencapai titik maksimum pada saat produksi dihentikan yaitu sebesar $(P-D)t_p$ dan $t_p = Q/P$ dengan rata-rata persediaan selama satu siklus produksi adalah sebesar $Q(P-D)/2P$.



Gambar 2.2 Model EPQ

Total biaya persediaan tahunan dari model EPQ diformulasikan sebagai berikut:

$$TC(Q) = C_m D + \frac{SD}{Q} + \frac{hQ(P-D)}{2P} \quad (2.4)$$

dimana:

D = laju permintaan tahunan

- P = laju produksi tahunan
- C_m = biaya produksi komponen
- S = biayasetup untuk sekali *setup*
- h = biaya simpan per unit per tahun
- Q = ukuran siklus produksi atau jumlah pesanan produksi dalam unit

Ukuran lot optimal Q^* diperoleh dari turunan pertama dari persamaan 2.4 terhadap Q sama dengan nol, yaitu:

$$\frac{\partial TC(Q)}{\partial Q} = -\frac{SD}{Q^2} + \frac{h(P-D)}{2P} = 0$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{2SDP}{h(D-P)}} \quad (2.5)$$

Asumsi-asumsi yang mendasari model EPQ adalah:

- a. Laju permintaan diketahui, konstan, dan kontinyu.
- b. Laju produksi diketahui, konstan, dan kontinyu.
- c. Tidak ada *stockout*.
- d. Struktur biayanya tetap, yaitu:
 - Biaya pesan atau *setup* sama, tidak tergantung pada ukuran lot.
 - Biaya simpan merupakan fungsi linear berdasarkan pada rata-rata persediaan.
- e. Gudang, kapasitas produksi, dan modal dapat memenuhi seluruh permintaan.
- f. Komponen merupakan produk tunggal yang tidak mempengaruhi komponen lain.

2.2.3 Inventori pada *Perishable Product*

Model inventori pada *perishable product* lebih kompleks dibandingkan dengan *non-perishable product*. Perbedaan mendasar antara keduanya adalah adanya batasan umur produk dan terjadi kerusakan selama masa hidup produk. Pada *perishable product* pengurangan produk dari persediaan tidak hanya untuk memenuhi permintaan, namun juga dipengaruhi adanya produk yang tidak laku terjual. *Newsboy* model adalah model inventori stokastik untuk *perishable product* dengan *fixed lifetime* untuk satu periode. Pada model ini memperhatikan pola perilaku penjualan koran. Pihak penjual koran harus menentukan berapa jumlah

koran yang dipesan untuk memenuhi permintaan pada hari tersebut dengan tingkat permintaan yang sifatnya tidak pasti. Dengan adanya permintaan yang tidak pasti, penjual menanggung risiko apabila persediaan tidak sesuai dengan permintaan. Apabila persediaan melebihi permintaan maka produk tidak bisa dijual lagi karena umur koran hanya satu hari, sebaliknya apabila persediaan kurang dari permintaan maka akan menanggung risiko *shortages* (Qin, et al., 2011).

Penjual koran membeli sejumlah Q produk koran dari pemasok dengan harga v . Dengan adanya permintaan sejumlah x yang tidak pasti, maka akan muncul dua kemungkinan kondisi, yaitu :

- a. jika $Q \leq x$, maka penjual akan menanggung risiko *lost sales*, dimana biaya yang ditanggung sebesar B per unit.
- b. jika $Q \geq x$, maka penjual akan menanggung risiko *overstock*, dimana biaya yang ditanggung sebesar p per unit.

Dengan harga jual sebesar p , maka keuntungan yang diperoleh pada akhir periode adalah sebagai berikut :

$$p(Q, x) = \begin{cases} px - vQ + g(Q - x) & \text{if } Q \geq x \\ pQ - vQ - B(x - Q) & \text{if } Q < x \end{cases} \quad (2.6)$$

Newsboy model merupakan model inventori *perishable product* dengan *fixed lifetime* untuk satu periode. Dengan semakin berkembangnya permasalahan inventori *perishable product* dengan *fixed lifetime*, kemudian dikembangkan model untuk m periode. Enagbonma dan Eraikhuemen (2011) mengembangkan model inventori yang membahas tentang permasalahan kebijakan pemesanan optimal pada *retailer* untuk produk tunggal dengan umur produk sampai periode ke- m . Asumsi yang digunakan adalah waktu dibagi menjadi periode diskret dimana panjang satu periode sudah diketahui. Permintaan bersifat stokastik dengan distribusi tertentu yang diketahui. Kebijakan yang digunakan dalam memenuhi permintaan adalah FIFO (*first-in-first-out*). *Review* persediaan dilakukan secara periodik dan menggunakan kebijakan *order-up-to-order level* S dimana diasumsikan bahwa pasokan dari pihak manufaktur akan selalu tersedia. Sisa produk setelah periode ke- m akan dibuang.

Tujuan penelitian ini adalah merancang model inventori yang meminimalkan total biaya dengan variabel keputusannya adalah keputusan akan

melakukan pemesanan atau tidak dan berapa jumlah produk yang akan dipesan. Biaya yang akan diminimalkan terdiri dari biaya set-up, pemesanan, penyimpanan, *shortage* dan *outdate*. Biaya *shortage* dan *outdate* terjadi karena permintaan sifatnya stokastik. *Shortage* terjadi ketika jumlah permintaan melebihi persediaan. *Outdate* terjadi ketika masih terdapat persediaan saat melewati masa hidup produk.

Penentuan jumlah persediaan pada *perishable product* merupakan hal yang penting untuk direncanakan dengan baik. Hal ini dikarenakan faktor umur produk yang terbatas dan kerusakan yang dialami produk hingga masa hidup produk berakhir. Jumlah permintaan, batasan hidup produk, serta tingkat kerusakan produk per satuan waktu merupakan faktor pertimbangan dalam menentukan tingkat persediaan dan strategi *replenishment* perusahaan.

Jenis permintaan dibagi menjadi dua, deterministik dan stokastik. Pada pola permintaan deterministik, permintaan bersifat tetap setiap periode. Menurut Nahmias (2011), penentuan jumlah dan waktu *replenishment* bisa dilakukan seperti pada model EOQ pada persamaan 2.2. Kemudian didapatkan nilai $T^* = Q^*/D$ dimana T^* merupakan waktu antar *replenishment*. Jika masa hidup suatu produk dinyatakan dalam m , apabila $T^* \leq m$, maka tidak akan ada produk yang dibuang karena seluruh produk telah habis dikonsumsi sebelum pengiriman masa umur produk habis. Namun, jika $T^* > m$, akan ada produk yang terbuang karena waktu pengiriman masih tersisa sedangkan masa hidup produk sudah habis. Jika nilai $Q^* = DT$ dikurangi hingga sejumlah $Q = Dm$, sehingga panjang siklus tidak lagi sebesar T , tetapi menjadi sebesar m maka tidak akan ada lagi produk yang terbuang dan dapat mengurangi biaya penyimpanan.

Permasalahan inventori dengan asumsi pola permintaan deterministik sebenarnya kurang merepresentasikan kondisi aktual karena pada dasarnya permintaan bersifat random tiap waktu bersifat tidak pasti tiap periode. Dengan adanya ketidakpastian menyebabkan pengambilan keputusan dalam menentukan jumlah dan waktu produksi atau pemesanan menjadi lebih sulit. Keputusan *replenishment* pada permasalahan inventori dengan pola permintaan stokastik dikategorikan ke dalam 2 basis dasar, yaitu *periodic review* dan *continuous review*.

Pada umumnya penelitian mengenai permasalahan inventori mengasumsikan *review* persediaan dilakukan secara periodik. Artinya level inventori dicek pada periode yang tetap, setiap hari, setiap minggu, setiap bulan, dll. Perencanaan dengan *periodic review* dengan permintaan stokastik memungkinkan terjadinya 3 kondisi, yaitu :

1. Jumlah persediaan (Q) = permintaan (D)
2. Jumlah persediaan (Q) < permintaan (D), maka akan muncul *backorder* atau *lost sales*
3. Jumlah persediaan (Q) > permintaan, maka akan menimbulkan kelebihan inventori

Perbedaan antara *backorder* dan *lost sales* menurut Silver dan Peterson (1985) adalah :

1. *Backorder* terjadi jika permintaan melebihi persediaan, namun konsumen mau menunggu kekurangan produk tersebut pada *replenishment* berikutnya.
2. *Lost sales* terjadi apabila konsumen tidak mau menunggu pemenuhan kekurangan produk dan mencari alternatif produk lain untuk memenuhi kebutuhannya. Pada produk yang sifatnya *consumer goods*, pada umumnya pihak produsen akan menanggung *lost sales* jika kehabisan persediaan.

Dengan adanya sistem pengendalian persediaan otomatis, *review* mulai dilakukan secara kontinu. Dengan adanya *continues review* jumlah persediaan lebih terjaga karena jika diketahui persediaan telah mendekati batas minimum persediaan, secara langsung dilakukan pemesanan. Biasanya pada kasus *continues review*, waktu antar *replenishment* tidak tetap, namun pada jumlah lot pemesanan yang sama. Sedangkan pada kasus *periodic review*, pada umumnya sudah ditetapkan level inventori maksimum, sehingga terdapat kemungkinan jumlah pemesanan pada tiap periode tidak sama.

Wang, et al. (2010) merancang model optimasi yang mengintegrasikan *traceability* dengan variabel operasional pada perusahaan makanan. Fokus penelitian ini adalah merancang model optimasi yang mengintegrasikan antara sistem *traceability* dan manajemen operasional yang memasukkan adanya potensi

risiko yang muncul pada *perishable product*. Pada penelitian ini mempertimbangkan tiga faktor, yaitu operasional faktor, *shelf-life factor*, dan *traceability factor*.

Operasional faktor menggambarkan komponen biaya yang muncul terkait dengan biaya operasional. Biaya yang muncul antara lain biaya penyimpanan dan biaya *set up*. *Shelf life factors* menjelaskan bahwa tiap produk memiliki masa hidup (*lifetime*) tertentu yang tidak bergantung pada tingkat kerusakan dari suatu produk. Saat masa hidup produk habis, produk tidak laku apabila dijual pada konsumen. Batasan mengenai masa hidup produk biasanya digunakan pada kasus *perishable product* karena pada jangka waktu tertentu yang relatif pendek, produk tersebut akan mengalami kerusakan. Namun, pada beberapa produk, terutama yang sifatnya *fast moving*, memiliki masa hidup yang relatif pendek walaupun tidak mengalami kerusakan, seperti produk *fashion* dan elektronik seperti *handphone*, *Personal Computer*, laptop (Xu dan Sarker, 2003).

Risiko adanya produk yang tidak laku terjual akan ditanggung oleh *retail* selaku pihak yang berhubungan langsung dengan konsumen. Oleh karena itu, *retail* mengajukan kontrak dimana pihak manufaktur diberikan jangka waktu tertentu hingga produk terkirim seluruhnya ke tangan *retail*. Apabila keseluruhan produk tiba melebihi jangka waktu yang ada pada kontrak, maka pihak manufaktur akan dikenakan penalti. Pada model ini produk dikirimkan ke *retail* dalam *batch* kecil dengan interval waktu yang tetap. *Traceability factors* digambarkan dengan adanya risiko yang mungkin timbul dari *raw material* yang diperoleh dari *supplier*, selain itu juga mempertimbangkan adanya *product recall*. Namun, pada jurnal dinyatakan bahwa kemungkinan adanya *product recall* sangat kecil sehingga hal ini bisa diabaikan.

Penulis melihat dari sudut pandang perusahaan manufaktur dengan asumsi permintaan dari distributor/ *retailer* konstan dan diketahui, *zero lead time*, dan tidak adanya *shortage*. Parameter lain, seperti tingkat produksi dan biaya-biaya juga bersifat deterministik. Hasil dari penelitian ini adalah keputusan strategis pada perencanaan produksi yang mempertimbangkan faktor kualitas dan keamanan produk. Penelitian ini tidak mempertimbangkan permasalahan yang muncul pada *retailer*. Sedangkan pada struktur rantai pasok *retailer* merupakan

pihak yang berada di hilir sehingga sisa umur produk semakin pendek saat produk sampai di tangan *retailer*. Umur produk mulai dihitung pada saat proses produksi selesai dilakukan. Oleh karena itu, ketepatan dalam perencanaan inventori dibutuhkan agar tidak terjadi *overstock* ataupun *lost sales* pada *retailer*. Perencanaan inventori yang tepat membutuhkan koordinasi yang baik antara seluruh pihak pada rantai pasok. Pada penelitian ini akan dilakukan integrasi antara pemasok dan pembeli dengan permintaan stokastik.

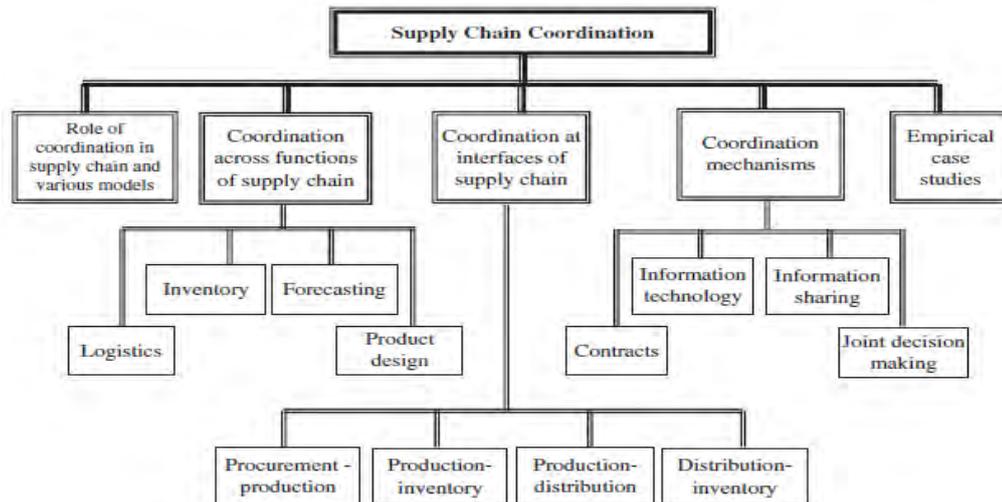
2.3 Manajemen Rantai Pasok

Pada sistem tradisional, masing-masing pihak pada rantai pasok, seperti pemasok, produsen, distributor, *retailer* menentukan keputusan dalam merencanakan kebutuhan untuk memenuhi permintaan dilakukan secara independen. Hal ini dapat merugikan pihak lain yang berlaku sebagai partner bisnis dari masing-masing pihak tersebut. Penyebabnya adalah seluruh pihak tersebut saling membutuhkan, sehingga dibutuhkan suatu kerjasama yang baik agar seluruh pihak merasa diuntungkan. Persaingan bisnis yang berubah secara drastis menyebabkan individual bisnis tidak lagi bersaing sebagai *autonomous entities* tetapi lebih ke arah kerjasama antar entitas yang ada pada rangkaian *supply chain* (Lee, 2004). Adanya kebutuhan untuk koordinasi antar pihak tersebut memunculkan konsep *supply chain management*.

Menurut Pujawan (2004), rantai pasok adalah jaringan perusahaan-perusahaan yang saling bekerjasama untuk menciptakan dan menghantarkan produk hingga ke tangan konsumen. Dengan banyaknya pihak yang terlibat pada sistem rantai pasok ini, banyak peneliti yang memunculkan pemikiran dalam merancang manajemen rantai pasok, dimana hal ini merupakan suatu istilah yang menggambarkan adanya pengelolaan aliran material, uang, dan informasi dari *supplier*, *distribution centre*, *retailer*, hingga produk sampai di tangan *customer*. Tujuan utama dari sistem *supply chain* adalah memenuhi permintaan konsumen tepat waktu, kuantitas, dan kualitas.

Arshinder et al. (2008) melakukan *review* terhadap beberapa penelitian mengenai *Supply Chain Coordination*. Hasil dari *review* diklasifikasikan menjadi empat bagian, yaitu peran dari peran koordinasi pada *supply chain*, koordinasi

antar fungsi yang berbeda dan antara pihak yang menghubungkan suatu *supply chain*, mekanisme koordinasi, dan studi kasus pada *supply chain coordination*. Semua penelitian tersebut dipetakan dalam suatu skema pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Skema Klasifikasi *Supply Chain Coordination*

Fokus penelitian ini adalah integrasi antar pihak pada *supply chain*, dimana integrasi yang dilakukan terdapat pada area *procurement-production* dan *production-inventory*. Pada dasarnya koordinasi dilakukan agar dapat memberikan keuntungan secara keseluruhan sistem *supply chain*. Namun, dalam perjalanannya terdapat beberapa hambatan yang dialami. Pada permasalahan integrasi *procurement-production*, masalah yang muncul adalah :

1. Pemasok menginginkan manufaktur untuk melakukan pembelian dalam jumlah besar dan stabil dengan pengiriman fleksibel
2. Manufaktur menginginkan pengiriman secara JIT (*just-in-time*) dalam *batch* kecil terkait dengan perubahan permintaan dan meminimasi biaya penyimpanan.

Lu (1995) mengembangkan model integrasi *single-vendor multi-buyer* dengan jumlah pengiriman sama. Dengan adanya koordinasi dalam *replenishment*, pemasok dapat mengurangi biaya tahunan sebesar 30%. Selain itu total biaya pada pembeli juga berkurang. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa koordinasi pada *supply chain* juga tidak mudah dilakukan, namun dapat membawa keuntungan pada seluruh pihak.

Kurangnya koordinasi pada aliran rantai pasok menyebabkan terjadinya distorsi permintaan yang lebih sering dikenal sebagai “*bullwhip effect*” (Chopra dan Meindl, 2007). Dampak lain yang muncul dari kurangnya koordinasi pada rantai pasok adalah sebagai berikut :

1. Biaya manufaktur meningkat
2. Biaya persediaan meningkat.
3. *Replenishment lead time* meningkat.
4. Meningkatnya biaya transportasi.
5. Biaya tenaga kerja untuk pengiriman dan penerimaan meningkat.
6. Tingkat ketersediaan produk rendah.
7. Memburuknya hubungan di seluruh rantai pasokan.
8. Menurunnya profitabilitas.

Adapun hambatan-hambatan yang terjadi selama menjalankan koordinasi adalah:

1. *Incentif obstacles*
2. *Information processing obstacles*
3. *Operational obstacles*
4. *Pricing obstacles*
5. *Behavioral obstacles*

Agar koordinasi dalam rantai pasok berjalan dengan baik, maka diperlukan beberapa hal berikut:

1. Menyelaraskan tujuan dan insentif
2. Meningkatkan akurasi informasi
3. Meningkatkan kinerja operasional
4. Merancang strategi harga untuk kestabilan order
5. Membangun kemitraan strategis dan kepercayaan

Selain diperlukan strategi untuk memperlancar koordinasi dalam *supply chain*, Arshinder et al. (2008) mengemukakan bahwa terdapat beberapa mekanisme dalam koordinasi *supply chain*, antara lain :

- *Supply chain contract*. Seluruh pihak pada *supply chain* membuat suatu kontrak dengan persetujuan bersama untuk memperbaiki manajemen semua pihak. Biasanya faktor yang diatur pada kontrak adalah harga,

jumlah dan waktu pengiriman. Tujuan dari *supply chain contract* adalah meningkatkan total keuntungan seluruh *supply chain*, mengurangi jumlah *overstock/ understock* dan risiko antara *supply chain partner*.

- Informasi dan teknologi. Informasi teknologi tentunya sangat membantu dalam koordinasi *supply chain*. Lokasi yang berjauhan antar pihak *supply chain* dapat menyebabkan koordinasi terhambat. Namun dengan adanya teknologi dan informasi, semua pihak dapat terhubung dan saling berinteraksi secara langsung. Selain itu, pada proses distribusi, informasi teknologi dapat membantu menelusuri lokasi pengirim secara *real time*.
- *Information sharing*. Seluruh pihak dari *supply chain* saling membutuhkan pertukaran informasi terkait dengan permintaan, pesanan, inventori, dan data *point of sale*. Penerapan *information sharing* yang baik dapat meningkatkan *service level* pada pemasok, mengurangi biaya penyimpanan, dan mengurangi panjang siklus pemesanan.
- *Joint decision making*. Pengambilan keputusan bersama antar pihak di *supply chain* saat ini banyak diterapkan untuk menjalin koordinasi yang baik antar pihak tersebut. Penentuan keputusan antara lain mengenai *replenishment*, biaya penyimpanan dengan permintaan yang dinamis, perencanaan kolaboratif, jumlah pengiriman pesanan, ukuran *batch*, dan pengembangan produk untuk meningkatkan performansi *supply chain*. Contoh penerapan dari *joint decision making* adalah VMI (*Vendor Managed Inventory*) dan CPFR (*Collaborative, Planning, and Forecasting, Replenishment*).

2.4 Model Ukuran Lot Ekonomis Gabungan (*Joint Economic Lot Size*)

Pengelolaan inventori secara klasik dengan model EOQ dan EPQ dilakukan secara independen. Jumlah lot pemesanan yang dilakukan oleh pembeli hanya berdasarkan pertimbangan dari pembeli untuk meminimasi total biaya pembeli tanpa menghitung total biaya yang ditanggung oleh pemasok dalam memenuhi permintaan pembeli. Kondisinya tidak selalu berlangsung seperti itu, ada kalanya ketika pemasok lebih memegang peran dari pembeli, pemasok yang akan

membuat keputusan tentang lot pengiriman. Hal ini sangatlah tergantung pada siapa yang memegang kendali.

Pada bab 2.3 telah dibahas mengenai koordinasi pada *supply chain*, dimana tujuannya adalah tiap pihak yang ada pada *supply chain* saling bekerjasama dalam membuat keputusan agar semua pihak memperoleh keuntungan tanpa harus ada yang merasa dirugikan. Pada skema koordinasi *supply chain* pada gambar 2.3 terdapat salah satu bagian yang membahas tentang koordinasi antar pihak pada *supply chain* dimana salah satunya adalah penentuan ukuran *batch*, frekuensi pengiriman, dan waktu pengiriman. Model ini lebih dikenal dengan *joint economic lot size* (JELS), dimana dua pihak atau lebih pada struktur *supply chain* menentukan ukuran lot bersama.

Thomas dan Griffin (1996) mengemukakan bahwa dalam suatu rantai pasok terdiri dari 3 *stage* yaitu pengadaan (*procurement*), produksi (*production*), dan distribusi (*distribution*) dimana untuk setiap *stage* mungkin terdiri dari beberapa fasilitas yang memiliki lokasi berbeda. Oleh sebab itu, koordinasi dalam rantai pasok dapat dibedakan menjadi 3 kategori koordinasi operasional yaitu: (i) koordinasi pembeli-pemasok (*buyer-vendor coordination*), (ii) koordinasi produksi-distribusi (*production-distribution coordination*), dan (iii) koordinasi inventori-distribusi (*inventory-distribution coordination*). Dalam koordinasi pembeli dan pemasok, JELS dapat ditemukan pada permasalahan (i) integrasi pemasok-pembeli untuk menentukan ukuran lot pemesanan dari pembeli ke pemasok dan ukuran *batch* produksi pemasok yang meminimumkan total biaya gabungan dari kedua pihak, dan (ii) integrasi pengadaan-produksi untuk menentukan ukuran *batch* produksi dan ukuran lot pemesanan bahan baku untuk meminimumkan total biaya gabungan dari kedua aktivitas.

Secara tradisional masing-masing pihak pada *supply chain* bekerja secara independen. Hal ini memang bisa menguntungkan satu pihak tertentu karena adanya pertentangan keinginan antar pihak. Namun seiring berkembangnya pertumbuhan ekonomi yang pesat serta meningkatnya persaingan bisnis dan tingkat ketidakpastian yang tinggi, memicu seluruh pihak pada *supply chain* saling menjalin kerjasama. Hal ini sangat terbantu dengan adanya perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang menunjang kelancaran koordinasi antar

pihak tersebut. Dengan adanya teknologi memudahkan seluruh pihak untuk bertukar informasi dan ide sehingga hubungan terjalin dengan baik dan dapat dicapai solusi yang menguntungkan semua pihak.

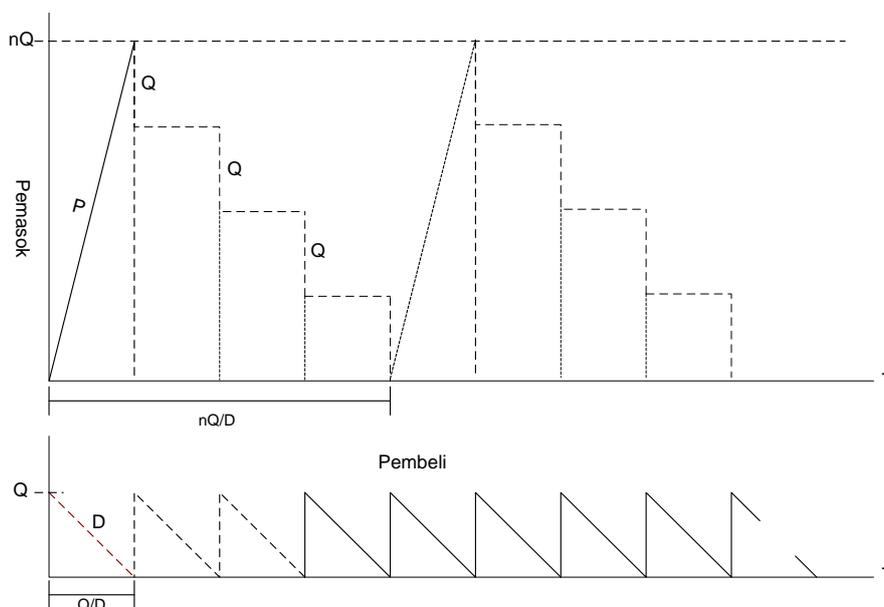
Penelitian mengenai model JELS sudah cukup banyak dilakukan. Glock (2012) melakukan *review* terhadap penelitian mengenai model JELS mulai dari model paling dasar dimana koordinasi terjalin antar *two-stage* dan *multi-stage* hingga model yang dikembangkan dengan mempertimbangkan permintaan dan *lead time* stokastik, pengurangan biaya pesan, set-up, *lead time*, kualitas produk, dan *perishable product*. Goyal (1976) merupakan salah satu peneliti yang mengawali penelitian mengenai JELS. Penelitian ini mengembangkan model integrasi *single-vendor single-buyer* dengan permintaan yang konstan. Tujuan model ini adalah meminimasi biaya dari pemasok dan pembeli dengan mencari interval waktu pemesanan yang optimal. Hasil perhitungan model integrasi dibandingkan dengan model perhitungan apabila pemasok dan pembeli memutuskan secara independen. Goyal membuktikan bahwa model integrasi memberikan penghematan secara keseluruhan *supply chain*, tetapi tidak tiap pihak pada *supply chain*. Pembeli menanggung biaya lebih tinggi dan pemasok memperoleh keuntungan. Oleh karena itu, untuk mengatasi hal ini pemasok dapat memberikan diskon agar pembeli tidak merasa dirugikan.

Banerjee (1986) mengemukakan model JELS *single-vendor-single-buyer* dengan permintaan deterministik dan tingkat produksi lebih besar dari tingkat permintaan dimana pemasok adalah produsen item yang memproduksi dengan dasar *lot-for-lot*. Tingkat produksi dari pemasok diasumsikan sedikitnya sama dengan tingkat permintaan. Pemasok menginginkan tingkat inventori yang rendah. Banerjee mengembangkan 3 model untuk kasus berdasarkan: (i) ukuran lot pembeli, (ii) ukuran lot pemasok, dan (iii) ukuran lot gabungan antara pembeli dan pemasok. Pengaruh dari masing-masing model terhadap pembeli dan pemasok dievaluasi. Jika ukuran lot didasarkan atas salah satu ukuran lot ekonomis salah satu pihak, maka pihak yang lain berada pada posisi dirugikan. JELS merupakan solusi kompromi dari 2 kondisi yang saling berlawanan. Penggunaan JELS menyebabkan kerugian bagi pihak yang pada awalnya

mendominasi hubungan tetapi memberikan keuntungan bagi pihak yang sebelumnya didominasi.

Goyal (1988) merelaksasi asumsi *lot-for-lot* model Banerjee (1986). Apabila biaya set-up pemasok lebih tinggi dari biaya pemesanan pembeli, maka pemasok dapat memproduksi sejumlah beberapa kali pengiriman ke pembeli. Jika jumlah pengiriman ke pembeli sebesar Q , maka pemasok dapat memproduksi hingga nQ , dimana n adalah bilangan integer. Jadi, apabila nilai $n = 1$, maka jumlah pengiriman adalah *lot-for-lot* seperti pada model Banerjee (1986). Gambar 2.4 menggambarkan profil inventori model integrasi pembeli-pemasok.

Goyal (1989) membahas beberapa model integrasi pemasok-pembeli, dimana model ini saat ini penting untuk diterapkan karena semakin banyak organisasi yang menerapkan JIT (*just-in-time*). Tujuan dasar dari JIT adalah membeli atau memproduksi sejumlah item yang dibutuhkan tepat saat dibutuhkan. Goyal mengklasifikasikan model integrasi berdasarkan kriteria (i) model untuk kebijakan ukuran ekonomis lot gabungan (ii) model koordinasi inventori dengan mempertimbangkan jumlah pemesanan pemasok dan pembeli (iii) model koordinasi inventori tanpa mempertimbangkan jumlah pemesanan pemasok dan pembeli (iv) model koordinasi pemasok pembeli



Gambar 2.4 Profil Inventori Integrasi Pemasok-Pembeli

Total biaya gabungan untuk pembeli dan pemasok adalah:

$$JTRC(Q, n) = \frac{D}{Q} \left(A + \frac{S}{n} \right) + \frac{Q}{2} r \left(C_Q - C_V + n C_V \left(1 + \frac{D}{P} \right) \right) \quad (2.7)$$

dimana,

JTRC	(Joint Total Relevant Cost)
D	permintaan tahunan
P	tingkat produksi
Q	ukuran lot produksi untuk pemasok (ukuran lot pemesanan untuk pembeli)
A	biaya pemesanan pembeli untuk sekali pesan
S	biaya set-up produksi untuk sekali produksi
C_Q	biaya penyimpanan pembeli
C_V	biaya penyimpanan pemasok

Ukuran lot gabungan optimal (Q^*) untuk nilai n diberikan dapat diperoleh dari turunan pertama Persamaan 2.7 terhadap Q sama dengan nol, yaitu:

$$Q(n)^* = \sqrt{\frac{2D(A + \frac{S}{n})}{r(C_Q - C_V + nC_V(1 + \frac{D}{P}))}} \quad (2.8)$$

Jika nilai Q^* pada Persamaan 2.6 disubstitusi dengan Persamaan 2.7 akan diperoleh:

$$Q(n)^* = \sqrt{\frac{2D(A + \frac{S}{n})}{r(C_Q - C_V + nC_V(1 + \frac{D}{P}))}} \quad (2.9)$$

dimana nilai variabel n dapat dicari dengan mengikuti kondisi sebagai berikut:

$$n^*(n^* - 1) \leq \frac{S(C_Q - C_V)}{AC_V(1 + \frac{D}{P})} \leq n^*(n^* + 1) \quad (2.10)$$

Pujawan dan Kingsman (2002) mengembangkan model persediaan produk *non-perishable* antara pemasok-pembeli untuk suatu horison waktu yang tak terbatas, dimana pengiriman dilakukan sebanyak n kali untuk pemenuhan satu pesanan dan pemasok memproduksi sejumlah m kali untuk memenuhi sejumlah pengiriman. Oleh karena itu, pemenuhan pemesanan dapat dibagi menjadi beberapa kali produksi. Penelitian ini membandingkan antara pemenuhan pesanan akan dilakukan setelah seluruh proses produksi untuk pemesanan tersebut selesai dilakukan, dan pemenuhan pesanan dapat dilakukan setelah produk selesai

diproduksi minimal untuk satu kali pengiriman. Selain itu, dua skenario tersebut diujikan pada dua kasus, yaitu (i) keputusan dilakukan oleh tiap pihak dan (ii) keputusan dilakukan secara bersama-sama. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa sinkronisasi yang baik antara pemasok dan pembeli dalam menentukan frekuensi pengiriman dan waktu produksi akan menghasilkan penghematan terhadap total biaya persediaan cukup signifikan.

Penelitian yang dilakukan oleh Goyal (1976), Banerjee (1986), Goyal (1988), dan Pujawan dan Kingsman (2002) membahas produk yang sifatnya *non-perishable*. Selain model JELS yang membahas produk *non-perishable*, beberapa penelitian mengenai integrasi model inventori pada *perishable product* juga dilakukan antara lain oleh Yang dan Wee (2000) dan Kanchanasuntorn dan Techanitisawad (2006). Yang dan Wee (2002) mengembangkan model integrasi inventori *single-vendor multiple-buyers* untuk *perishable product* dengan permintaan bersifat deterministik. Pada model ini pengiriman dilakukan saat produksi berlangsung dimana tiap waktu produk yang ada di pemasok maupun pembeli mengalami tingkat kerusakan sebesar θ dengan pola distribusi eksponensial. Tujuan penelitian adalah meminimasi total biaya *vendor* dan seluruh *retailer*.

Kanchanasuntorn dan Techanitisawad (2006) mengembangkan penelitian integrasi model inventori gudang pusat dan multi *retailer* untuk produk *fixed lifetime*. Pada penelitian ini dilakukan penaksiran terhadap kebijakan *replenishment*, karena untuk memperoleh hasil optimal sulit dilakukan disebabkan permasalahan yang terlalu kompleks. Model ini merupakan pengembangan dari model Matta dan Sinha (1995). Matta dan Sinha (1995) pada Kanchanasuntorn dan Techanitisawad (2006) meneliti model inventori dua eselon yaitu depo pusat dan multi *retailer* dengan menerapkan *periodic review*. Masing-masing *retailer* menerapkan kebijakan (R, S), artinya pengiriman dilakukan setiap R periode dan jumlah maksimum persediaan mencapai level S. Sedangkan depo pusat menerapkan kebijakan (R, s, S), artinya memiliki interval waktu yang sama dengan *retailer*, *reorder point* pada level s, dan maksimum persediaan mencapai level S. Terjadinya *stockout* pada *retailer* dan depo pusat dianggap sebagai *backorders*. Produk yang diteliti bersifat *non-perishable*.

Pengembangan yang dilakukan oleh Kanchanasuntorn dan Techanitisawad (2006) adalah melihat pengaruh dari produk yang bersifat *perishable* dan adanya *stockout* yang terjadi pada *retailer* terhadap total biaya pada sistem, keuntungan sistem, *service level*, dan rata-rata persediaan serta mengilustrasikan suatu model yang dimodifikasi dari model Matta dan Sinha (1995) yang memasukkan unsur *perishable product* dan menguji kebijakan *stockout* yang berbeda, *backorder* dan *lost sales*, untuk meningkatkan performansi. Hasil dari pengujian tersebut membuktikan bahwa model Kanchanasuntorn dan Techanitisawad (2006) dapat memberikan keuntungan lebih besar.

2.5 Posisi Penelitian

Penelitian mengenai optimasi inventori *perishable product* pada satu *stage* sudah banyak dilakukan, antara lain oleh Wang et al. (2010). Wang et al. (2010) mengembangkan model inventori *single stage*, yaitu manufaktur, yang terintegrasi dengan mempertimbangkan tiga faktor, yaitu *operations factor*, *shelf-life factor*, dan *traceability factors*. *Shelf-life factors* membahas tentang masa hidup suatu produk. Pada penelitian ini produk diasumsikan memiliki *fixed lifetime*. Tingkat kerusakan produk per satuan waktu tidak dibahas pada penelitian ini karena pilihan konsumen terhadap produk dengan karakteristik *fixed lifetime* terpengaruh saat ada produk yang sama dengan umur yang berbeda, dimana konsumen akan memilih produk dengan sisa umur yang lebih panjang, atau produk tersebut sudah melewati masa *expired date*. Sisa produk yang masih tersedia saat produk dengan umur yang lebih baru datang masa hidup produk sudah berakhir akan langsung dibuang.

Namun, pengambilan keputusan secara independen merupakan cara tradisional. Saat ini dengan berkembangnya kondisi ekonomi dan bisnis menyebabkan adanya persaingan yang ketat, tidak hanya pada suatu organisasi tertentu, tetapi persaingan terjadi antar rantai pasok (Lee, 2004). Selain itu karakter dari *perishable product* dengan *fixed lifetime* yang pendek menyebabkan produk harus segera sampai di tangan konsumen agar tidak ada pihak yang dirugikan karena harus menanggung terjadinya risiko *overstock*. Pada produk

dengan *fixed lifetime*, produk akan dibuang apabila masih ada produk tersisa saat masa hidup produk habis.

Oleh karena itu, diperlukan koordinasi antar pihak *supply chain*, salah satunya dengan melakukan integrasi dalam pengambilan keputusan penentuan inventori. Integrasi ini bertujuan untuk menguntungkan seluruh pihak pada *supply chain*. Penelitian mengenai integrasi model inventori sudah banyak dilakukan antara lain oleh Goyal (1976), Banerjee (1986), Goyal (1989), Thomas dan Griffin (1996), dan Pujawan dan Kingsman (2002). Penelitian tersebut membahas tentang produk yang sifatnya *non-perishable* dengan asumsi bahwa permintaan deterministik. Nahmias (1982) menyatakan bahwa pada kondisi nyata permintaan bersifat stokastik. Salah satu peneliti yang membahas model integrasi inventori dengan permintaan stokastik adalah Ben Daya-dan Hariga (2004). Ben-Daya dan Hariga (2004) mengembangkan model integrasi inventori *single-vendor-single-buyer* pada produk *non-perishable* dengan permintaan stokastik dan *lead time* dapat dikendalikan serta menerapkan kebijakan *continous review inventory (Q,s)*. Pada produk kategori *non-perishable* tidak terdapat risiko terjadinya *overstock* seperti yang terjadi pada *perishable product*. Risiko *overstock* muncul pada produk *perishable* karena pengaruh umur produk yang pendek sehingga ketika suatu produk melewati *expired date*, produk tersebut tidak dapat dikonsumsi lagi.

Penelitian mengenai integrasi inventori pada *perishable product* sudah cukup banyak dilakukan. Secara garis besar, berdasarkan umur produk penelitian dibagi menjadi dua yaitu produk dengan *fixed lifetime* dan *random lifetime*. Yang dan Wee (2002) membahas tentang integrasi inventori produk dengan *random lifetime* dimana tingkat kerusakan tiap satuan waktu dimana variabel tersebut mengikuti distribusi eksponensial. Penelitian yang membahas produk dengan *fixed lifetime* dilakukan oleh Kanchanasuntorn dan Techanitisawad (2006). Pemenuhan permintaan konsumen dilakukan dengan menerapkan kebijakan FIFO (*first-in-first-out*), artinya produk yang dijual adalah produk yang dipesan lebih awal oleh *retailer*.

Penelitian ini mengembangkan model Wang et al. (2010) yang akan diintegrasikan dengan *retailer* dimana permintaan berpola stokastik. Produk yang diteliti memiliki *fixed lifetime*. Pemenuhan permintaan konsumen menggunakan

kebijakan LIFO (*last-in-first-out*). Hal ini disesuaikan dengan kebiasaan konsumen dalam memilih produk yang sisa umurnya lebih panjang. Manufaktur tidak menanggung risiko adanya *lost sales* ataupun *overstock*. Sedangkan *retailer* sebagai pihak yang berhubungan langsung dengan konsumen menanggung risiko terjadinya *lost sales* dan *overstock* karena permintaan stokastik. Oleh karena itu, integrasi dilakukan untuk menentukan variabel keputusan periode produksi dan kuantitas pengiriman ke *retailer*. Tujuan dari penelitian ini adalah mengoptimalkan variabel keputusan agar diperoleh total biaya yang minimum pada pemasok dan pembeli. Ketepatan ukuran lot pengiriman dan waktu *replenishment* sangat mempengaruhi munculnya risiko *overstock* ataupun *lost sales* yang terjadi pada *retailer* serta biaya operasional dan penalti yang muncul pada pemasok. Keterkaitan penelitian ini terhadap penelitian terdahulu digambarkan pada tabel 2.1

Tabel 2.1 Posisi Penelitian

Karakteristik Penelitian	Castro, <i>et al.</i> (1997)	Pujawan dan Kingsman (2002)	Yang dan Wee (2002)	Enagbonma dan Eraikhuemen (2011)	Kanchanasuntorn K. dan Techanitisawad A. (2006)	Wang, <i>et al.</i> (2010)	Penelitian Ini (2012)
<u>Ruang Lingkup</u>							
Single <i>Vendor</i>	√	√	√	√	√	√	√
Single <i>Buyer</i> (Retail)	√	√	-	-	-	-	√
Multi <i>Vendor</i>	-	-	-	-	-	-	-
Multi <i>Buyer</i> (Retail)	-	-	√	-	√	-	-
<u>Tipe Permintaan</u>							
Deterministik	√	√	-	√	-	√	-
Probabilistik	-	-	√	-	√	-	√
<u>Karakteristik Produk</u>							
<i>Perishable Product</i>	√	-	√	√	√	-	√
<i>Non-Perishable Product</i>	-	√	-	-	-	√	-
<u>Kebijakan Pemenuhan Permintaan</u>							
FIFO	-	-	√	√	√	-	-
LIFO	-	-	-	-	-	-	√
<u>Umur Produk</u>							
<i>Fixed Lifetime</i>	-	-	-	√	√	-	√

<i>Random Lifetime</i>	√	-	√	-	-	-	-
<u>Ukuran Performansi</u>							
Penghematan Biaya Sistem	-	√	√	√	√	√	√
Maksimasi Keuntungan Sistem	√	-	-	--	-	-	-
<u>Variabel keputusan</u>							
Ukuran Pengiriman Retail	√	√	√	-	√	√	-
Frekuensi Pengiriman	-	√	-	√	-	√	√
Waktu Siklus	-	-	-	√	-	-	√

BAB III

PENGEMBANGAN MODEL

Bab ini menjelaskan gambaran model dasar. Selain itu juga dijelaskan indeks, parameter dan variabel model dasar dari penelitian ini, model matematik dasar, pengembangan model, formulasi pengembangan model dan skenario eksperimen yang digunakan dalam penelitian ini.

3.1 Gambaran Model Dasar

Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian Wang et al. (2010). Wang et al. (2010) mengembangkan model penentuan tingkat produksi optimal *perishable product* dengan mengintegrasikan faktor operasional, *shelf-life factors*, dan *traceability factors*. Pada penelitian ini akan dilakukan integrasi dengan *retail* dengan pola permintaan stokastik. Namun, pada penelitian ini tidak mempertimbangkan *traceability factors* karena kemungkinan munculnya *product recall* pada suatu produk sangat kecil (Wang et al, 2010). Model integrasi mengacu pada penelitian Pujawan dan Kingsman (2002). Pujawan dan Kingsman (2002) mengembangkan model inventori dengan integrasi pemasok dan pembeli dimana seluruh produksi untuk satu *batch* diproses hingga selesai lalu produk tersebut dikirimkan sebanyak n kali.

3.1.1 Penelitian Wang et al. (2010)

Gambaran sistem produksi pada penelitian Wang et al. (2010) adalah permintaan dipenuhi setelah seluruh proses produksi selesai dilakukan dan produk dikirim sebanyak n kali untuk satu pemesanan karena *retail* mau menerima produk dalam *batch* kecil. Objek dari penelitian ini adalah pihak manufaktur yang memproduksi produk *perishable*. Tujuan penelitian Wang et al. (2010) adalah meminimasi total biaya dari faktor operasional, *shelf-life factors*, dan *traceability factors*. Ilustrasi profil inventori digambarkan pada gambar 3.1. Faktor *traceability* dan biaya pembelian material tidak dijelaskan karena pengembangan model pada penelitian ini hanya mempertimbangkan faktor operasional dan *shelf-life factor*.

d_i tingkat diskon yang diberikan tiap keterlambatan periode ke- i

P'_F harga setelah diskon

– Asumsi pada model adalah sebagai berikut :

1. Laju produksi terbatas dan lebih besar daripada laju permintaan ($P > D$)
2. *Stok shortage* tidak diperkenankan
3. Laju permintaan diketahui dan dianggap konstan
4. Biaya set-up untuk satu tipe produk konstan
5. Bahan baku selalu tersedia dan dapat dipasok dari beberapa pemasok
6. Produk jadi dikirimkan dengan interval waktu yang tetap

3.1.1.1 Faktor Operasional

Faktor operasional mempertimbangkan adanya biaya penyimpanan dan biaya set-up. Pada gambar 3.1 terlihat bahwa produksi dilakukan sampai selesai (luas area segitiga) lalu dikirimkan hingga n kali (luas area anak tangga) dan proses produksi *batch* berikutnya selesai bersamaan dengan pengiriman *batch* sebelumnya selesai dikirim seluruhnya. Proses produksi satu *batch* diselesaikan seluruhnya lalu pengiriman dilakukan karena pelabelan umur produk dilakukan saat seluruh proses produksi satu *batch* selesai dilakukan.

Pada model *Economic Production Quantity* (EPQ), biaya set-up pada satu periode adalah :

$$C_{set} = \frac{D}{Q} A \quad (3.1)$$

luasan area pada gambar 3.1 menggambarkan total persediaan pada periode T dan rata-rata inventori pada periode T adalah sebagai berikut :

$$I_{AVG} = \frac{Q^2}{2P.nt} + \frac{\sum_{i=1}^n i.x_i}{n} \quad (3.2)$$

dari perhitungan mengenai rata-rata inventori dapat dicari biaya penyimpanan pada periode T adalah sebagai berikut :

$$C_H = \frac{HQ^2}{2P.nt} + \frac{H \sum_{i=1}^n i.x_i}{n} \quad (3.3)$$

3.1.1.2 Shelf-life factors

Pada umumnya produk makanan adalah produk *perishable*. Ada batasan tertentu dari umur suatu produk setelah produk tersebut diproduksi. Walaupun

produk disimpan pada kondisi tertentu akan ada masanya hingga produk tersebut tidak layak dikonsumsi. Masa umur produk tersebut dinamakan sebagai *shelf-life*, S_L . *Shelf-life* tidak harus menggambarkan kondisi produk yang mengalami kerusakan seiring waktu, namun lebih menggambarkan *marketable life* produk (Xu dan Sarker, 2003). Oleh karena itu, *retailer* sangat memperhatikan sisa umur produk di tangan *retailer* yang dinyatakan dengan S_R . S_R adalah jumlah umur produk, S_L , dikurangi dengan waktu penyimpanan produk di tangan produsen, nt . Pada kontrak perjanjian antara *retailer* dan pemasok, *retailer* membatasi waktu pengiriman dilakukan hingga waktu S_C . Jika nilai S_R lebih besar daripada S_C tidak akan menjadi masalah karena seluruh pengiriman selesai sebelum waktu yang ditentukan pada perjanjian.

$$S_R = S_L - nt \geq S_C \quad (3.4)$$

Apabila nilai $S_R < S_C$, maka produsen akan dikenai penalti atas keterlambatan per item per waktu. Penalti yang diberikan berupa denda dimana biaya yang timbul sesuai dengan kontrak. Biaya yang timbul karena $S_R < S_C$ adalah sebagai berikut :

$$C_{\text{PERISH}} = \begin{cases} 0 & \text{jika } 0 < n \leq \frac{S_L - S_C}{t} \\ \frac{D}{Q} \cdot F_S \cdot Q_S & \text{jika } n > \frac{S_L - S_C}{t} \end{cases} \quad (3.5)$$

$$\text{dimana } Q_S = \sum_{i=1}^y x_{n-y+1}, \quad y = n - \frac{S_L - S_C}{t} \quad (3.6)$$

Komponen biaya terdiri dari :

$$\text{Min } TC = \begin{cases} C_{\text{SETUP}} + C_H, & \text{jika } 0 < n \leq \frac{S_L - S_C}{t} \\ C_{\text{SETUP}} + C_H + C_{\text{PERISH}} & \text{jika } \frac{S_L - S_C}{t} < n \leq \frac{S_L - S_M}{t} \end{cases} \quad (3.7)$$

S.t

$$0 < Q \leq \frac{S_L - S_C}{t} \cdot x; \quad 0 < y \leq \frac{S_L - S_C}{t}; \quad S_C < S_L$$

Dari penjelasan tentang komponen biaya tersebut maka total biaya dapat dihitung dari faktor-faktor yang mempengaruhi penentuan produksi optimum sebagai berikut :

$$TC = \frac{D}{Q} A + \frac{HQ^2}{2P.nt} + \frac{H \sum_{i=1}^n i \cdot x_i}{n} + \frac{D}{Q} F_S \sum_{i=1}^y x_{n-y+i}, \quad n > \frac{S_L - S_C}{t} \quad (3.8)$$

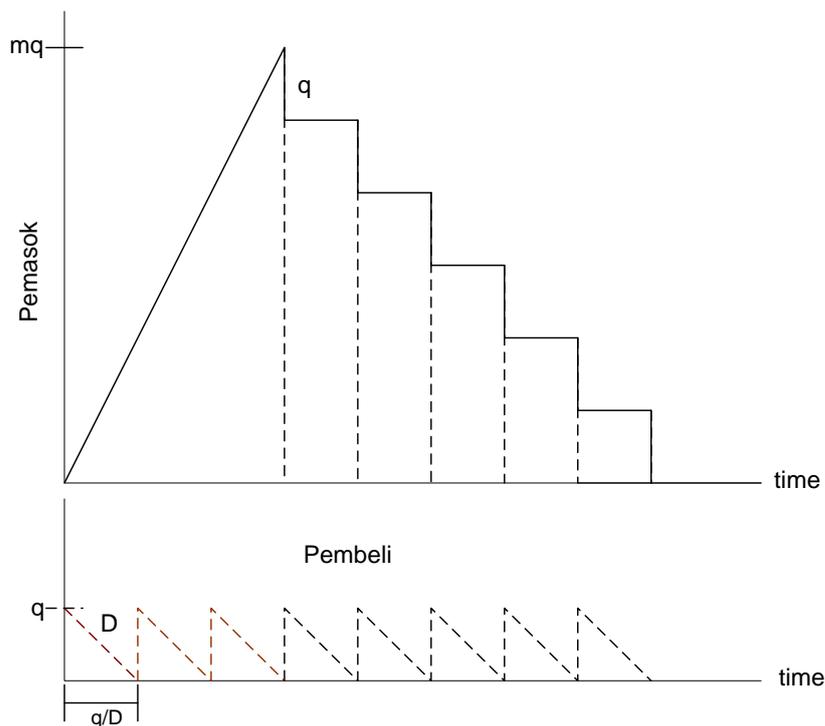
dari perumusan tersebut dapat diperoleh

$$Q^* = \sqrt{\frac{\bar{x}DP[2A_t + \bar{x}F_S(S_L - S_C)^2 - \bar{x}tF_S(S_L - S_C)]}{DF_S t^2 P + \bar{x}H + tHP}} \quad (3.9)$$

$$\text{S.t } 0 < Q \leq \frac{(S_L - S_C) \cdot \bar{x}}{t}$$

3.1.2 Penelitian Pujawan dan Kingsman (2002)

Gambaran dasar mengenai model Pujawan dan Kingsman (2002) telah dijelaskan pada sub bab 2.2.3. Pada model ini dilakukan perbandingan skenario antara (i) pemenuhan pesanan dilakukan setelah seluruh proses produksi untuk satu kali pemesanan selesai dilakukan dan (ii) pemenuhan pesanan dapat dilakukan setelah produk selesai diproduksi minimal untuk satu kali pengiriman. Namun pada penelitian ini hanya akan diadopsi model dengan skenario 1. Ilustrasi model inventori model Pujawan dan Kingsman (2002) skenario 1 dimana pengiriman akan dilakukan setelah seluruh produksi digambarkan pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Profil Inventori Integrasi Skenario 1 (Pujawan dan Kingsman, 2002)

Notasi yang digunakan pada model ini adalah :

D permintaan tahunan

- P tingkat produksi per tahun, asumsi $P > D$
 Q_b jumlah pemesanan pembeli
 Q_s jumlah produksi pemasok
 q jumlah pengiriman
 T_p lamanya satu kali produksi
 T_d siklus pengiriman
 S_s biaya set-up
 S_b biaya pemesanan yang dibebankan kepada pemasok
 h_s biaya penyimpanan pada pemasok per unit per tahun
 h_b biaya penyimpanan pada pembeli per unit per tahun
 S_d biaya pengiriman dibebankan kepada pembeli
 m nilai pengali Q_s dari q , dimana nilainya adalah integer
 n jumlah pengiriman satu pemesanan, dimana nilainya adalah integer

Skenario 1 diujikan pada dua kasus, dimana antara dua *stage* keputusan diambil secara independen dan keputusan diambil secara bersama.

– Keputusan diambil secara independen

$$TC_b = \frac{D}{nq} (S_b + nS_d) + \frac{D}{nq} h_b \quad (3.10)$$

Jika nilai n diketahui, maka

$$Q_b = \sqrt{\frac{2nD(S_b + nS_d)}{h_b}} \quad (3.11)$$

Jika jumlah produk dikirim pada kuantitas yang sama, maka jumlah pengiriman optimal

$$q = \sqrt{\frac{2D(S_b + nS_d)}{nh_b}} \quad (3.12)$$

$$TC_b = \sqrt{\frac{2h_b D(S_b + nS_d)}{nh_b}} \quad (3.13)$$

$$TC_s = \frac{q}{2} \left(\frac{mD}{P} + m - 1 \right) h_s + \frac{D}{mq} S \quad (3.14)$$

Nilai m optimal akan diperoleh dari

$$m^*(m^* - 1) \leq \frac{nS_s}{S_b + nS_d} \leq m^*(m^* + 1) \quad (3.15)$$

– Keputusan dilakukan secara bersama

$$TJC = \frac{D}{qn} (S_b + nS_d) + \frac{q}{2} h_b + \frac{q}{2} \left(\frac{mD}{P} + m - 1 \right) h_s + \frac{D}{mq} S_s \quad (3.16)$$

$$q = \sqrt{\frac{2DX}{nh_b+h_sY}} \quad (3.17)$$

$$\text{dimana } X = \frac{S_b+nS_d}{n} + \frac{S_s}{m} \text{ dan } Y = \frac{mD}{P} + m - 1$$

$$TJC = \sqrt{2DX(h_b + h_sY)} \quad (3.18)$$

$$m^*(m^* - 1) \leq \frac{nS_s}{S_b+} \leq m^*(m^* + 1) \quad (3.19)$$

3.2 Pengembangan Model

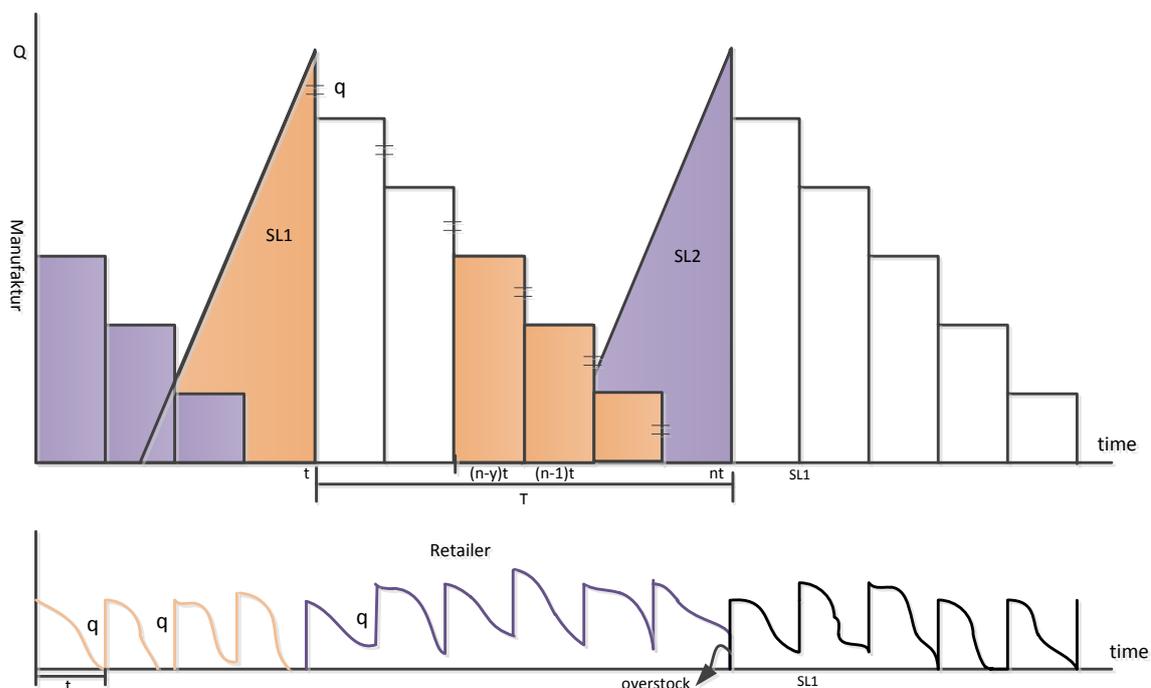
Penjelasan mengenai pengembangan model pada bab ini akan dibagi menjadi beberapa sub bab, yaitu deskripsi permasalahan, formulasi model matematis,

3.2.1 Deskripsi Permasalahan

Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian Wang et al. (2010) dimana pada penelitian tersebut dilakukan pengembangan model dengan tujuan meminimasi total biaya pada *perishable product*. Model Wang et al. (2010) telah dijelaskan pada bab 3.1.1. Penelitian Wang hanya memperhatikan satu pihak, yaitu pihak manufaktur, dan permintaan bersifat deterministik. Sedangkan pada penelitian ini akan dilakukan integrasi pemasok-pembeli tunggal. Dasar pengembangan model integrasi pada penelitian ini mengacu pada model Pujawan dan Kingsman (2002) karena asumsi yang digunakan sama dengan penelitian Wang dimana proses manufaktur dilakukan sampai seluruh proses selesai lalu dilakukan pengiriman dalam *batch* kecil. Pada penelitian Pujawan dan Kingsman, jenis produk yang diteliti bersifat *non-perishable* dan permintaannya bersifat deterministik.

Pada penelitian ini akan dilakukan integrasi antara dua pihak, yaitu manufaktur dan *retailer*, dengan pola permintaan stokastik. Produk yang diteliti bersifat *perishable*. Produk *perishable* mempunyai karakteristik khusus yaitu umur produk (*lifetime*) yang pendek. Menurut Nahmias (1982) umur produk dikategorikan menjadi dua, yaitu *fixed lifetime* dan *random lifetime*. Pemenuhan permintaan pada produk dengan karakter *fixed lifetime* dapat dilakukan dengan menerapkan kebijakan FIFO atau LIFO. Penelitian ini membahas tentang model inventori pada produk *fixed lifetime* dan menerapkan kebijakan LIFO untuk

memenuhi permintaan. Oleh karena itu, permasalahan inventori yang muncul sangat kritis. Stok yang masih tersisa pada akhir umur produk (S_L) tersebut tidak bisa dikonsumsi lagi. Apalagi dengan penerapan kebijakan LIFO, stok yang tersisa sudah tidak dapat dikonsumsi lagi saat terjadi *replenishment* pemesanan *batch* berikutnya walaupun kondisi tersebut terjadi sebelum mencapai masa akhir hidup produk. Waktu *replenishment* sama dengan waktu siklus produksi, yaitu sebesar T . *Replenishment* dilakukan saat seluruh produk dari *batch* sebelumnya telah terkirim seluruhnya. Hal ini dapat menimbulkan kerugian bagi perusahaan jika masih terdapat banyak produk yang tersisa saat *replenishment* pemesanan *batch* berikutnya terjadi. Model inventori pada penelitian ini diilustrasikan pada gambar 3.3.



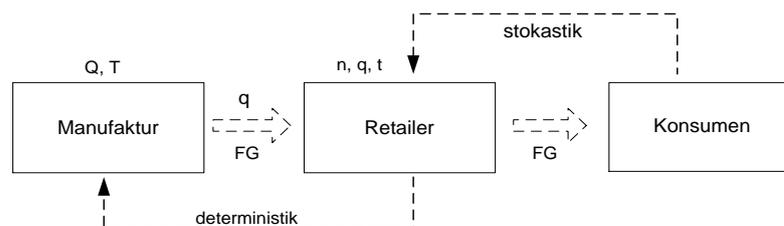
Gambar 3.3 Ilustrasi Model Inventori Pengembangan Model

Pada permasalahan ini manufaktur berperan sebagai pemasok dan *retailer* sebagai pembeli. *Retailer* melakukan sejumlah pemesanan sebesar Q kepada manufaktur dan dikirimkan dalam *batch* kecil sebesar q sebanyak n kali dan pengiriman dilakukan dalam interval waktu t konstan. Biaya pengiriman ditanggung oleh *retailer*. Pada kasus ini permasalahan tentang bahan baku tidak dipertimbangkan dengan asumsi bahwa *supplier* dapat menyediakan bahan baku

secara tidak terbatas. Manufaktur memproduksi sejumlah Q produk dan penyelesaian proses produksi *batch* berikutnya selesai bersamaan dengan habisnya produk *batch* sebelumnya.

Produk yang diproduksi pada *batch* yang sama mempunyai masa hidup yang sama. Pada ilustrasi gambar 3.3 produk yang diproduksi pada S_{L1} mempunyai masa hidup yang sama, yaitu S_{L1} , walaupun produk dikirimkan secara bertahap. Penerapan aturan LIFO menyebabkan sisa produk yang tersisa saat terjadi *replenishment* dibuang walaupun belum mencapai masa akhir umur produk, maka penentuan keputusan waktu *replenishment* dan ukuran lot pengiriman akan lebih baik jika dilakukan secara terintegrasi. Keputusan secara terintegrasi akan menghasilkan total biaya rantai pasok yang minimum. Pada penelitian ini tidak ada biaya penalti atas keterlambatan pengiriman manufaktur yang melebihi waktu kontrak yang ditentukan, seperti pada penelitian Wang et al. (2010). Hal ini disebabkan waktu maksimal suatu produk berada dalam sistem adalah saat *replenishment* dilakukan. Sedangkan pada penelitian Wang et al. (2010) kontrak tersebut dibuat agar produk segera terkirim seluruhnya sebelum masa hidup produk berakhir.

Pada penelitian ini permintaan diasumsikan bersifat stokastik. Apabila penentuan keputusan tetap dilakukan secara independen seperti pada model Wang, maka akan ada salah satu pihak yang dirugikan. Dalam kasus ini pihak yang dirugikan adalah *retailer*, karena dengan adanya permintaan yang bersifat stokastik, *retailer* yang akan menanggung risiko adanya *lost sales* atau *overstock*. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dibuat pengembangan model integrasi antara manufaktur dan *retailer*. Permintaan konsumen diasumsikan bersifat stokastik, namun manufaktur menerima permintaan deterministik dari *retailer*. Gambar 3.4 menunjukkan ilustrasi integrasi antara *retailer* dan manufaktur.



Gambar 3.4 Model Integrasi Inventori

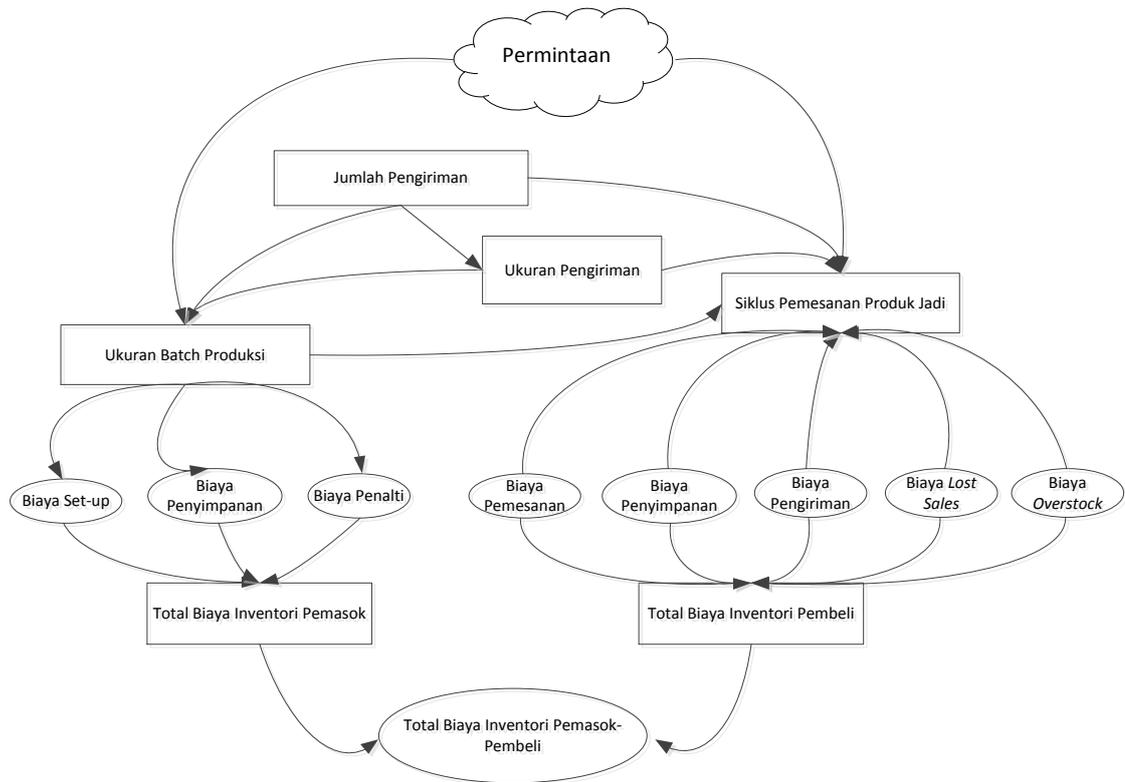
Retailer memesan satu *batch* produk sejumlah Q kepada manufaktur. Satu *batch* Q dikirimkan sebanyak n kali dalam jumlah q . Biaya penyimpanan pada *retailer* lebih besar dibandingkan dengan manufaktur. Adanya permintaan stokastik menyebabkan *retailer* mempunyai risiko terjadinya *lost sales* tiap siklus waktu. Selain itu, pada tiap akhir periode *batch* pengiriman (nt) memungkinkan terjadinya *overstock*. Hal ini disebabkan pada periode nt , *batch* produk berikutnya akan tiba dan diasumsikan konsumen akan lebih memilih produk dengan masa hidup produk yang lebih panjang (LIFO). Pada gambar 3.3 *batch* produksi awal dinyatakan dengan S_{L1} artinya produk tersebut mempunyai masa hidup hingga S_{L1} . *Batch* produksi berikutnya dinyatakan dengan S_{L2} artinya masa hidup produk tersebut adalah S_{L2} . Pada saat terjadi *replenishment* produk dengan masa hidup S_{L2} , nilai S_{L2} lebih panjang jika dibandingkan dengan S_{L1} . Jadi, pada waktu yang sama terdapat dua tipe produk dengan umur yang berbeda maka konsumen akan memilih produk dengan masa hidup S_{L2} . Saat produk S_{L2} tiba sedangkan masih terdapat sisa produk S_{L1} , maka produk S_{L1} akan dibuang dan muncul biaya *overstock*.

3.2.2 Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan dari pengembangan model ini adalah total biaya inventori gabungan antara manufaktur dan *retailer* (TC_{chain}) selama satu tahun dan membandingkan antara sistem koordinasi dan tanpa koordinasi. TC_{chain} terdiri dari 7 elemen biaya, yaitu biaya set-up manufaktur, biaya penyimpanan manufaktur, biaya pemesanan *retailer*, biaya pengiriman *retailer*, biaya penyimpanan *retailer*, biaya *lost sales retailer*, biaya *overstock retailer*.

3.2.3 Variabel Keputusan

Variabel keputusan yang ingin dicari pada pengembangan model adalah ukuran lot pengiriman (q), interval waktu *replenishment* (T). Variabel-variabel keputusan memiliki hubungan yang saling interdependen sehingga biasanya model sistem menjadi kompleks dan tidak bisa diselesaikan dengan cara analitik. Dalam pembuatan formulasi model mengikuti alur *influence diagram* seperti gambar 3.5 dibawah ini.



Gambar 3.5 Influence Diagram Formulasi Model Matematika

3.2.4 Asumsi dan Notasi

Asumsi yang digunakan dalam model ini adalah permintaan bersifat stokastik di *retailer* selama jangka waktu tertentu (tahun) yang diketahui oleh manufaktur. Selain itu permintaan berdistribusi normal dengan rata-rata permintaan (μ) dan standar deviasi (σ). Manufaktur akan mengirimkan produk setelah proses produksi selesai. Hal ini dikarenakan pelabelan akan dilakukan setelah seluruh proses dalam satu *batch* selesai. Produk akan dikirimkan dalam *batch* kecil sampai seluruh produk terkirim karena biaya simpan pada *retailer* diasumsikan lebih mahal daripada biaya simpan pada manufaktur. Profil inventori digambarkan pada gambar 3.3.

Notasi yang digunakan pada pengembangan model adalah sebagai berikut :

– **Indeks**

- v manufaktur
- b *retailer*

- **Parameter**

D	banyaknya permintaan pembeli (unit/ tahun)
P	tingkat produksi (unit/ tahun)
A_v	biaya set-up produksi (\$/ set-up)
A_b	biaya pemesanan <i>retailer</i> (\$/ pesan)
H_v	biaya penyimpanan manufaktur (\$/ unit/ tahun)
H_b	biaya penyimpanan <i>retailer</i> (\$/ unit/ tahun)
S_b	biaya transportasi <i>retailer</i> (\$/ pengiriman)
S_L	<i>shelf-life</i> produk
$F(s)$	<i>cumulative density function</i>
$f(s)$	<i>probability density function</i>

- **Variabel Model Dasar**

q	ukuran lot tiap pengiriman
T	waktu siklus <i>replenishment</i>

3.2.5 Formulasi Model Matematika

Formulasi model matematika disini melingkupi formulasi biaya yang ada di *retailer* dan manufaktur. Biaya pada *retailer* terbagi menjadi biaya pemesanan produk, pengiriman produk, penyimpanan produk, *lost sales* dan *overstock*. Sedangkan biaya di manufaktur meliputi biaya set-up produksi dan biaya penyimpanan produk. Formulasi pengembangan model matematika selengkapnya dijelaskan seperti dibawah ini.

3.2.5.1 Total Biaya pada Manufaktur

Total biaya untuk manufaktur terdiri dari biaya set-up produksi, biaya penyimpanan, dan biaya penalti. Adanya pengiriman produk sebesar q yang dilakukan sebanyak n kali untuk satu pemesanan, maka besarnya Q dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$Q = nq \tag{3.20}$$

Pada semua rumusan yang mengandung nilai Q akan diganti sesuai persamaan 3.20. Biaya-biaya pada manufaktur dijelaskan seperti dibawah ini :

a. Biaya Set-up Produksi

Biaya set-up produksi (C_{sv}) merupakan total biaya set-up produksi selama satu horizon waktu tertentu (satu tahun). Biaya ini diperoleh dari pembagian permintaan selama satu tahun dengan ukuran lot produksi (Q) dikali dengan biaya tiap kali set-up. Adapun perumusannya sebagai berikut :

$$C_{sv} = \frac{D}{nq} A \quad (3.21)$$

b. Biaya Penyimpanan Produksi

Biaya penyimpanan produk per tahun di manufaktur dihitung berdasarkan luas area manufaktur dibagi dengan satu siklus produksi (T) menggunakan persamaan berikut :

$$C_{hv} = \left[\frac{Q^2}{2P} H_v + \frac{n(n-1)q}{2} \cdot \frac{q}{D} H_v \right] / \left(\frac{qn}{D} \right)$$

Jika nilai Q diganti sesuai persamaan 3.20, maka rumusan biaya penyimpanan produksi seperti berikut :

$$\begin{aligned} C_{hv} &= \left[\frac{(nq)^2}{2P} H_v + \frac{(n-1)q^2}{2D} H_v \right] / \left(\frac{qn}{D} \right) \\ C_{hv} &= \left[\frac{(nq)^2}{2P} H_v + \frac{(n-1)q^2}{2D} H_v \right] / \left(\frac{qn}{D} \right) \\ &= \frac{q}{2} \left(\frac{nD}{P} + (n-1) \right) H_v \end{aligned} \quad (3.22)$$

c. Total Biaya Manufaktur

Total biaya pada manufaktur adalah sebagai berikut :

$$TC_v = C_{hv} + C_{sv}$$

Dimana jika dirumuskan adalah sebagai berikut :

$$TC = \frac{D}{nq} A + \frac{q}{2} \left(\frac{nD}{P} + (n-1) \right) H_v \quad (3.23)$$

3.2.5.2 Total Biaya pada Retailer

Total biaya untuk *retailer* terdiri dari biaya pemesanan, biaya pengiriman, biaya penyimpanan, dan biaya *lost sales*, dan biaya *overstock*. Biaya-biaya pada *retailer* dijelaskan sebagai berikut :

a. Biaya Pemesanan

Biaya pemesanan terjadi saat *retailer* mengirimkan pesanan produk dengan ukuran lot sebesar Q kepada manufaktur. Biaya pemesanan tidak bergantung pada kuantitas produk yang dipesan tetapi bergantung pada berapa kali pemesanan

dilakukan. Pemesanan terjadi setiap waktu siklus manufaktur (nt), artinya jumlah pemesanan *retailer* sama dengan jumlah set-up produksi manufaktur. Rumusan biaya yang muncul adalah sebagai berikut :

$$C_{sb} = \frac{D}{nq} A_b \quad (3.24)$$

b. Biaya Pengiriman

Biaya pengiriman terjadi setiap waktu siklus (t) di *retailer*. Untuk satu pemesanan dikirimkan sebanyak n kali kepada *retailer*. Biaya pemesanan ditanggung oleh *retailer*. Biaya pengiriman dirumuskan sebagai berikut :

$$C_{tb} = \frac{D}{q} S_b \quad (3.25)$$

c. Biaya Penyimpanan

Biaya penyimpanan merupakan seluruh biaya yang dikeluarkan untuk proses penanganan barang persediaan. Tingkat persediaan normal pada *retailer* tiap siklus waktu adalah sebesar q . Namun, adanya permintaan yang stokastik pada *retailer* memungkinkan terjadinya tiga kondisi, yaitu :

- Tingkat permintaan = tingkat persediaan, maka jumlah persediaan pada periode berikutnya sebesar q .
- Tingkat permintaan < tingkat persediaan, maka jumlah persediaan pada periode berikutnya sebesar q + sisa inventori periode sebelumnya.
- Tingkat permintaan > tingkat persediaan, maka akan terjadi *lost sales*. Jumlah persediaan pada periode berikutnya adalah sebesar q .

Total biaya penyimpanan tiap siklus merupakan perkalian antara biaya penyimpanan dengan ekspektasi total persediaan yang terdiri dari rata-rata permintaan selama t , yaitu Dt dibagi dengan dua yang dijumlahkan dengan *safety stock* (SS) dan ekspektasi *lost sales*. *Safety stock* untuk pola permintaan stokastik yang berdistribusi normal adalah perkalian antara *service level* (Z) dengan standar deviasi permintaan selama *review period* $\sigma\sqrt{t}$ dimana t adalah pembagian antara q dengan D . *Safety stock* selama $\frac{q}{D}$ adalah :

$$Safety\ stock = Z\sigma\sqrt{\frac{q}{D}} \quad (3.26)$$

Penurunan rumus untuk mencari ekspektasi *lost sales* mengikuti model yang sudah ada pada Chopra dan Meindl (2001). Besarnya biaya *lost sales* dapat dicari

dengan mengalikan biaya per unit *lost sales* (L) dengan ekspektasi jumlah *lost sales* selama kurun waktu tertentu. *Probability density function* dari variabel *random kontinue* x berdistribusi normal dengan rata-rata μ dan standar deviasi $\sigma > 0$ maka dapat dirumuskan:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (3.27)$$

Jika permintaan selama periode t, $(\frac{q}{D})$, dirumuskan sebagai $D \cdot (\frac{q}{D})$ dengan standar deviasi $\sigma \sqrt{\frac{q}{D}}$, maka *inventory* pada periode tersebut dapat dirumuskan menjadi $I = q + Z\sigma \sqrt{\frac{q}{D}}$. *Lost sales* terjadi ketika permintaan selama kurun waktu $\frac{q}{D}$ lebih besar dari *inventory* ($x > I$) sehingga ekspektasi terjadi *lost sales* per siklus untuk tiap *retail* dapat dirumuskan :

$$ES = \int_{x=I}^{\infty} (x - I) f(x) dx \quad (3.28)$$

$$ES = \int_{x=q+SS}^{\infty} (x - q - SS) \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma \sqrt{\frac{q}{D}}} e^{-\frac{(x-q)^2}{2(\sigma \sqrt{\frac{q}{D}})^2}} dx$$

Dengan mensubstitusikan $z = \frac{(x-q)}{\sigma \sqrt{\frac{q}{D}}}$ dan $dx = \sigma \sqrt{\frac{q}{D}} dz$ maka persamaan di atas

menjadi :

$$ES = \int_{z=\frac{SS}{\sigma \sqrt{\frac{q}{D}}}}^{\infty} (z\sigma \sqrt{\frac{q}{D}} - SS) \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2} dz$$

$$ES = -SS \int_{z=\frac{SS}{\sigma \sqrt{\frac{q}{D}}}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2} dz + \sigma \sqrt{\frac{q}{D}} \int_{z=\frac{SS}{\sigma \sqrt{\frac{q}{D}}}}^{\infty} z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2} dz$$

Misalkan $F_s(\cdot)$ adalah *cumulative distribution function* dan $f_s(\cdot)$ adalah *probability density function* untuk distribusi normal standar dengan rata-rata 0 dan standar deviasi 1. Dengan menggunakan persamaan di bawah ini :

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]$$

dan definisi dari distribusi normal standar maka akan diperoleh ;

$$1 - F_s(y) = \int_{z=y}^{\infty} f_s(z) dz = \int_{z=y}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2} dz$$

Dengan mensubstitusikan $w = \frac{z^2}{2}$, maka perumusan ESC menjadi seperti berikut :

$$ES = -SS \int_{z=\frac{SS}{\sigma\sqrt{D}}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2} dz + \sigma\sqrt{\frac{q}{D}} \int_{z=\frac{SS}{\sigma\sqrt{D}}}^{\infty} z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2} dz$$

Maka akan diperoleh:

$$ES = -SS \left[1 - F_s \left(\frac{SS}{\sigma\sqrt{D}} \right) \right] + \sigma\sqrt{\frac{q}{D}} \int_{w=SS^2 / 2(\sigma\sqrt{\frac{q}{D}})^2}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-w} dw$$

$$ES = -SS[1 - F_s(Z)] + \sigma\sqrt{\frac{q}{D}} f_s(Z)$$

$$ES = \sigma\sqrt{\frac{q}{D}} \{f_s(Z) - Z[1 - F_s(Z)]\} \quad (3.29)$$

Dari perumusan tersebut, diperoleh rumusan biaya penyimpanan pada retailer sebagai berikut :

$$C_{hb} = H_b \left(\frac{q}{2} + SS \right) + H_b ES$$

$$C_{hb} = H_b \left(\frac{q}{2} + Z\sigma\sqrt{\frac{q}{D}} \right) + H_b \left(\sigma\sqrt{\frac{q}{D}} \{f_s(Z) - Z[1 - F_s(Z)]\} \right) \quad (3.30)$$

$$\text{Dimana } \psi(Z) = f_s(Z) - Z[1 - F_s(Z)] \quad (3.31)$$

Jadi, persamaan 3.30 dapat disederhanakan menjadi :

$$C_{hb} = H_b \left(\frac{q}{2} + Z\sigma\sqrt{\frac{q}{D}} \right) + H_b \sigma\sqrt{\frac{q}{D}} \psi(Z) \quad (3.32)$$

d. Biaya Lost Sales

Lost sales terjadi karena jumlah permintaan melebihi persediaan yang ada. Biaya *lost sales* diperoleh dari perkalian antara biaya *lost sales* per unit dengan ekspektasi *lost sales* tiap siklus. Rumusan mengenai ekspektasi *lost sales* telah dijelaskan pada persamaan 3.29. Perumusan biaya *lost sales* dinyatakan sebagai berikut :

$$ESC = ES \cdot C_u$$

$$ESC = \frac{D}{q} \sigma\sqrt{\frac{q}{D}} \{f_s(Z) - Z[1 - F_s(Z)]\} \cdot C_u \quad (3.33)$$

e. Biaya Overstock

Biaya *overstock* muncul akibat adanya sisa produk saat produk tersebut tidak bisa digunakan lagi disebabkan oleh :

- a. Umur produk tersebut sudah mencapai *expired date* sehingga produk sudah tidak layak konsumsi.

- b. Masih terdapat sisa produk dari pengiriman sebelumnya (S_{L1}) saat produk dari pengiriman berikutnya (S_{L2}) tiba. Walaupun umur produk belum mencapai *expired date*, konsumen akan cenderung memilih produk dengan umur yang lebih baru (LIFO).

Biaya *overstock* diperoleh dari perkalian antara biaya *overstock* per unit dengan ekspektasi *overstock* yang terjadi. Ekspektasi jumlah *overstock* diperoleh dari pengurangan Q dan permintaan selama T , D_T . Produk sejumlah Q yang diproduksi oleh manufaktur akan dikirim seluruhnya kepada *retailer* dalam *batch* yang lebih kecil, q , sebanyak n kali. Penambahan variabel biaya *overstock* diberikan karena adanya kemungkinan muncul sisa produk saat terjadi *replenishment* atau saat masa hidup produk habis. Penurunan rumus *expected overstock* mengikuti model yang telah dijelaskan pada Chopra dan Meindl (2001), yaitu sebagai berikut :

$$EO = \int_{x=0}^Q (Q - x)f(x, D_T, \sigma_T)dx \quad (3.34)$$

$$EO = \int_{x=0}^Q Qf(x, D_T, \sigma_T)dx - \int_{x=0}^Q xf(x, D_T, \sigma_T)dx$$

$$EO = Q \cdot F\left(\frac{Q-D_T}{\sigma_T}\right) - \int_{x=0}^Q xf(x, D_T, \sigma_T)dx \quad (3.35)$$

Diketahui bahwa x berdistribusi normal dengan parameter (μ, σ) , maka penurunan nilai $\int_{x=0}^Q xf(x, D_T, \sigma_T)dx$ adalah sebagai berikut :

$$A = \int_0^Q xf(x, D_T, \sigma_T)dx = \int_0^Q x \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx$$

Substitusikan nilai $z = \frac{x-\mu}{\sigma}$, $dx = \sigma dz$, maka nilai A menjadi sebagai berikut :

$$A = \int_{z=0}^{\frac{Q-D_T}{\sigma_T}} (z\sigma + \mu) \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$

$$A = \mu \int_{z=0}^{\frac{Q-D_T}{\sigma_T}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{z^2}{2}} dz + \sigma \int_{z=0}^{\frac{Q-D_T}{\sigma_T}} z \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$

Hubungan antara pdf (*probability density function*) dan cdf (*cumulative density function*) dinyatakan sebagai berikut :

$$F_s(t) = \int_{-\infty}^t f_s(z) dz = \int_{-\infty}^t \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$

Substitusikan $w = \frac{z^2}{2}$, $dw = z dz$, maka

$$A = \mu F_s \left(\frac{Q - D_T}{\sigma} \right) - \sigma \int_{w=\infty}^{\left(\frac{(\alpha-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)} \frac{1}{\sqrt{2}\sigma} e^{-w} dw$$

$$A = \mu F_s \left(\frac{Q - D_T}{\sigma} \right) - \sigma f_s \left(\frac{Q - D_T}{\sigma} \right)$$

Maka nilai dari persamaan 3.35 menjadi sebagai berikut :

$$EO = Q F_s \left(\frac{Q - D_T}{\sigma_T} \right) - \mu F_s \left(\frac{Q - D_T}{\sigma_T} \right) - \sigma f_s \left(\frac{Q - D_T}{\sigma_T} \right) \quad (3.36)$$

Untuk memperoleh nilai ekspektasi *overstock* dengan menggunakan perumusan model matematis seperti pada persamaan 3.36 sulit dilakukan. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan *generate random number* untuk memperoleh permintaan selama T. Perumusan yang digunakan sama dengan persamaan 3.34 dimana Q merupakan bilangan konstan dan DT adalah variabel yang berubah sesuai distribusi normal dengan parameter yang sudah diketahui.

f. Total Biaya Retailer

Total biaya pada *retailer* adalah sebagai berikut :

$$TC_b = C_{sb} + C_{tb} + C_{hb} + ESC + EOC$$

$$TC_b = \frac{D}{nq} A_b + \frac{D}{q} S_b + H_b \left(\frac{q}{2} + Z\sigma \sqrt{\frac{q}{D}} \right) + H_b \sigma \sqrt{\frac{q}{D}} \psi(Z) + \frac{D}{q} C_u \sigma \sqrt{\frac{q}{D}} \psi(Z) + \frac{D}{nq} C_o E(O) \quad (3.37)$$

3.2.5.3 Total Biaya Rantai Pasok

Total biaya rantai pasok merupakan total biaya keseluruhan manufaktur dan pembeli dan dirumuskan sebagai berikut :

Total biaya rantai pasok = total biaya manufaktur + total biaya pembeli

$$TC = \frac{D}{nq} A + \frac{q}{2} \left(\frac{nD}{P} + (n-1) \right) H_v + \frac{D}{nq} A_b + \frac{D}{q} S_b + H_b \left(\frac{q}{2} + Z\sigma \sqrt{\frac{q}{D}} \right) + H_b \sigma \sqrt{\frac{q}{D}} \psi(Z) + \frac{D}{q} C_u \sigma \sqrt{\frac{q}{D}} \psi(Z) + \frac{D}{nq} C_o E(O) \quad (3.38)$$

3.2.6 Solusi Model

Solusi model yang akan diselesaikan pada penelitian ini dibagi menjadi dua, yaitu solusi model tanpa koordinasi dan solusi model dengan koordinasi. Persamaan total biaya sistem merupakan fungsi dari 2 buah variabel keputusan yaitu q dan T . Persamaan tersebut sangat kompleks karena terdapat interdependen dari kedua variabel sehingga sulit untuk membuktikan bahwa secara simultan nilai q dan T optimal yang meminimalkan total biaya itu ada dan unik. Oleh karena itu dilakukan penurunan secara parsial dengan mengasumsikan variabel keputusan yang lain sudah diketahui.

3.2.6.1 Model Inventori Tanpa Koordinasi

Penyelesaian model tanpa koordinasi adalah penentuan keputusan dilakukan oleh manufaktur dan *retailer* secara parsial. Pada model inventori tanpa koordinasi, *retailer* yang menentukan berapa jumlah T^* dengan asumsi parameter n sudah diketahui. Pada kasus ini nilai n diasumsikan sama dengan satu, artinya *retailer* hanya memesan sejumlah produk sebesar Q dengan sekali pengiriman. Pada kasus ini dicari nilai T^* untuk mengetahui berapa ukuran lot pemesanan (q). Keputusan mengenai berapa kali pengiriman dilakukan untuk satu kali pemesanan diputuskan oleh pihak manufaktur. Hasil dari variabel q^* akan menjadi dasar bagi manufaktur dalam menentukan jumlah produksi. Untuk memperoleh variabel keputusan optimal dilakukan dengan cara enumerasi. Pengujian optimal untuk seluruh variabel keputusan tidak dapat dilakukan karena permasalahan yang terlalu kompleks.

➤ Algoritma Pencarian Solusi Model

Pencarian solusi untuk mencari nilai T^* dan q^* yang dapat meminimumkan total biaya *retailer* dan manufaktur dapat dilakukan dengan menggunakan suatu algoritma. Algoritma yang digunakan pada penelitian ini untuk menyelesaikan model tanpa koordinasi dirumuskan sebagai berikut :

1. Melakukan *generate random* untuk mengetahui jumlah permintaan selama T . Hal ini dilakukan untuk mencari ekpektasi *overstock* selama T karena sulit mengetahui ekspektasi *overstock* menggunakan perumusan model matematis. *Generate random* dilakukan dengan menggunakan *software*

excel, dimana permintaan tersebut mengikuti distribusi normal dengan parameter yang sudah diketahui.

2. Mencari nilai T^* dengan menguji seluruh nilai T dimana asumsinya adalah nilai $n = 1$ menggunakan persamaan 3.37. Pengujian T^* dimulai dari nilai $T = S_L$ dimana nilai tersebut sebagai T inisial. Pengujian dimulai dengan nilai $T = S_L$ karena saat nilai T melebihi *lifetime* produk, maka produk tersebut tidak dapat dikonsumsi lagi. Jadi, nilai $T \leq S_L$.
3. Pengujian nilai T^* dilanjutkan dengan menggunakan nilai $T = S_L - 1$. Nilai T tersebut menjadi T' . Pengujian dilakukan hingga $T = S_L - S_L + 1$.
4. Ulangi langkah 3 dan pengujian berhenti dilakukan saat $TC(T') \geq TC(T' + 1)$.
5. Setelah diperoleh T^* , maka secara otomatis akan diperoleh nilai q^* . Perumusan untuk $q^* = DT^*/n$. Nilai D dan n diketahui.
6. Nilai q^* tersebut menjadi input untuk mencari total biaya manufaktur terendah, dimana nilai q^* sama dengan nilai Q^* jika $n = 1$. Perhitungan total biaya manufaktur menggunakan perumusan sebagai berikut :

$$TC = \frac{D}{mQ}A + \left(\frac{mQD}{2P} + \frac{Q}{2}\right)H_v \quad (3.39)$$

3.2.6.2 Model Koordinasi

Penyelesaian model koordinasi adalah penentuan keputusan dilakukan oleh manufaktur dan *retailer* secara terintegrasi. Variabel keputusan yang dihasilkan adalah q^* dan T^* dengan tujuan untuk meminimasi biaya total dalam rantai pasok. Berikut adalah perumusan biaya total pada rantai pasok sesuai persamaan 3.38.

➤ Variabel Keputusan T

Pada penelitian ini T merupakan variabel keputusan dari model ini karena pada waktu *replenishment* dilakukan sisa produk yang tersisa akan dibuang. Jadi, akan ditentukan kapan waktu *replenishment* yang tepat untuk meminimumkan total biaya rantai pasok. Untuk memperoleh nilai T^* dilakukan dengan uji numerik dimana pengujian awal diasumsikan nilai $T = S_L$. Alasan diasumsikan bahwa nilai $T = S_L$ karena waktu maksimal produk masih bisa dikonsumsi adalah saat mencapai *expired date*.

➤ **Algoritma Pencarian Solusi Model**

Pencarian solusi untuk mencari variabel keputusan (q^* dan T^*) yang dapat meminimumkan total biaya *retailer* dan manufaktur dapat dilakukan dengan menggunakan suatu algoritma. Algoritma yang digunakan pada penelitian ini untuk menyelesaikan model tanpa koordinasi dirumuskan sebagai berikut :

1. Melakukan *generate random* untuk mengetahui jumlah permintaan selama T . Hal ini dilakukan untuk mencari ekspektasi *overstock* selama T karena sulit mengetahui ekspektasi *overstock* menggunakan perumusan model matematis. *Generate random* dilakukan dengan menggunakan *software excel*, dimana permintaan tersebut mengikuti distribusi normal dengan parameter yang sudah diketahui.
2. Mencari nilai T^* dengan menguji seluruh nilai T dimana asumsinya adalah nilai $n = 1$ menggunakan persamaan 3.38. Pengujian T^* dimulai dari nilai $T = S_L$ dimana nilai tersebut sebagai T inisial. Pengujian dimulai dengan nilai $T = S_L$ karena saat nilai T melebihi *lifetime* produk, maka produk tersebut tidak dapat dikonsumsi lagi. Jadi, nilai $T \leq S_L$.
3. Pengujian nilai T^* dilanjutkan dengan menggunakan nilai $T = S_L - 1$. Nilai T tersebut menjadi T' . Pengujian dilakukan hingga $T = S_L - S_L + 1$.
4. Ulangi langkah 3 dan pengujian berhenti dilakukan saat $TC(T') \geq TC(T' + 1)$.
5. Setelah diperoleh T^* lalu dilanjutkan dengan mencari kombinasi nilai n^* dan q^* dengan menggunakan persamaan 3.38.
6. Jika nilai $TC(q, T^* S_L) \geq TC(q, T^* = S_L - 1)$ maka perhitungan dihentikan, jika belum ulangi langkah 4 hingga diperoleh nilai $TC(q, T^* = S_L) \geq TC(q, T^* = S_L - 1)$.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

UJI NUMERIK

Bab ini membahas contoh numerik untuk menguji model matematik dan algoritma yang telah dikembangkan pada Bab III. Selain itu, contoh numerik juga digunakan untuk membandingkan model tanpa koordinasi dengan model koordinasi yang mana dari kedua model tersebut yang menghasilkan biaya terkecil serta membandingkan antara model *perishable* dan *non-perishable* untuk menghitung total biaya rantai pasok pada masing-masing model.

4.1 Contoh Numerik Pengembangan Model

Bagian ini akan menjelaskan parameter yang digunakan, pencarian solusi model secara numerik, dan perbandingan model tanpa koordinasi dengan model koordinasi, serta membandingkan total biaya inventori pada produk *perishable* dan *non-perishable*.

Parameter-parameter input yang digunakan dalam contoh numerik yang digunakan untuk menguji model sama dengan yang digunakan oleh Wang et al. (2010) untuk permasalahan optimasi pada manufaktur. Sedangkan parameter input untuk model koordinasi diambil dari model Kanchanasuntorn dan Techanitisawad (2006) karena pada model Wang et al (2010) data yang digunakan bersifat deterministik. Adapun parameter yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada tabel 4.1 sebagai berikut :

Tabel 4.1 Data Parameter Uji Numerik

Parameter	Keterangan	Jumlah	Satuan
D	Permintaan	540,000	unit
σ	Standar Deviasi	2,700	unit
P	Tingkat produksi	1,200,000	unit
A_v	Biaya Set-up	300	\$/ set-up
A_b	Biaya Pemesanan	40	\$/ pemesanan
H_v	Biaya Penyimpanan Manufaktur	0.5	\$/ unit/ tahun
H_b	Biaya Penyimpanan Retailer	1	\$/ unit/ tahun
S_b	Biaya Pengiriman	20	\$/ pengiriman
C_u	Biaya Lost Sales	15	\$/ unit
C_o	Biaya Overstock	30	\$/ unit
S_L	Masa Hidup Produk	12	hari

4.2 Solusi Penyelesaian Model

Pada bab ini akan dilakukan uji numerik untuk penyelesaian model non-koordinasi *perishable product*, model koordinasi *perishable product*, dan model koordinasi *non-perishable product*.

4.2.1 Model Non-Koordinasi *Perishable Product*

Pencarian solusi penyelesaian model non-koordinasi mengikuti langkah-langkah sebagai berikut :

Langkah 1 :

Melakukan *generate random* untuk mengetahui jumlah permintaan selama T. Generate random dilakukan dengan menggunakan distribusi normal dengan menggunakan parameter yang sudah diketahui, yaitu rata-rata sebesar D.T dan standar deviasi sebesar $\sigma \cdot \sqrt{T}$. Hasil dari *generate random* untuk seluruh nilai ditunjukkan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Permintaan Selama Waktu T

T (hari)	DT (unit)	EO (unit)	T (hari)	DT (unit)	EO (unit)
12	25,895	25	6	12,950	10
11	23,738	22	5	10,792	8
10	21,581	19	4	8,634	6
9	19,424	16	3	6,475	5
8	17,266	14	2	4,316	4
7	15,108	12	1	2,157	3

Dari hasil *generate random number* tersebut dapat diketahui nilai ekspektasi *overstock* pada T yang berbeda-beda seperti yang terlihat pada tabel 4.2.

Langkah 2 :

Mencari nilai T* dengan menguji seluruh nilai T dimana asumsinya adalah nilai $n = 1$ menggunakan persamaan 3.37. Pengujian T* dimulai dari nilai $T = S_L$ dimana nilai tersebut sebagai T inisial. Hasil perhitungan dengan nilai $T = S_L$ ditunjukkan pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Perhitungan Total Biaya Retailer $T = S_L$

Variabel Keputusan		Total Biaya Retailer				Total Biaya
q	T	Biaya Pesan	Biaya Simpan	Biaya <i>Shortage</i>	Biaya <i>Overstock</i>	
25,920	0.048	833.33	13,945.44	3,860.84	15,625.00	34,264.62

Langkah 3 :

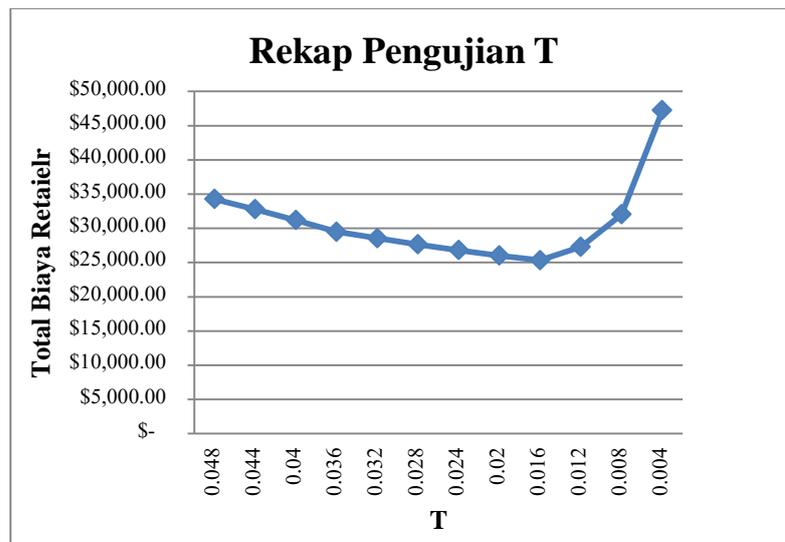
Pengujian nilai T^* dilanjutkan dengan menggunakan nilai $T=S_L-1$. Nilai T tersebut menjadi T' . Pengujian dilakukan hingga $T= S_L- S_L+1$. Hasil pengujian ditunjukkan pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Perhitungan Total Biaya Retailer pada Semua Nilai T

Variabel Keputusan		Total Biaya Retailer				Total Biaya
q	T	Biaya Pesan	Biaya Simpan	Biaya <i>Shortage</i>	Biaya <i>Overstock</i>	
25920	0.048	\$ 833.33	\$ 13,945.44	\$ 3,860.84	\$ 15,625.00	\$ 34,264.62
23760	0.044	\$ 909.09	\$ 12,823.49	\$ 4,032.52	\$ 15,000.00	\$ 32,765.10
21600	0.04	\$ 1,000.00	\$ 11,699.58	\$ 4,229.34	\$ 14,250.00	\$ 31,178.92
19440	0.036	\$ 1,111.11	\$ 10,573.41	\$ 4,458.12	\$ 13,333.33	\$ 29,475.98
17280	0.032	\$ 1,250.00	\$ 9,444.61	\$ 4,728.55	\$ 13,125.00	\$ 28,548.16
15120	0.028	\$ 1,428.57	\$ 8,312.64	\$ 5,055.03	\$ 12,857.14	\$ 27,653.39
12960	0.024	\$ 1,666.67	\$ 7,176.81	\$ 5,460.06	\$ 12,500.00	\$ 26,803.53
10800	0.02	\$ 2,000.00	\$ 6,036.10	\$ 5,981.19	\$ 12,000.00	\$ 26,017.29
8640	0.016	\$ 2,500.00	\$ 4,888.94	\$ 6,687.18	\$ 11,250.00	\$ 25,326.12
6480	0.012	\$ 3,333.33	\$ 3,732.72	\$ 7,721.69	\$ 12,500.00	\$ 27,287.74
4320	0.008	\$ 5,000.00	\$ 2,562.30	\$ 9,457.10	\$ 15,000.00	\$ 32,019.40
2160	0.004	\$10,000.00	\$ 1,364.47	\$ 13,374.35	\$ 22,500.00	\$ 47,238.83

Langkah 4 :

Ulangi langkah 3 dan pengujian berhenti dilakukan saat $TC(T') \geq TC(T' + 1)$. Pengujian dihentikan saat nilai $T = 4$ hari. Hal ini disebabkan saat pengujian $T = 4$ hari, nilai TC lebih besar dibandingkan saat $T = 4$ hari seperti terlihat pada gambar 4.1. Bentuk grafik yang membentuk konveks menunjukkan bahwa nilai $T = 4$ hari merupakan nilai T^* .



Gambar 4.1 Grafik Perhitungan Total Biaya vs T pada Model Non-Koordinasi

Dari gambar 4.1 terlihat bahwa T optimal diperoleh saat $T = 0.016$ (hari ke-4) dengan $Q = 8,640$ unit. Pada tabel 4.4, dapat dilihat bahwa pemesanan sebesar Q akan menghasilkan total biaya yang rendah pada *retailer* dimana total biayanya sebesar \$ 25,326.

Langkah 5 :

Nilai q^* tersebut menjadi input untuk mencari total biaya manufaktur terendah, dimana nilai q^* sama dengan nilai Q^* jika $n = 1$. Perhitungan total biaya manufaktur menggunakan persamaan 3.39. Hasil perhitungan total biaya manufaktur ditunjukkan pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Perhitungan Total Biaya Non-Koordinasi

Variabel Keputusan		Total Biaya Manufaktur			TC Retailer	Total Biaya
q	m	Biaya Set-up	Biaya Simpan	Total Biaya		
8,640	1	\$ 18,750.00	\$ 3,888.00	\$ 22,638.00	\$ 25,326.12	\$ 47,964.12
4,320	2	\$ 37,500.00	\$ 1,944.00	\$ 39,444.00	\$ 25,326.12	\$ 64,770.12
2,880	3	\$ 56,250.00	\$ 1,296.00	\$ 57,546.00	\$ 25,326.12	\$ 82,872.12
2,160	4	\$ 75,000.00	\$ 972.00	\$ 75,972.00	\$ 25,326.12	\$ 101,298.12
1,728	5	\$ 93,750.00	\$ 777.60	\$ 94,527.60	\$ 25,326.12	\$ 119,853.72
1,440	6	\$ 112,500.00	\$ 648.00	\$ 113,148.00	\$ 25,326.12	\$ 138,474.12
1,234	7	\$ 131,250.00	\$ 555.43	\$ 131,805.43	\$ 25,326.12	\$ 157,131.55
1,080	8	\$ 150,000.00	\$ 486.00	\$ 150,486.00	\$ 25,326.12	\$ 175,812.12
960	9	\$ 168,750.00	\$ 432.00	\$ 169,182.00	\$ 25,326.12	\$ 194,508.12
864	10	\$ 187,500.00	\$ 388.80	\$ 187,888.80	\$ 25,326.12	\$ 213,214.92

Pada model non-koordinasi, keputusan dilakukan secara independen dimana *retailer* menentukan sendiri jumlah pemesanan kepada pihak manufaktur. Kemudian, pihak manufaktur akan menentukan berapa kali set-up produksi akan dilakukan untuk satu kali pemesanan. Dari hasil perhitungan pada tabel 4.5 dapat dilihat bahwa manufaktur akan memproduksi pemesanan Q sebanyak satu kali produksi. Total biaya manufaktur sebesar \$ 22,638 dan total biaya rantai pasok sebesar \$ 47,964.

4.2.2 Model Koordinasi *Perishable Product*

Pencarian solusi penyelesaian model koordinasi mengikuti langkah-langkah sebagai berikut dimana perhitungan dilakukan dengan menggunakan *software* VBA. Algoritma model pada *software* VBA akan dijelaskan pada lampiran.

Langkah 1 :

Melakukan *generate random* untuk mengetahui jumlah permintaan selama T. Hasil *generate random* ditunjukkan pada tabel 4.2

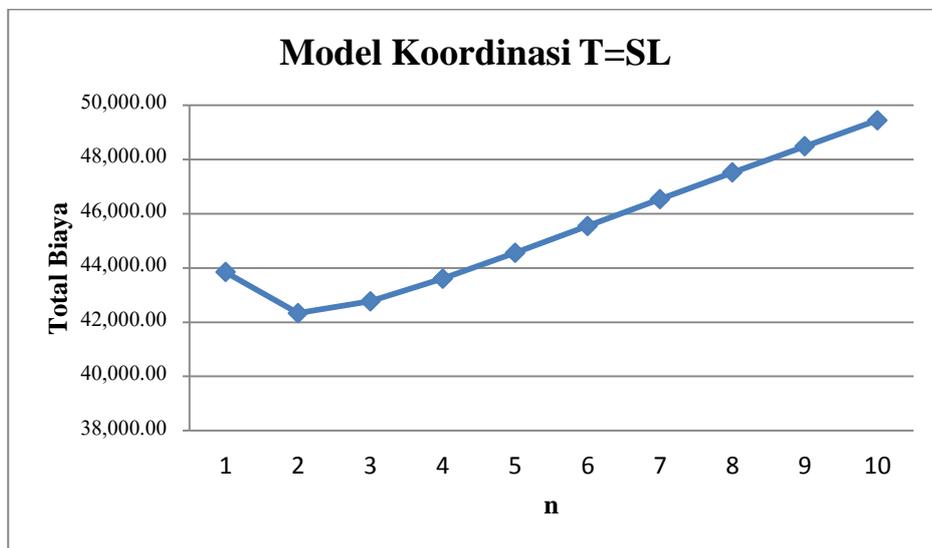
Langkah 2 :

Mencari nilai T* dengan menguji seluruh nilai T dimana asumsinya adalah nilai n = 1 menggunakan persamaan 3.38. Pengujian T* dimulai dari nilai T = S_L dimana nilai tersebut sebagai T inisial. Berikut adalah hasil perhitungan dimana nilai T = S_L ditunjukkan pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Perhitungan Total Biaya Model Koordinasi dengan T=S_L

Variabel Keputusan			Total Biaya Manufaktur		Total Biaya Retailer					Total Biaya
n	q	T	Biaya set-up	Biaya Simpan	Biaya Pesan	Biaya Simpan	Biaya Kirim	Biaya <i>Shortage</i>	Biaya <i>Overstock</i>	
1	25,920	0.048	\$ 6,250.00	\$ 2,916.00	\$ 833.33	\$ 13,945.44	\$ 416.67	\$ 3,860.84	\$ 15,625.00	\$ 43,847.28
2	12,960	0.048	\$ 6,250.00	\$ 6,156.00	\$ 833.33	\$ 7,176.81	\$ 833.33	\$ 5,460.06	\$ 15,625.00	\$ 42,334.53
3	8,640	0.048	\$ 6,250.00	\$ 7,236.00	\$ 833.33	\$ 4,888.94	\$ 1,250.00	\$ 6,687.18	\$ 15,625.00	\$ 42,770.45
4	6,480	0.048	\$ 6,250.00	\$ 7,776.00	\$ 833.33	\$ 3,732.72	\$ 1,666.67	\$ 7,721.69	\$ 15,625.00	\$ 43,605.41
5	5,184	0.048	\$ 6,250.00	\$ 8,100.00	\$ 833.33	\$ 3,032.70	\$ 2,083.33	\$ 8,633.11	\$ 15,625.00	\$ 44,557.48
6	4,320	0.048	\$ 6,250.00	\$ 8,316.00	\$ 833.33	\$ 2,562.30	\$ 2,500.00	\$ 9,457.10	\$ 15,625.00	\$ 45,543.73
7	3,703	0.048	\$ 6,250.00	\$ 8,470.29	\$ 833.33	\$ 2,223.89	\$ 2,916.67	\$ 10,214.83	\$ 15,625.00	\$ 46,534.01
8	3,240	0.048	\$ 6,250.00	\$ 8,586.00	\$ 833.33	\$ 1,968.41	\$ 3,333.33	\$ 10,920.12	\$ 15,625.00	\$ 47,516.19
9	2,880	0.048	\$ 6,250.00	\$ 8,676.00	\$ 833.33	\$ 1,768.48	\$ 3,750.00	\$ 11,582.53	\$ 15,625.00	\$ 48,485.34
10	2,592	0.048	\$ 6,250.00	\$ 8,748.00	\$ 833.33	\$ 1,607.62	\$ 4,166.67	\$ 12,209.06	\$ 15,625.00	\$ 49,439.68

Untuk membuktikan bahwa kombinasi nilai q dan n optimal akan ditunjukkan pada gambar 4.2 bahwa kurva berbentuk konveks.



Gambar 4.2 Grafik Total Biaya Koordinasi vs Lot Pengiriman T=S_L

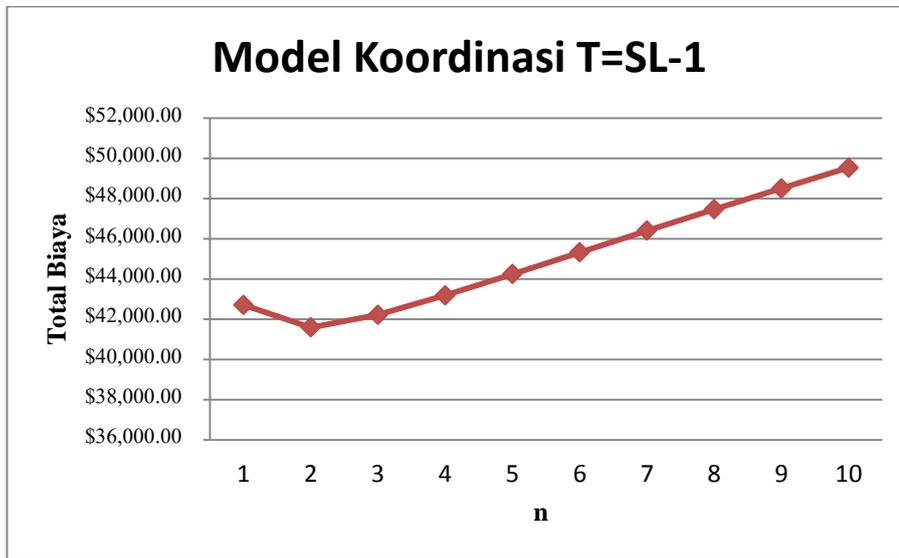
Langkah 3 :

Pengujian nilai T* dilanjutkan dengan menggunakan nilai T=S_L-1. Nilai T tersebut menjadi T'. Pengujian dilakukan hingga T= S_L- S_L+1. Hasil perhitungan ditunjukkan pada tabel 4.7.

Tabel 4.7 Perhitungan Total Biaya Model Koordinasi dengan $T = S_L - 1$

Variabel Keputusan			Total Biaya Manufaktur		Total Biaya Retailer					Total Biaya
n	q	T	Biaya set-up	Biaya Simpan	Biaya Pesan	Biaya Simpan	Biaya Kirim	Biaya Shortage	Biaya Overstock	
1	23,760	0.044	\$ 6,818.18	\$ 2,673.00	\$ 909.09	\$ 12,823.49	\$ 454.55	\$ 4,032.52	\$ 15,000.00	\$ 42,710.82
2	11,880	0.044	\$ 6,818.18	\$ 5,643.00	\$ 909.09	\$ 6,607.15	\$ 909.09	\$ 5,702.84	\$ 15,000.00	\$ 41,589.35
3	7,920	0.044	\$ 6,818.18	\$ 6,633.00	\$ 909.09	\$ 4,504.72	\$ 1,363.64	\$ 6,984.53	\$ 15,000.00	\$ 42,213.16
4	5,940	0.044	\$ 6,818.18	\$ 7,128.00	\$ 909.09	\$ 3,441.74	\$ 1,818.18	\$ 8,065.04	\$ 15,000.00	\$ 43,180.24
5	4,752	0.044	\$ 6,818.18	\$ 7,425.00	\$ 909.09	\$ 2,797.94	\$ 2,272.73	\$ 9,016.99	\$ 15,000.00	\$ 44,239.93
6	3,960	0.044	\$ 6,818.18	\$ 7,623.00	\$ 909.09	\$ 2,365.18	\$ 2,727.27	\$ 9,877.62	\$ 15,000.00	\$ 45,320.34
7	3,394	0.044	\$ 6,818.18	\$ 7,764.43	\$ 909.09	\$ 2,053.75	\$ 3,181.82	\$ 10,669.04	\$ 15,000.00	\$ 46,396.31
8	2,970	0.044	\$ 6,818.18	\$ 7,870.50	\$ 909.09	\$ 1,818.57	\$ 3,636.36	\$ 11,405.69	\$ 15,000.00	\$ 47,458.40
9	2,640	0.044	\$ 6,818.18	\$ 7,953.00	\$ 909.09	\$ 1,634.50	\$ 4,090.91	\$ 12,097.56	\$ 15,000.00	\$ 48,503.24
10	2,376	0.044	\$ 6,818.18	\$ 8,019.00	\$ 909.09	\$ 1,486.36	\$ 4,545.45	\$ 12,751.95	\$ 15,000.00	\$ 49,530.03

Hasil perhitungan pada tabel 4.7 dapat digambarkan pada kurva seperti pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik Total Biaya Koordinasi vs Lot Pengiriman $T = S_L - 1$

Langkah 4 :

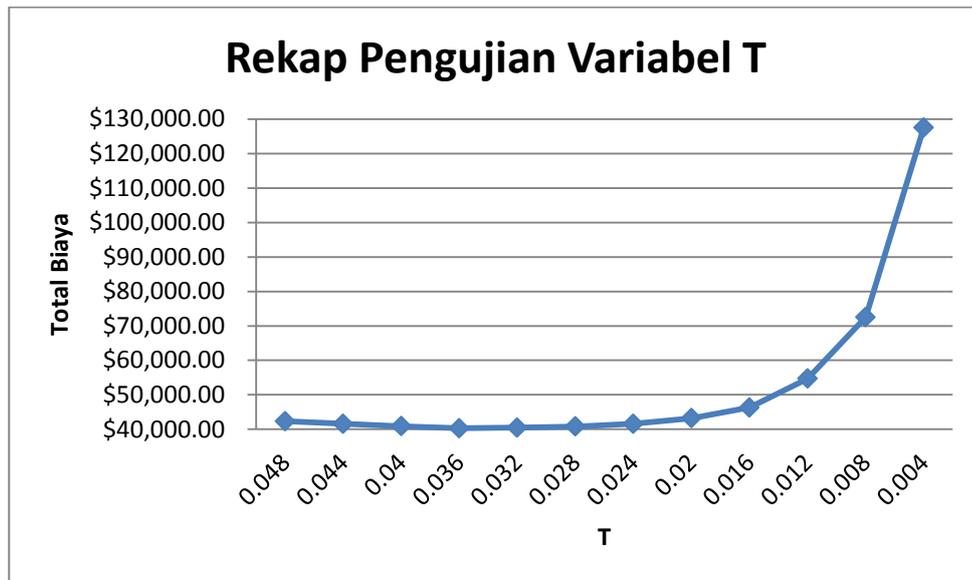
Ulangi langkah 3 dan pengujian berhenti dilakukan saat $TC(T') \geq TC(T' + 1)$.

Pada tabel 4.8 akan ditampilkan hasil dari pengujian seluruh nilai T sebagai berikut :

Tabel 4.8 Rekap Perhitungan Total Biaya pada Pengujian variabel T

Variabel Keputusan			Total Biaya Manufaktur		Total Biaya Retailer					Total Biaya
n	q	T	Biaya set-up	Biaya Simpan	Biaya Pesan	Biaya Simpan	Biaya Kirim	Biaya Shortage	Biaya Overstock	
2	12960	0.048	\$ 6,250.00	\$ 6,156.00	\$ 833.33	\$ 7,176.81	\$ 833.33	\$ 5,460.06	\$ 15,625.00	\$ 42,334.53
2	11880	0.044	\$ 6,818.18	\$ 5,643.00	\$ 909.09	\$ 6,607.15	\$ 909.09	\$ 5,702.84	\$ 15,000.00	\$ 41,589.35
2	10800	0.04	\$ 7,500.00	\$ 5,130.00	\$ 1,000.00	\$ 6,036.10	\$ 1,000.00	\$ 5,981.19	\$ 14,250.00	\$ 40,897.29
2	9720	0.036	\$ 8,333.33	\$ 4,617.00	\$ 1,111.11	\$ 5,463.46	\$ 1,111.11	\$ 6,304.73	\$ 13,333.33	\$ 40,274.08
1	17280	0.032	\$ 9,375.00	\$ 1,944.00	\$ 1,250.00	\$ 9,444.61	\$ 625.00	\$ 4,728.55	\$ 13,125.00	\$ 40,492.16
1	15120	0.028	\$ 10,714.29	\$ 1,701.00	\$ 1,428.57	\$ 8,312.64	\$ 714.29	\$ 5,055.03	\$ 12,857.14	\$ 40,782.96
1	12960	0.024	\$ 12,500.00	\$ 1,458.00	\$ 1,666.67	\$ 7,176.81	\$ 833.33	\$ 5,460.06	\$ 12,500.00	\$ 41,594.87
1	10800	0.02	\$ 15,000.00	\$ 1,215.00	\$ 2,000.00	\$ 6,036.10	\$ 1,000.00	\$ 5,981.19	\$ 12,000.00	\$ 43,232.29
1	8640	0.016	\$ 18,750.00	\$ 972.00	\$ 2,500.00	\$ 4,888.94	\$ 1,250.00	\$ 6,687.18	\$ 11,250.00	\$ 46,298.12
1	6480	0.012	\$ 25,000.00	\$ 729.00	\$ 3,333.33	\$ 3,732.72	\$ 1,666.67	\$ 7,721.69	\$ 12,500.00	\$ 54,683.41
1	4320	0.008	\$ 37,500.00	\$ 486.00	\$ 5,000.00	\$ 2,562.30	\$ 2,500.00	\$ 9,457.10	\$ 15,000.00	\$ 72,505.40
1	2160	0.004	\$ 75,000.00	\$ 243.00	\$ 10,000.00	\$ 1,364.47	\$ 5,000.00	\$ 13,374.35	\$ 22,500.00	\$ 127,481.83

Pada gambar 4.4 terlihat bahwa titik terendah diperoleh saat $T = 0.036$ (hari ke-9). Saat pengujian dilakukan untuk nilai $T = 0.032$ (hari ke-8), total biaya lebih besar dibandingkan saat $T = 0.036$. Pengujian dilakukan untuk seluruh nilai T untuk membuktikan bahwa T^* adalah global optimal.



Gambar 4.4 Grafik Rekap Pengujian Seluruh Variabel T

Langkah 5 :

Setelah diperoleh T^* lalu dilanjutkan dengan mencari kombinasi nilai n^* dan q^* dengan menggunakan persamaan 3.38.

Langkah 6 :

Jika nilai $TC(q, T^* S_L) \geq TC(q, T^* = S_L - 1)$ maka perhitungan dihentikan, jika belum ulangi langkah 5 hingga diperoleh nilai $TC(q, T^* = S_L) \geq TC(q, T^* = S_L - 1)$. Dari gambar 4.8 terbukti bahwa telah diperoleh nilai T optimal yaitu pada $T=S_L-4$ atau pada hari ke-9.

Dari hasil perhitungan yang ditunjukkan pada tabel 4.8 dan pengujian numerik untuk seluruh T yang ditunjukkan pada gambar 4.4 diperoleh kesimpulan bahwa nilai q^* sebesar 9720 unit dikirimkan sebanyak dua kali dengan waktu replenishment (T^*) sebesar 0,036. Total biaya rantai pasok sebesar \$ 40,274.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Bab V

Analisa dan Interpretasi Hasil

Pada bab ini akan dianalisa hasil dari pengujian numerik serta akan dilakukan pengujian model dengan mengubah beberapa parameter model untuk mengetahui karakteristik dari model. Parameter yang diubah diantaranya biaya set-up dan penyimpanan pada manufaktur dan biaya pemesanan, penyimpanan, pengiriman, *shortage*, *overstock* pada *retailer*. Selain itu dilakukan perbandingan model koordinasi *perishable product* dengan model non-koordinasi *perishable product* dan model koordinasi *non-perishable product*.

5.1 Analisa Pengujian Numerik pada Model Koordinasi *Perishable Product*

Karakter utama pada *perishable product* adalah umur produk yang terbatas sehingga diperlukan perencanaan inventori yang tepat agar dapat meminimasi total biaya. Sisa produk yang tersisa pada masa akhir umur produk harus dibuang. Adanya koordinasi dapat meminimasi total biaya pada rantai pasok jika dibandingkan ketika pengambilan keputusan dilakukan secara independen. Pada model inventori *perishable product* dengan menerapkan kebijakan LIFO, penentuan waktu *replenishment* yang tepat menjadi suatu hal yang sangat penting. Hal ini disebabkan karena sisa produk dibuang bukan saat masa akhir hidup produk, namun ada kemungkinan produk dibuang sebelum masa akhir hidup produk, yaitu saat *replenishment* terjadi.

Perhitungan dilakukan dengan menguji seluruh nilai T untuk memperoleh T* yang menghasilkan total biaya yang paling minimal. Pada tiap nilai T yang diuji, dicari kombinasi nilai n* dan q*. Hasil pengujian nilai T ditunjukkan pada tabel 4.8. Pada tabel 4.8 dapat dilihat bahwa nilai T* diperoleh saat mencapai 0.036, dengan kata lain *replenishment* terjadi saat umur produk mencapai hari ke-9. Hal ini dipengaruhi oleh adanya ekspektasi *overstock* yang terjadi pada setiap *replenishment* terjadi. Semakin panjang waktu *replenishment*, kemungkinan munculnya ekspektasi *overstock* juga semakin besar karena nilai Q juga semakin besar. Namun dengan waktu *replenishment* semakin pendek akan meningkatkan biaya set-up dan pemesanan serta ekspektasi *shortage* karena nilai Q semakin kecil. Selain itu, pada tabel 4.8 ditunjukkan bahwa nilai n* adalah dua, artinya

pengiriman optimal untuk satu kali pemesanan adalah sebanyak dua kali dengan ukuran lot tiap pengiriman (q^*) sebanyak 9,720 unit.

Nilai Q yang semakin kecil menyebabkan terjadinya peningkatan frekuensi set-up produksi dan pemesanan. Hal ini dapat dilihat pada tabel 4.8 bahwa biaya set-up dan pemesanan semakin meningkat saat nilai T semakin turun. Biaya pengiriman berbanding lurus dengan kenaikan jumlah pengiriman yang terjadi untuk satu kali pemesanan. Biaya simpan manufaktur dan *retailer* berbanding lurus dengan kenaikan ukuran lot pengiriman. Sedangkan biaya *shortage* berbanding terbalik dengan kenaikan ukuran lot pengiriman karena semakin besar jumlah persediaan maka kemungkinan terjadi *shortage* semakin kecil.

5.2 Pengaruh Perubahan Biaya pada Manufaktur

Pada bagian ini akan dilakukan uji parameter terhadap biaya yang muncul pada manufaktur.

5.2.1 Pengaruh Perubahan Biaya Set-up

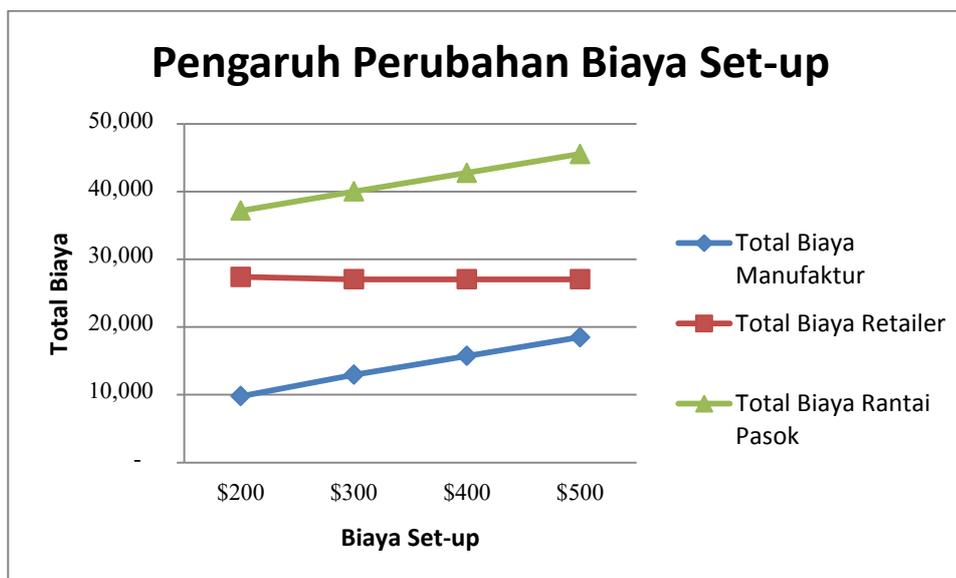
Model akan dibandingkan dengan perubahan nilai parameter biaya set-up pada manufaktur untuk mengetahui perilaku model terhadap perubahan parameter tersebut. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap variabel keputusan, yaitu ukuran lot pengiriman yang optimal, berapa kali pengiriman yang diterima *retailer*, kapan waktu *replenishment* yang tepat serta pengaruhnya terhadap total biaya sistem. Solusi yang dihasilkan model untuk berbagai nilai parameter biaya *set-up* manufaktur dapat dilihat pada tabel 5.1.

Perubahan biaya set-up akan berbanding lurus dengan total biaya pada rantai pasok. Hal ini dapat dilihat pada gambar 5.1 bahwa semakin meningkat biaya set-up maka total biaya pun meningkat. Perubahan biaya set-up direspon dengan merubah frekuensi set-up produksi yang dilakukan oleh pihak manufaktur. Saat biaya set-up turun, maka kebijakan yang diambil adalah melakukan set-up lebih banyak untuk mengurangi biaya penyimpanan. Seperti terlihat pada tabel 5.1, saat biaya set-up turun menjadi \$200/ set up, maka nilai T^* berubah menjadi 0.024 yang artinya set-up akan sering dilakukan. Pengiriman dilakukan sekali

untuk satu kali pemesanan dengan tujuan untuk mengurangi biaya penyimpanan pada manufaktur.

Tabel 5.1 Perhitungan Total Biaya terhadap Perubahan Biaya Set-Up Manufaktur

		Biaya Set-up			
		\$ 200	\$ 300	\$ 400	\$ 500
Var. Keputusan	n	1	2	2	2
	q	12,960	9,720	9,720	9,720
	T	0.024	0.036	0.036	0.036
TC Manufaktur	Biaya Set-up	8,333	8,333	11,111	13,889
	Biaya Simpan	1,458	4,617	4,617	4,617
	Total Biaya	9,791	12,950	15,728	18,506
TC Retailer	Biaya Pesan	1,667	1,111	1,111	1,111
	Biaya Simpan	7,177	5,463	5,463	5,463
	Biaya Kirim	833	1,111	1,111	1,111
	Biaya <i>Shortage</i>	5,229	6,037	6,037	6,037
	Biaya <i>Overstock</i>	12,500	13,333	13,333	13,333
	Total Biaya	27,405	27,056	27,056	27,056
Total Biaya Rantai Pasok		37,197	40,006	42,784	45,562



Gambar 5.1 Grafik Pengaruh Perubahan Biaya Set-up

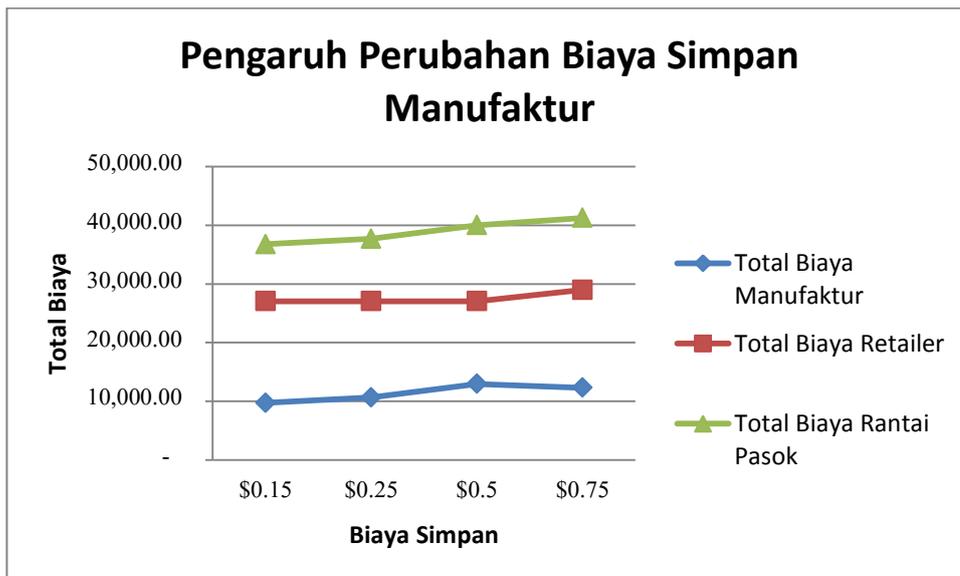
5.2.2 Pengaruh Biaya Penyimpanan

Untuk melihat pengaruh perubahan biaya penyimpanan manufaktur terhadap perilaku model maka ditetapkan nilai parameter biaya penyimpanan pada manufaktur yaitu \$0.15, \$0.30, \$0.5, \$0.75. Biaya penyimpanan dibuat berbeda untuk mengetahui pengaruhnya terhadap jumlah pengiriman yang optimal, berapa

kali pengiriman yang diterima retail serta pengaruhnya terhadap total biaya sistem. Namun, perubahan biaya penyimpanan pada manufaktur tidak boleh melebihi penyimpanan pada *retailer* karena karakteristik sistem pada penelitian ini yaitu biaya penyimpanan pada *retailer* lebih tinggi dibandingkan dengan biaya penyimpanan pada manufaktur. Solusi yang dihasilkan model untuk berbagai nilai parameter biaya penyimpanan dapat dilihat pada tabel 5.2.

Tabel 5.2 Perhitungan Total Biaya terhadap Perubahan Biaya Simpan Manufaktur

		Biaya Simpan			
		\$ 0.15	\$ 0.25	\$ 0.5	\$ 0.75
Var. Keputusan	n	2	2	2	1
	q	9720	9720	9720	17280
	T	0.036	0.036	0.036	0.032
TC Manufaktur	Biaya Set-up	8,333.33	8,333.33	8,333.33	9,375.00
	Biaya Simpan	1,385.10	2,308.50	4,617.00	2,916.00
	Total Biaya	9,718.43	10,641.83	12,950.33	12,291.00
TC Retailer	Biaya Pesan	1,111.11	1,111.11	1,111.11	1,250.00
	Biaya Simpan	5,463.46	5,463.46	5,463.46	9,444.61
	Biaya Kirim	1,111.11	1,111.11	1,111.11	625.00
	Biaya <i>Shortage</i>	6,037.38	6,037.38	6,037.38	4,528.04
	Biaya <i>Overstock</i>	13,333.00	13,333.00	13,333.00	13,125.00
	Total Biaya	27,056.06	27,056.06	27,056.06	28,972.64
Total Biaya Rantai Pasok		36,774.49	37,697.89	40,006.39	41,263.64



Gambar 5.2 Grafik Pengaruh Perubahan Biaya Simpan Manufaktur

Perubahan biaya penyimpanan pada manufaktur berbanding lurus dengan total biaya pada rantai pasok. Kenaikan biaya penyimpanan direspon dengan penurunan jumlah pengiriman. Hal ini dilakukan agar pihak manufaktur tidak menyimpan produk di gudang penyimpanan manufaktur tetapi langsung mengirimkan pada pihak *retailer*. Pada gambar 5.2 terlihat bahwa pada saat biaya penyimpanan manufaktur dinaikkan menjadi \$0.75 per unit/ tahun menyebabkan penurunan jumlah pengiriman ($n = 1$), dimana saat kondisi normal yaitu biaya penyimpanan sebesar \$0.5 per unit/ tahun pengiriman dilakukan sebanyak dua kali ($n = 2$). Hal ini dilakukan agar biaya simpan pada manufaktur menurun, namun menyebabkan peningkatan biaya penyimpanan pada *retailer* meningkat. Selain itu, nilai T^* juga berubah lebih rendah karena manufaktur lebih memilih untuk melakukan set-up lebih banyak agar jumlah produksi menurun sehingga persediaan yang ada di gudang manufaktur pun juga menurun.

5.3 Pengaruh Perubahan Biaya Retailer

Pada bagian ini akan dilakukan uji parameter terhadap biaya yang muncul pada manufaktur.

5.3.1 Pengaruh Perubahan Biaya Pemesanan

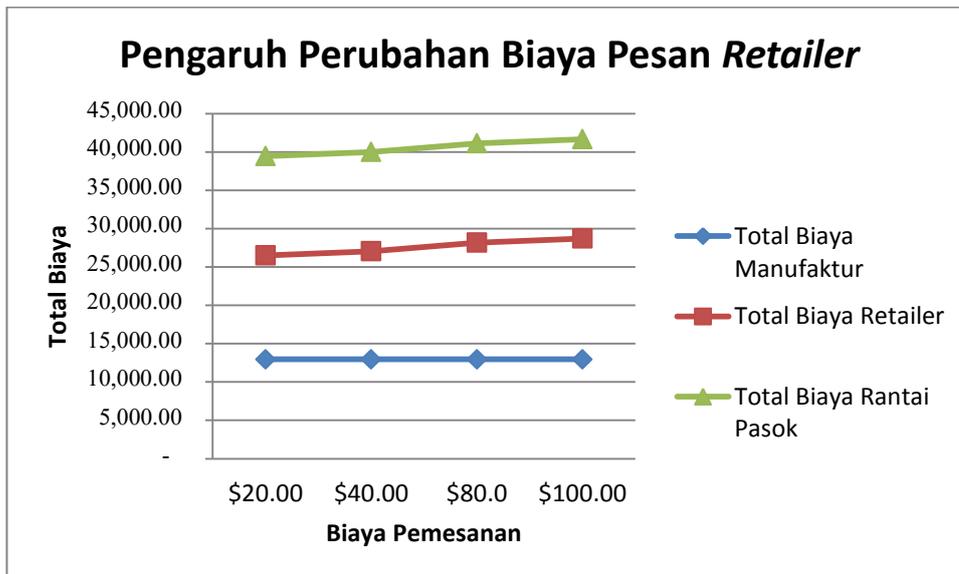
Untuk melihat pengaruh perubahan biaya pemesanan *retailer* terhadap perilaku model maka ditetapkan nilai parameter biaya pemesanan pada *retailer* yaitu \$20, \$40, \$80, \$100. Biaya pemesanan dibuat berbeda untuk mengetahui pengaruhnya terhadap jumlah pengiriman yang optimal, berapa kali pengiriman yang diterima retail serta pengaruhnya terhadap total biaya sistem. Solusi yang dihasilkan model untuk berbagai nilai parameter biaya pemesanan dapat dilihat pada tabel 5.3.

Sama seperti pada perubahan parameter biaya set-up pada manufaktur, perubahan parameter biaya pemesanan *retailer* pun juga berbanding lurus dengan perubahan total biaya pada rantai pasok. Hal ini seperti terlihat pada gambar 5.3 bahwa peningkatan biaya pemesanan akan meningkatkan total biaya. Total biaya yang meningkat hanya terjadi pada *retailer* karena kenaikan biaya pemesanan tidak merubah variabel keputusan. Penyebabnya adalah besarnya perubahan biaya

pemesanan tidak terlalu berdampak signifikan terhadap sistem. Perubahan biaya pemesanan seharusnya direspon dengan merubah frekuensi pemesanan. Jika biaya pemesanan turun, maka kebijakan yang diambil adalah meningkatkan frekuensi pemesanan untuk mengurangi biaya penyimpanan. Namun, jika penurunan tidak terlalu signifikan maka tidak terjadi perubahan pada frekuensi pemesanan.

Tabel 5.3 Perhitungan Total Biaya terhadap Perubahan Biaya Pemesanan *Retailer*

		Biaya Pesan			
		\$ 20.00	\$ 40.00	\$ 80.0	\$ 100.00
Var. Keputusan	n	2	2	2	2
	q	9,720	9,720	9,720	9,720
	T	0.036	0.036	0.036	0.036
TC Manufaktur	Biaya Set-up	8,333.33	8,333.33	8,333.33	8,333.33
	Biaya Simpan	4,617.00	4,617.00	4,617.00	4,617.00
	Total Biaya	12,950.33	12,950.33	12,950.33	12,950.33
TC Retailer	Biaya Pesan	555.56	1,111.11	2,222.22	2,777.78
	Biaya Simpan	5,463.46	5,463.46	5,463.46	5,463.46
	Biaya Kirim	1,111.11	1,111.11	1,111.11	1,111.11
	Biaya <i>Shortage</i>	6,037.38	6,037.38	6,037.38	6,037.38
	Biaya <i>Overstock</i>	13,333.00	13,333.00	13,333.00	13,333.00
	Total Biaya	26,500.51	27,056.06	28,167.17	28,722.73
Total Biaya Rantai Pasok		39,450.84	40,006.39	41,117.51	41,673.06



Gambar 5.3 Grafik Pengaruh Perubahan Biaya Pesan *Retailer*

5.3.2 Pengaruh Perubahan Biaya Simpan

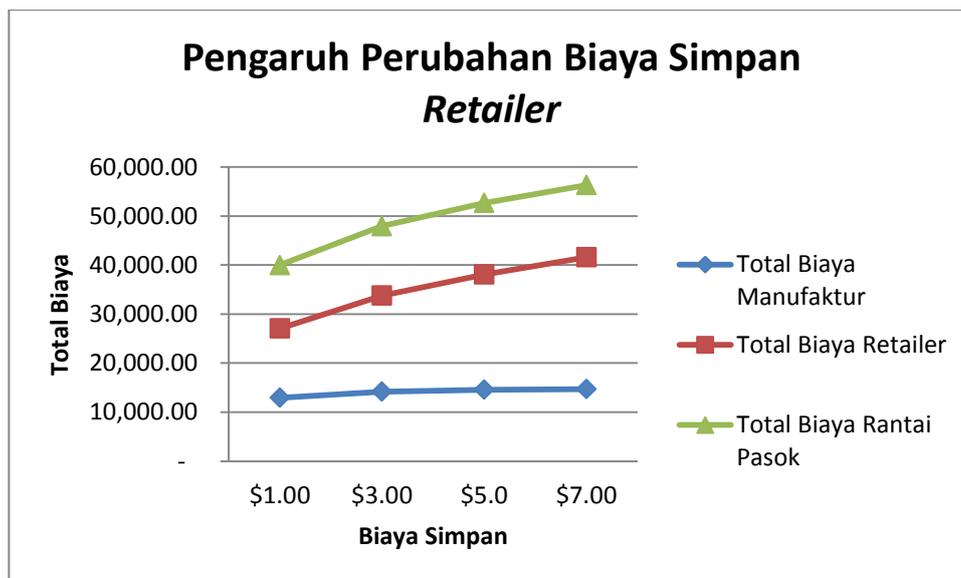
Untuk melihat pengaruh perubahan biaya penyimpanan *retailer* terhadap perilaku model maka ditetapkan nilai parameter biaya penyimpanan pada *retailer* yaitu \$1.00, \$3.00, \$5.00, \$7.00. Biaya penyimpanan dibuat berbeda untuk mengetahui pengaruhnya terhadap jumlah pengiriman yang optimal, berapa kali pengiriman yang diterima *retailer* serta pengaruhnya terhadap total biaya sistem. Solusi yang dihasilkan model untuk berbagai nilai parameter biaya penyimpanan dapat dilihat pada tabel 5.4.

Tabel 5.4 Perhitungan Total Biaya terhadap Perubahan Biaya Simpan Retailer

		Biaya Simpan			
		\$ 1.00	\$ 3.00	\$ 5.0	\$ 7.00
Var. Keputusan	n	2	4	6	7
	q	9,720	4,860	3,240	2,778
	T	0.036	0.036	0.036	0.036
TC Manufaktur	Biaya Set-up	8,333.33	8,333.33	8,333.33	8,330.76
	Biaya Simpan	4,617.00	5,832.00	6,237.00	6,354.68
	Total Biaya	12,950.33	14,165.33	14,570.33	14,685.44
TC Retailer	Biaya Pesan	1,111.11	1,111.11	1,111.11	1,110.77
	Biaya Simpan	5,463.46	8,570.12	9,842.03	11,981.27
	Biaya Kirim	1,111.11	2,222.22	3,333.33	3,887.69
	Biaya <i>Shortage</i>	6,037.38	8,538.15	10,457.06	11,293.17
	Biaya <i>Overstock</i>	13,333.00	13,333.00	13,333.00	13,333.00
	Total Biaya	27,056.06	33,774.61	38,076.53	41,605.90
Total Biaya Rantai Pasok		40,006.39	47,939.94	52,646.86	56,291.33

Perubahan parameter biaya penyimpanan pada *retailer* mempunyai dampak signifikan terhadap sistem. Seperti terlihat pada tabel 5.4 bahwa perubahan biaya penyimpanan menyebabkan perubahan variabel keputusan n dan q. Perubahan biaya penyimpanan direspon dengan meningkatkan jumlah pengiriman. Hal ini dilakukan agar jumlah produk yang disimpan pada gudang penyimpanan lebih sedikit sehingga biaya penyimpanan pun akan menurun. Namun, biaya penyimpanan pada manufaktur akan meningkat karena jumlah yang dikirim pada *retailer* lebih sedikit sehingga jumlah persediaan pada manufaktur menjadi lebih tinggi. Peningkatan total biaya yang terjadi pada manufaktur pun tidak signifikan karena biaya penyimpanan per unit pada manufaktur lebih rendah dari *retailer*. Hal ini seperti terlihat pada gambar 5.4 bahwa peningkatan total biaya pada manufaktur tidak terlalu besar. Sedangkan pihak *retailer* akan mengalami

peningkatan total biaya yang signifikan jika terjadi peningkatan biaya penyimpanan. Dampak lain dari perubahan biaya penyimpanan *retailer* adalah meningkatnya jumlah *shortage*. Jumlah persediaan yang sedikit menyebabkan kemungkinan muncul *shortage* lebih besar. Hal ini juga yang menyebabkan terjadinya peningkatan total biaya pada *retailer*.



Gambar 5.4 Grafik Pengaruh Perubahan Biaya Simpan *Retailer*

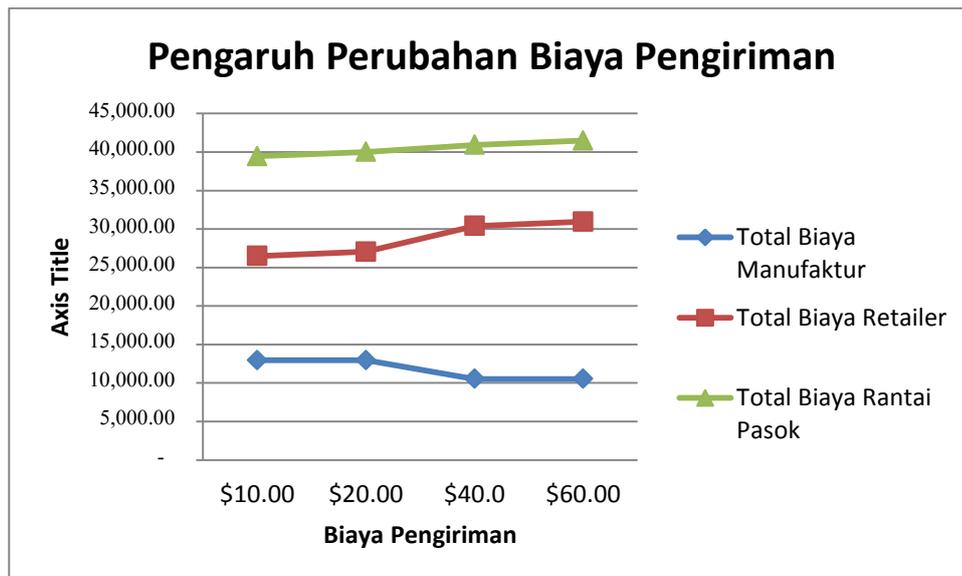
5.3.3 Pengaruh Perubahan Biaya Pengiriman

Untuk melihat pengaruh perubahan biaya pengiriman *retailer* terhadap perilaku model dilakukan uji parameter terhadap biaya pengiriman. Biaya pengiriman dibuat berbeda untuk mengetahui pengaruhnya terhadap jumlah pengiriman yang optimal, berapa kali pengiriman yang diterima retail serta pengaruhnya terhadap total biaya sistem. Solusi yang dihasilkan model untuk berbagai nilai parameter biaya pengiriman dapat dilihat pada tabel 5.5.

Tabel 5.5 Perhitungan Total Biaya terhadap Perubahan Biaya Pengiriman Retailer

		Biaya Pengiriman			
		\$ 10.00	\$ 20.00	\$ 40.0	\$ 60.00
Var. Keputusan	n	2	2	1	1
	q	9,720	9,720	19,440	19,440
	T	0.036	0.036	0.036	0.036
TC Manufaktur	Biaya Set-up	8,333.33	8,333.33	8,333.33	8,333.33
	Biaya Simpan	4,617.00	4,617.00	2,187.00	2,187.00
	Total Biaya	12,950.33	12,950.33	10,520.33	10,520.33
TC Retailer	Biaya Pesan	1,111.11	1,111.11	1,111.11	1,111.11
	Biaya Simpan	5,463.46	5,463.46	10,573.41	10,573.41
	Biaya Kirim	555.56	1,111.11	1,111.11	1,666.67
	Biaya <i>Shortage</i>	6,037.38	6,037.38	4,269.07	4,269.07
	Biaya <i>Overstock</i>	13,333.00	13,333.00	13,333.00	13,333.00
	Total Biaya	26,500.51	27,056.06	30,397.71	30,953.27
Total Biaya Rantai Pasok		39,450.84	40,006.39	40,918.05	41,473.60

Pada tabel 5.5 terlihat bahwa biaya pengiriman berpengaruh saat nilainya dinaikkan. Kenaikan biaya pengiriman akan direspon oleh berkurangnya jumlah pengiriman dari dua kali menjadi satu kali. Dampak dari berkurangnya jumlah pengiriman menyebabkan biaya simpan pada *retailer* meningkat. Hal ini dapat dilihat pada gambar 5.5 bahwa pada saat biaya pengiriman mencapai \$40 dan \$60 menyebabkan menurunnya total biaya pada manufaktur karena menurunnya biaya penyimpanan pada manufaktur karena pengiriman hanya dilakukan sekali. Namun, hal ini berdampak pada peningkatan total biaya pada *retailer*.



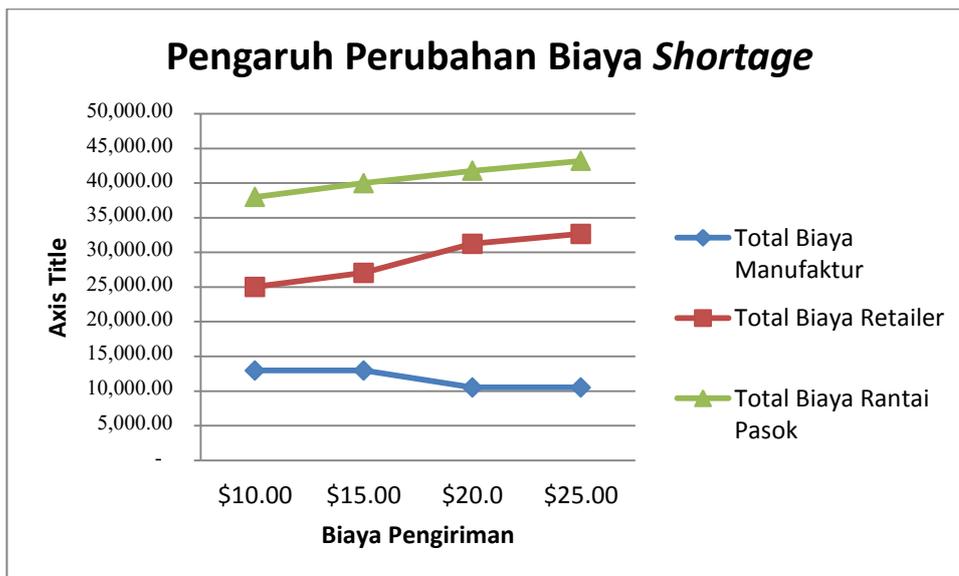
Gambar 5.5 Grafik Pengaruh Perubahan Biaya Pesan *Retailer*

5.3.4 Pengaruh Perubahan Biaya *Shortage*

Untuk melihat pengaruh perubahan biaya *shortage* terhadap perilaku model dilakukan uji parameter terhadap biaya *shortage*. Biaya *shortage* dibuat berbeda untuk mengetahui pengaruhnya terhadap jumlah pengiriman yang optimal, berapa kali pengiriman yang diterima retail serta pengaruhnya terhadap total biaya sistem. Solusi yang dihasilkan model untuk berbagai nilai parameter biaya *shortage* dapat dilihat pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Perhitungan Total Biaya terhadap Perubahan Biaya *Shortage Retailer*

		Biaya <i>Shortage</i>			
		\$ 10.00	\$ 15.00	\$ 20.0	\$ 25.00
Var. Keputusan	n	2	2	1	1
	q	9,720	9,720	19,440	19,440
	T	0.036	0.036	0.036	0.036
TC Manufaktur	Biaya Set-up	8,333.33	8,333.33	8,333.33	8,333.33
	Biaya Simpan	4,617.00	4,617.00	2,187.00	2,187.00
	Total Biaya	12,950.33	12,950.33	10,520.33	10,520.33
TC Retailer	Biaya Pesan	1,111.11	1,111.11	1,111.11	1,111.11
	Biaya Simpan	5,463.46	5,463.46	10,573.41	10,573.41
	Biaya Kirim	1,111.11	1,111.11	555.56	555.56
	Biaya <i>Shortage</i>	4,024.92	6,037.38	5,692.10	7,115.12
	Biaya <i>Overstock</i>	13,333.00	13,333.00	13,333.00	13,333.00
	Total Biaya	25,043.60	27,056.06	31,265.18	32,688.21
Total Biaya Rantai Pasok		37,993.93	40,006.39	41,785.51	43,208.54



Gambar 5.6 Grafik Pengaruh Perubahan Biaya *Shortage Retailer*

Perubahan biaya *shortage* akan direspon dengan perubahan variabel keputusan n dan q . Seperti terlihat pada tabel 5.6 bahwa peningkatan biaya *shortage* per unit menyebabkan nilai q meningkat dan jumlah pengiriman menurun. Jumlah persediaan yang sedikit menyebabkan risiko terjadinya *shortage* lebih besar. Oleh karena itu, jumlah pengiriman menurun sehingga jumlah persediaan pada *retailer* semakin besar. Namun, saat biaya *shortage* per unit tinggi menyebabkan *retailer* menambah ukuran lot pengiriman untuk meminimasi terjadinya *shortage*. Hal ini menyebabkan total biaya pada manufaktur berkurang seperti yang terlihat pada gambar 5.6. Hal ini disebabkan oleh berkurangnya jumlah penyimpanan pada manufaktur karena *retailer* menginginkan pengiriman hanya dilakukan sekali. Di sisi lain hal ini menyebabkan peningkatan total biaya pada *retailer* dengan konsekuensi *retailer* meningkatkan jumlah persediaan untuk mengurangi adanya ekspektasi *shortage*.

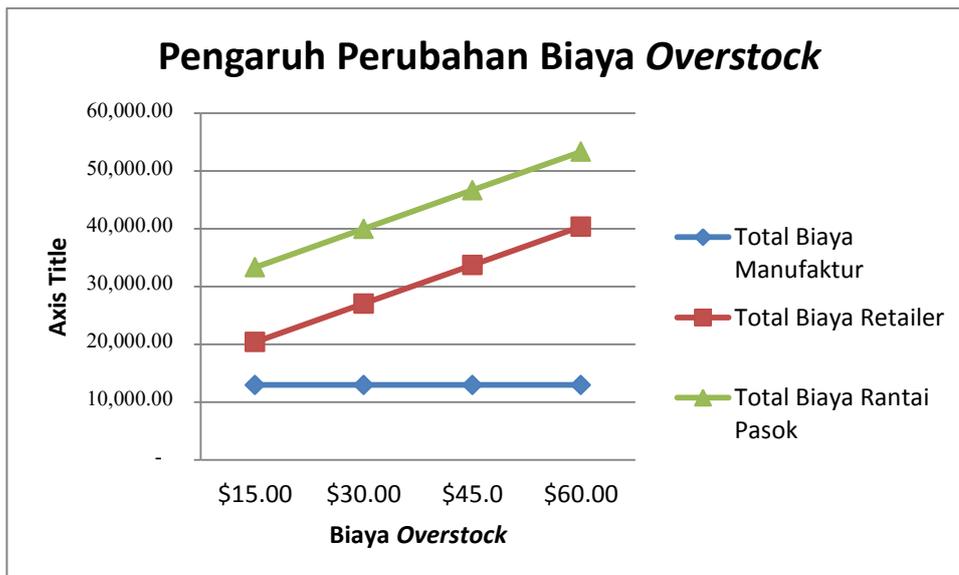
5.3.5 Pengaruh Perubahan Biaya *Overstock*

Untuk melihat pengaruh perubahan biaya *overstock* terhadap perilaku model dilakukan uji parameter terhadap biaya *overstock*. Biaya *overstock* dibuat berbeda untuk mengetahui pengaruhnya terhadap jumlah pengiriman yang optimal, berapa kali pengiriman yang diterima retail serta pengaruhnya terhadap total biaya sistem. Solusi yang dihasilkan model untuk berbagai nilai parameter biaya *overstock* dapat dilihat pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Perhitungan Total Biaya terhadap Perubahan Biaya *Overstock Retailer*

		Biaya <i>Overstock</i>			
		\$ 15.00	\$ 30.00	\$ 45.0	\$ 60.00
Var. Keputusan	n	2	2	2	2
	q	9,720	9,720	9,720	9,720
	T	0.036	0.036	0.036	0.036
TC Manufaktur	Biaya Set-up	8,333.33	8,333.33	8,333.33	8,333.33
	Biaya Simpan	4,617.00	4,617.00	4,617.00	4,617.00
	Total Biaya	12,950.33	12,950.33	12,950.33	12,950.33
TC Retailer	Biaya Pesan	1,111.11	1,111.11	1,111.11	1,111.11
	Biaya Simpan	5,463.46	5,463.46	5,463.46	5,463.46
	Biaya Kirim	1,111.11	1,111.11	1,111.11	1,111.11
	Biaya <i>Shortage</i>	6,037.38	6,037.38	6,037.38	6,037.38
	Biaya <i>Overstock</i>	6,667.00	13,333.00	20,000.00	26,667.00
	Total Biaya	20,390.06	27,056.06	33,723.06	40,390.06
Total Biaya Rantai Pasok		33,340.39	40,006.39	46,673.39	53,340.39

Perubahan biaya *overstock* direspon oleh perubahan variabel keputusan T , karena *overstock* hanya terjadi setiap siklus T . Semakin besar biaya *overstock* maka panjang nilai T^* akan semakin pendek. Namun tidak berarti bahwa nilai T yang paling pendek akan menyebabkan nilai ekspektasi *overstock* yang rendah karena jumlah ekspektasi per siklus yang rendah tidak selalu menyebabkan jumlah ekspektasi *overstock* yang rendah pula untuk satu periode. Pada tabel 5.7 biaya *overstock* tidak mempengaruhi variabel T karena menurunnya nilai T mungkin dapat menurunkan nilai ekspektasi *overstock*, namun hal ini dapat menyebabkan meningkatnya biaya yang lain. Pada gambar 5.7 terlihat bahwa perubahan biaya *overstock* berdampak signifikan terhadap peningkatan total biaya pada *retailer* sedangkan total biaya manufaktur tetap. Hal ini disebabkan tidak terjadi perubahan variabel keputusan seiring dengan perubahan biaya *overstock*.



Gambar 5.7 Grafik Pengaruh Perubahan Biaya *Overstock Retailer*

5.4 Perbandingan Model Koordinasi dan Model Non-Koordinasi *Perishable Product*

Pada sub bab ini akan dilakukan analisa hasil perhitungan pada model koordinasi *perishable product* lalu dibandingkan dengan model non-koordinasi. Hasil perbandingan antara model koordinasi dan non-koordinasi ditunjukkan pada tabel 5.8.

Tabel 5.8 Perbandingan Hasil Model Koordinasi dan Non-Koordinasi *Perishable Product*

Total Biaya Koordinasi Perishable Product						Total Biaya Non-Koordinasi Perishable Product					
Variabel Keputusan			TC	TC Retailer	Total Biaya	Variabel Keputusan			TC Manufaktur	TC Retailer	Total Biaya
n	q	T	Manufaktur			Q	m	T			
2	12960	0.048	\$ 12,406.00	\$29,928.53	\$42,334.53	8,640	1	0.016	\$ 22,638.00	\$25,326.12	\$ 47,964.12
2	11880	0.044	\$ 12,461.18	\$29,128.17	\$41,589.35	4,320	2	0.016	\$ 39,444.00	\$25,326.12	\$ 64,770.12
2	10800	0.04	\$ 12,630.00	\$28,267.29	\$40,897.29	2,880	3	0.016	\$ 57,546.00	\$25,326.12	\$ 82,872.12
2	9720	0.036	\$ 12,950.33	\$27,323.74	\$40,274.08	2,160	4	0.016	\$ 75,972.00	\$25,326.12	\$101,298.12
1	17280	0.032	\$ 11,319.00	\$29,173.16	\$40,492.16	1,728	5	0.016	\$ 94,527.60	\$25,326.12	\$119,853.72
1	15120	0.028	\$ 12,415.29	\$28,367.67	\$40,782.96	1,440	6	0.016	\$ 113,148.00	\$25,326.12	\$138,474.12
1	12960	0.024	\$ 13,958.00	\$27,636.87	\$41,594.87	1,234	7	0.016	\$ 131,805.43	\$25,326.12	\$157,131.55
1	10800	0.02	\$ 16,215.00	\$27,017.29	\$43,232.29	1,080	8	0.016	\$ 150,486.00	\$25,326.12	\$175,812.12
1	8640	0.016	\$ 19,722.00	\$26,576.12	\$46,298.12	960	9	0.016	\$ 169,182.00	\$25,326.12	\$194,508.12
1	6480	0.012	\$ 25,729.00	\$28,954.41	\$54,683.41	864	10	0.016	\$ 187,888.80	\$25,326.12	\$213,214.92

Pada tabel 5.8 terlihat bahwa total biaya pada model koordinasi lebih rendah jika dibandingkan dengan total biaya pada model non-koordinasi. Selisih total biayanya pun cukup besar yaitu \$ 7,690.

Pada model non-koordinasi, *retailer* memutuskan jumlah dan waktu pemesanan secara independen. Pada tabel 4.2 dapat dilihat bahwa jumlah pemesanan sebesar 8,640 unit dimana waktu pemesanan terjadi pada saat $T^* = 0.016$. Dari jumlah pemesanan tersebut, pihak manufaktur memutuskan berapa kali produksi harus dilakukan untuk memenuhi permintaan *retailer*. Hasil perhitungan ditunjukkan pada tabel 5.8, bahwa manufaktur melakukan produksi sebanyak satu kali untuk memenuhi satu pemesanan.

Keputusan yang dibuat secara independen menyebabkan total biaya yang ditimbulkan semakin besar. Pihak manufaktur akan mengalami kerugian jika *replenishment* terjadi saat $T = 0.016$ karena manufaktur akan lebih sering melakukan *set-up* produksi. Namun, pihak *retailer* mengalami peningkatan biaya sebesar \$1,997. Untuk mengatasi permasalahan ini, pihak manufaktur dapat memberikan diskon bagi *retailer* agar *retailer* mau melakukan kerjasama dengan pihak manufaktur. Oleh karena itu, diperlukan koordinasi dalam pengambilan keputusan agar diperoleh total biaya yang lebih rendah serta menguntungkan bagi semua pihak.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Bab VI

Kesimpulan dan Saran

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian yang telah dilakukan serta saran yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya.

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian mengenai model inventori *perishable product* ini adalah sebagai berikut :

1. Pada penelitian ini telah dikembangkan model inventori *perishable product* integrasi pemasok-pembeli tunggal dengan mempertimbangkan permintaan pada *retail* yang berdistribusi stokastik dimana hasil perhitungan menunjukkan bahwa *replenishment* dilakukan sebelum masa akhir hidup produk menghasilkan total biaya yang paling rendah.
2. Pada penelitian ini juga dilakukan perbandingan antara model koordinasi dan non-koordinasi, dimana dari hasil perhitungan diperoleh kesimpulan bahwa total biaya pada model koordinasi lebih rendah dibandingkan dengan model non-koordinasi dengan selisih total biaya sebesar \$ 7,690.
3. Dari hasil uji parameter diketahui bahwa biaya penyimpanan (manufaktur dan *retailer*), biaya *shortage*, biaya pengiriman, dan biaya set-up berpengaruh signifikan terhadap sistem.
4. Perubahan biaya *overstock* direspon oleh variabel keputusan T, semakin panjang nilai T* maka ekspektasi *overstock* yang terjadi per siklus juga semakin besar. Namun tidak berarti bahwa nilai T yang paling pendek akan menyebabkan nilai ekspektasi *overstock* yang rendah karena jumlah ekspektasi per siklus yang rendah tidak selalu menyebabkan jumlah ekspektasi *overstock* yang rendah pula untuk satu periode.

6.2 Saran

Saran yang dapat diajukan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan penggunaan pada model *multi echelon* dengan *multi retailer*.
2. Penelitian ini juga dapat dikembangkan dengan mempertimbangkan :
 - a. *Lead time* pada retail.
 - b. *Service level* sebagai variabel keputusan.
 - c. Pola permintaan pada sistem yang stokastik serta dikembangkan lagi untuk jenis distribusi permintaan yang lain.
 - d. Adanya pemberian diskon bagi *retailer*.

DAFTAR PUSTAKA

- Arshinder, Kanda A., Desmukh, S. G. (2006). Supply chain coordination: Perspectives, empirical studies and research directions. *International Journal Production Economics*, 115: 316-335
- Benerjee, A. (1986). A joint economic-lot-size model for purchaser and vendor. *Decision Sciences*, 17: 292-311
- Ben-Daya, M. dan Hariga, M. (2004). Integrated single vendor single buyer model with stochastic demand and variable lead time. *International Journal of Production Economics*, 92:75-80.
- Castro, E., Tabucanon, M., Nagarur, N. (1997). A production order quantity model with stochastic demand for a chocolate milk manufacturer. *International Journal of Production Economics*, 49:145-156
- Chen, H-K., Hsueh, C-F., Chang, M-S. (2009). Production scheduling and vehicle routing problem with time windows for perishable food product. *Computers and Operations Research*, 36, 2311-2319
- Chopra, S. dan Meindl, P. (2007). *Supply Chain Management : Strategy, Planning and Operation*, Prentice Hall, Singapore
- Donseelar, K., Woensel, T., Broekmeulen, R., Fransisco, K. (2006). Inventory control of perishables in supermarket. *International Journal of Production Economics*, 104, 462-472
- Enagbonma, O. dan Eraikhuemen, I. B. Optimal Ordering Policies For The Inventory System With Fixed Lifetime. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5: 3343-3348
- Glock, C. (2012). The joint economic lot size problem: A review. *International Journal Production Economics*, 135: 671-686
- Goyal, S.K. (1976). An integrated inventory model for a single supplier – single customer problem. *International Journal of Production Research*, 15:107-111.

- Goyal, S.K. (1988). A joint economic-lot-size model for purchaser and vendor: A comment. *Decision Sciences*, 19: 236-241.
- Goyal, S.K. dan Gupta, Y.P. (1989). Integrated inventory models: The buyer-vendor coordination. *European Journal of Operational Research*, 41:261-269
- Goyal S. K. dan Giri B. C. (2001). Recent trends in modeling of deteriorating inventory. *European Journal of Operational Research*, 134:1-16
- Hill R. (1997). The single-vendor single-buyer integrated production-inventory model with generalized policy. *European Journal of Operational Research*, 97: 493-499
- Kanchanasuntorn, K. dan Techanitisawad, A. An approximate periodic model for fixed-life perishable products in a two-echelon inventory–distribution system. *International Journal of Production Economics*, 100: 101-115
- Lee, W. (2004). A joint economic lot size model for raw material ordering, manufacturing setup, and finished goods delivering. *Omega*, 33:163-174
- Lu L. (1995). A one-vendor multi-buyer integrated inventory model. *European Journal of Operational Research*, 81: 312-323
- Nahmias, S. (1982). Perishable inventory theory: A review. *Operations Research*, 30, 680–708.
- Nahmias, S. (2011). Perishable Inventory System. *International Series in Operations Research and Management System*. Springer : United of States America
- Pujawan, I N. dan Kingsman B. G. (2002). Joint optimisation and timing synchronisation in a buyer supplier inventory system. *International Journal of Operation and Quantitative Management*, 2: 93-109
- Pujawan, I N. (2004). Supply Chain Management. Guna Widya : Surabaya
- Qin Y., Wang R., Vakharia A., Chen Y., Seref M. (2011). The newsvendor problem: Review and directions for future research. *European Journal of Operational Research*, 213:361-374

- Silver, E.A. dan Peterson, R. (1985). *Decision Systems For Inventory Management and Production Planning*. John Willey & Sons, New York.
- Tersine, R.J. (1994). *Principles of Inventory and Materials Management*, 4th edition., NJ : Prentice-Hall, Inc.
- Thomas, D.J., dan Griffin, P.M. (1996). Coordinated supply chain management, *European Journal of Operational Research* 94:1-15
- Wang X., Li D., O'brien C., Li Y. (2010). A production planning model to reduce risk and improve operations management. *International Journal of Production Economics*, 124:463-474
- Xu Y. dan Sarker R. (2003). Models for a family of products with shelf life, and production and shortage costs in emerging markets. *Computers and Operations Research*, 30: 925-938
- Yang Po-Chung dan Wee Hui-Ming. (2003). An integrated multi-lot-size production inventory model for deteriorating item. *Computers and Operations Research*, 30: 671-682

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Lampiran A

Tabel A.1 Total Perhitungan Biaya Rantai Pasok pada T = 11 hari

Variabel Keputusan			Total Biaya Manufaktur		Total Biaya Retailer					Total Biaya
n	q	T	Biaya set-up	Biaya Simpan	Biaya Pesan	Biaya Simp	Biaya Kirim	Biaya Short	Biaya Overst	
1	23,760	0.044	\$ 6,818	\$ 2,673	\$ 909	\$ 12,812	\$ 455	\$ 3,862	\$ 7,723	\$ 35,251
2	11,880	0.044	\$ 6,818	\$ 5,643	\$ 909	\$ 6,599	\$ 909	\$ 5,461	\$ 7,723	\$ 34,062
3	7,920	0.044	\$ 6,818	\$ 6,633	\$ 909	\$ 4,498	\$ 1,364	\$ 6,688	\$ 7,723	\$ 34,633
4	5,940	0.044	\$ 6,818	\$ 7,128	\$ 909	\$ 3,436	\$ 1,818	\$ 7,723	\$ 7,723	\$ 35,555
5	4,752	0.044	\$ 6,818	\$ 7,425	\$ 909	\$ 2,793	\$ 2,273	\$ 8,635	\$ 7,723	\$ 36,575
6	3,960	0.044	\$ 6,818	\$ 7,623	\$ 909	\$ 2,360	\$ 2,727	\$ 9,459	\$ 7,723	\$ 37,620
7	3,394	0.044	\$ 6,818	\$ 7,764	\$ 909	\$ 2,049	\$ 3,182	\$ 10,217	\$ 7,723	\$ 38,662
8	2,970	0.044	\$ 6,818	\$ 7,871	\$ 909	\$ 1,814	\$ 3,636	\$ 10,922	\$ 7,723	\$ 39,694
9	2,640	0.044	\$ 6,818	\$ 7,953	\$ 909	\$ 1,631	\$ 4,091	\$ 11,585	\$ 7,723	\$ 40,709
10	2,376	0.044	\$ 6,818	\$ 8,019	\$ 909	\$ 1,483	\$ 4,545	\$ 12,211	\$ 7,723	\$ 41,709
11	2,160	0.044	\$ 6,818	\$ 8,073	\$ 909	\$ 1,361	\$ 5,000	\$ 12,807	\$ 7,723	\$ 42,691
12	1,980	0.044	\$ 6,818	\$ 8,118	\$ 909	\$ 1,259	\$ 5,455	\$ 13,377	\$ 7,723	\$ 43,659

Tabel A.2 Total Perhitungan Biaya Rantai Pasok pada T = 10 hari

Variabel Keputusan			Total Biaya Manufaktur		Total Biaya Retailer					Total Biaya
n	q	T	Biaya set-up	Biaya Simpan	Biaya Pesan	Biaya Simpan	Biaya Kirim	Biaya Shortage	Biaya Overstock	
1	21,600	0.04	\$ 7,500.00	\$ 2,430.00	\$ 1,000.00	\$ 11,699.58	\$ 500.00	\$ 4,229.34	\$ 14,250.00	\$ 41,608.92
2	10,800	0.04	\$ 7,500.00	\$ 5,130.00	\$ 1,000.00	\$ 6,036.10	\$ 1,000.00	\$ 5,981.19	\$ 14,250.00	\$ 40,897.29
3	7,200	0.04	\$ 7,500.00	\$ 6,030.00	\$ 1,000.00	\$ 4,119.37	\$ 1,500.00	\$ 7,325.44	\$ 14,250.00	\$ 41,724.81
4	5,400	0.04	\$ 7,500.00	\$ 6,480.00	\$ 1,000.00	\$ 3,149.79	\$ 2,000.00	\$ 8,458.68	\$ 14,250.00	\$ 42,838.47
5	4,320	0.04	\$ 7,500.00	\$ 6,750.00	\$ 1,000.00	\$ 2,562.30	\$ 2,500.00	\$ 9,457.10	\$ 14,250.00	\$ 44,019.40
6	3,600	0.04	\$ 7,500.00	\$ 6,930.00	\$ 1,000.00	\$ 2,167.25	\$ 3,000.00	\$ 10,359.73	\$ 14,250.00	\$ 45,206.98
7	3,086	0.04	\$ 7,500.00	\$ 7,058.57	\$ 1,000.00	\$ 1,882.87	\$ 3,500.00	\$ 11,189.79	\$ 14,250.00	\$ 46,381.23
8	2,700	0.04	\$ 7,500.00	\$ 7,155.00	\$ 1,000.00	\$ 1,668.05	\$ 4,000.00	\$ 11,962.39	\$ 14,250.00	\$ 47,535.44
9	2,400	0.04	\$ 7,500.00	\$ 7,230.00	\$ 1,000.00	\$ 1,499.86	\$ 4,500.00	\$ 12,688.03	\$ 14,250.00	\$ 48,667.89
10	2,160	0.04	\$ 7,500.00	\$ 7,290.00	\$ 1,000.00	\$ 1,364.47	\$ 5,000.00	\$ 13,374.35	\$ 14,250.00	\$ 49,778.83

Tabel A.3 Total Perhitungan Biaya Rantai Pasok pada T = 9 hari

Variabel Keputusan			Total Biaya Manufaktur		Total Biaya Retailer					Total Biaya
n	q	T	Biaya set-up	Biaya Simpan	Biaya Pesan	Biaya Simpan	Biaya Kirim	Biaya Shortage	Biaya Overstock	
1	19,440	0.036	\$ 8,333.33	\$ 2,187.00	\$ 1,111.11	\$ 10,573.41	\$ 555.56	\$ 4,458.12	\$ 13,333.33	\$ 40,551.87
2	9,720	0.036	\$ 8,333.33	\$ 4,617.00	\$ 1,111.11	\$ 5,463.46	\$ 1,111.11	\$ 6,304.73	\$ 13,333.33	\$ 40,274.08
3	6,480	0.036	\$ 8,333.33	\$ 5,427.00	\$ 1,111.11	\$ 3,732.72	\$ 1,666.67	\$ 7,721.69	\$ 13,333.33	\$ 41,325.85
4	4,860	0.036	\$ 8,333.33	\$ 5,832.00	\$ 1,111.11	\$ 2,856.71	\$ 2,222.22	\$ 8,916.24	\$ 13,333.33	\$ 42,604.94
5	3,888	0.036	\$ 8,333.33	\$ 6,075.00	\$ 1,111.11	\$ 2,325.66	\$ 2,777.78	\$ 9,968.66	\$ 13,333.33	\$ 43,924.87
6	3,240	0.036	\$ 8,333.33	\$ 6,237.00	\$ 1,111.11	\$ 1,968.41	\$ 3,333.33	\$ 10,920.12	\$ 13,333.33	\$ 45,236.63
7	2,777	0.036	\$ 8,333.33	\$ 6,352.71	\$ 1,111.11	\$ 1,711.13	\$ 3,888.89	\$ 11,795.07	\$ 13,333.33	\$ 46,525.59
8	2,430	0.036	\$ 8,333.33	\$ 6,439.50	\$ 1,111.11	\$ 1,516.73	\$ 4,444.44	\$ 12,609.46	\$ 13,333.33	\$ 47,787.91
9	2,160	0.036	\$ 8,333.33	\$ 6,507.00	\$ 1,111.11	\$ 1,364.47	\$ 5,000.00	\$ 13,374.35	\$ 13,333.33	\$ 49,023.60
10	1,944	0.036	\$ 8,333.33	\$ 6,561.00	\$ 1,111.11	\$ 1,241.87	\$ 5,555.56	\$ 14,097.81	\$ 13,333.33	\$ 50,234.01

Tabel A.4 Total Perhitungan Biaya Rantai Pasok pada T = 8 hari

Variabel Keputusan			Total Biaya Manufaktur		Total Biaya Retailer					Total Biaya
n	q	T	Biaya set-up	Biaya Simpan	Biaya Pesan	Biaya Simpan	Biaya Kirim	Biaya Shortage	Biaya Overstock	
1	17,280	0.032	\$ 9,375.00	\$ 1,944.00	\$ 1,250.00	\$ 9,444.61	\$ 625.00	\$ 4,728.55	\$ 13,125.00	\$ 40,492.16
2	8,640	0.032	\$ 9,375.00	\$ 4,104.00	\$ 1,250.00	\$ 4,888.94	\$ 1,250.00	\$ 6,687.18	\$ 13,125.00	\$ 40,680.12
3	5,760	0.032	\$ 9,375.00	\$ 4,824.00	\$ 1,250.00	\$ 3,344.54	\$ 1,875.00	\$ 8,190.09	\$ 13,125.00	\$ 41,983.63
4	4,320	0.032	\$ 9,375.00	\$ 5,184.00	\$ 1,250.00	\$ 2,562.30	\$ 2,500.00	\$ 9,457.10	\$ 13,125.00	\$ 43,453.40
5	3,456	0.032	\$ 9,375.00	\$ 5,400.00	\$ 1,250.00	\$ 2,087.83	\$ 3,125.00	\$ 10,573.36	\$ 13,125.00	\$ 44,936.19
6	2,880	0.032	\$ 9,375.00	\$ 5,544.00	\$ 1,250.00	\$ 1,768.48	\$ 3,750.00	\$ 11,582.53	\$ 13,125.00	\$ 46,395.01
7	2,469	0.032	\$ 9,375.00	\$ 5,646.86	\$ 1,250.00	\$ 1,538.40	\$ 4,375.00	\$ 12,510.56	\$ 13,125.00	\$ 47,820.82
8	2,160	0.032	\$ 9,375.00	\$ 5,724.00	\$ 1,250.00	\$ 1,364.47	\$ 5,000.00	\$ 13,374.35	\$ 13,125.00	\$ 49,212.83
9	1,920	0.032	\$ 9,375.00	\$ 5,784.00	\$ 1,250.00	\$ 1,228.20	\$ 5,625.00	\$ 14,185.65	\$ 13,125.00	\$ 50,572.85
10	1,728	0.032	\$ 9,375.00	\$ 5,832.00	\$ 1,250.00	\$ 1,118.44	\$ 6,250.00	\$ 14,952.98	\$ 13,125.00	\$ 51,903.42

Tabel A.5 Total Perhitungan Biaya Rantai Pasok pada T = 7 hari

Variabel Keputusan			Total Biaya Manufaktur		Total Biaya Retailer					Total Biaya
n	q	T	Biaya set-up	Biaya Simpan	Biaya Pesan	Biaya Simpan	Biaya Kirim	Biaya <i>Shortage</i>	Biaya <i>Overstock</i>	
1	15,120	0.028	\$ 10,714.29	\$ 1,701.00	\$ 1,428.57	\$ 8,312.64	\$ 714.29	\$ 5,055.03	\$ 12,857.14	\$ 40,782.96
2	7,560	0.028	\$ 10,714.29	\$ 3,591.00	\$ 1,428.57	\$ 4,312.20	\$ 1,428.57	\$ 7,148.89	\$ 12,857.14	\$ 41,480.66
3	5,040	0.028	\$ 10,714.29	\$ 4,221.00	\$ 1,428.57	\$ 2,954.54	\$ 2,142.86	\$ 8,755.57	\$ 12,857.14	\$ 43,073.97
4	3,780	0.028	\$ 10,714.29	\$ 4,536.00	\$ 1,428.57	\$ 2,266.32	\$ 2,857.14	\$ 10,110.06	\$ 12,857.14	\$ 44,769.53
5	3,024	0.028	\$ 10,714.29	\$ 4,725.00	\$ 1,428.57	\$ 1,848.59	\$ 3,571.43	\$ 11,303.39	\$ 12,857.14	\$ 46,448.41
6	2,520	0.028	\$ 10,714.29	\$ 4,851.00	\$ 1,428.57	\$ 1,567.26	\$ 4,285.71	\$ 12,382.25	\$ 12,857.14	\$ 48,086.23
7	2,160	0.028	\$ 10,714.29	\$ 4,941.00	\$ 1,428.57	\$ 1,364.47	\$ 5,000.00	\$ 13,374.35	\$ 12,857.14	\$ 49,679.83
8	1,890	0.028	\$ 10,714.29	\$ 5,008.50	\$ 1,428.57	\$ 1,211.10	\$ 5,714.29	\$ 14,297.79	\$ 12,857.14	\$ 51,231.67
9	1,680	0.028	\$ 10,714.29	\$ 5,061.00	\$ 1,428.57	\$ 1,090.88	\$ 6,428.57	\$ 15,165.09	\$ 12,857.14	\$ 52,745.54
10	1,512	0.028	\$ 10,714.29	\$ 5,103.00	\$ 1,428.57	\$ 994.01	\$ 7,142.86	\$ 15,985.41	\$ 12,857.14	\$ 54,225.27

Tabel A.6 Total Perhitungan Biaya Rantai Pasok pada T = 6 hari

Variabel Keputusan			Total Biaya Manufaktur		Total Biaya Retailer					Total Biaya
n	q	T	Biaya set-up	Biaya Simpan	Biaya Pesan	Biaya Simpan	Biaya Kirim	Biaya <i>Shortage</i>	Biaya <i>Overstock</i>	
1	12,960	0.024	\$ 12,500.00	\$ 1,458.00	\$ 1,666.67	\$ 7,176.81	\$ 833.33	\$ 5,460.06	\$ 12,500.00	\$ 41,594.87
2	6,480	0.024	\$ 12,500.00	\$ 3,078.00	\$ 1,666.67	\$ 3,732.72	\$ 1,666.67	\$ 7,721.69	\$ 12,500.00	\$ 42,865.74
3	4,320	0.024	\$ 12,500.00	\$ 3,618.00	\$ 1,666.67	\$ 2,562.30	\$ 2,500.00	\$ 9,457.10	\$ 12,500.00	\$ 44,804.07
4	3,240	0.024	\$ 12,500.00	\$ 3,888.00	\$ 1,666.67	\$ 1,968.41	\$ 3,333.33	\$ 10,920.12	\$ 12,500.00	\$ 46,776.52
5	2,592	0.024	\$ 12,500.00	\$ 4,050.00	\$ 1,666.67	\$ 1,607.62	\$ 4,166.67	\$ 12,209.06	\$ 12,500.00	\$ 48,700.02
6	2,160	0.024	\$ 12,500.00	\$ 4,158.00	\$ 1,666.67	\$ 1,364.47	\$ 5,000.00	\$ 13,374.35	\$ 12,500.00	\$ 50,563.49
7	1,851	0.024	\$ 12,500.00	\$ 4,235.14	\$ 1,666.67	\$ 1,189.08	\$ 5,833.33	\$ 14,445.95	\$ 12,500.00	\$ 52,370.18
8	1,620	0.024	\$ 12,500.00	\$ 4,293.00	\$ 1,666.67	\$ 1,056.36	\$ 6,666.67	\$ 15,443.37	\$ 12,500.00	\$ 54,126.07
9	1,440	0.024	\$ 12,500.00	\$ 4,338.00	\$ 1,666.67	\$ 952.27	\$ 7,500.00	\$ 16,380.17	\$ 12,500.00	\$ 55,837.11
10	1,296	0.024	\$ 12,500.00	\$ 4,374.00	\$ 1,666.67	\$ 868.35	\$ 8,333.33	\$ 17,266.22	\$ 12,500.00	\$ 57,508.57

Tabel A.7 Total Perhitungan Biaya Rantai Pasok pada T = 5 hari

Variabel Keputusan			Total Biaya Manufaktur		Total Biaya Retailer					Total Biaya
n	q	T	Biaya set-up	Biaya Simpan	Biaya Pesan	Biaya Simpan	Biaya Kirim	Biaya <i>Shortage</i>	Biaya <i>Overstock</i>	
1	10,800	0.02	\$ 15,000.00	\$ 1,215.00	\$ 2,000.00	\$ 6,036.10	\$ 1,000.00	\$ 5,981.19	\$ 12,000.00	\$ 43,232.29
2	5,400	0.02	\$ 15,000.00	\$ 2,565.00	\$ 2,000.00	\$ 3,149.79	\$ 2,000.00	\$ 8,458.68	\$ 12,000.00	\$ 45,173.47
3	3,600	0.02	\$ 15,000.00	\$ 3,015.00	\$ 2,000.00	\$ 2,167.25	\$ 3,000.00	\$ 10,359.73	\$ 12,000.00	\$ 47,541.98
4	2,700	0.02	\$ 15,000.00	\$ 3,240.00	\$ 2,000.00	\$ 1,668.05	\$ 4,000.00	\$ 11,962.39	\$ 12,000.00	\$ 49,870.44
5	2,160	0.02	\$ 15,000.00	\$ 3,375.00	\$ 2,000.00	\$ 1,364.47	\$ 5,000.00	\$ 13,374.35	\$ 12,000.00	\$ 52,113.83
6	1,800	0.02	\$ 15,000.00	\$ 3,465.00	\$ 2,000.00	\$ 1,159.69	\$ 6,000.00	\$ 14,650.87	\$ 12,000.00	\$ 54,275.56
7	1,543	0.02	\$ 15,000.00	\$ 3,529.29	\$ 2,000.00	\$ 1,011.85	\$ 7,000.00	\$ 15,824.75	\$ 12,000.00	\$ 56,365.89
8	1,350	0.02	\$ 15,000.00	\$ 3,577.50	\$ 2,000.00	\$ 899.89	\$ 8,000.00	\$ 16,917.37	\$ 12,000.00	\$ 58,394.76
9	1,200	0.02	\$ 15,000.00	\$ 3,615.00	\$ 2,000.00	\$ 812.03	\$ 9,000.00	\$ 17,943.58	\$ 12,000.00	\$ 60,370.61
10	1,080	0.02	\$ 15,000.00	\$ 3,645.00	\$ 2,000.00	\$ 741.15	\$ 10,000.00	\$ 18,914.19	\$ 12,000.00	\$ 62,300.35

Tabel A.8 Total Perhitungan Biaya Rantai Pasok pada T = 4 hari

Variabel Keputusan			Total Biaya Manufaktur		Total Biaya Retailer					Total Biaya
n	q	T	Biaya set-up	Biaya Simpan	Biaya Pesan	Biaya Simpan	Biaya Kirim	Biaya <i>Shortage</i>	Biaya <i>Overstock</i>	
1	8,640	0.016	\$ 18,750.00	\$ 972.00	\$ 2,500.00	\$ 4,888.94	\$ 1,250.00	\$ 6,687.18	\$ 11,250.00	\$ 46,298.12
2	4,320	0.016	\$ 18,750.00	\$ 2,052.00	\$ 2,500.00	\$ 2,562.30	\$ 2,500.00	\$ 9,457.10	\$ 11,250.00	\$ 49,071.40
3	2,880	0.016	\$ 18,750.00	\$ 2,412.00	\$ 2,500.00	\$ 1,768.48	\$ 3,750.00	\$ 11,582.53	\$ 11,250.00	\$ 52,013.01
4	2,160	0.016	\$ 18,750.00	\$ 2,592.00	\$ 2,500.00	\$ 1,364.47	\$ 5,000.00	\$ 13,374.35	\$ 11,250.00	\$ 54,830.83
5	1,728	0.016	\$ 18,750.00	\$ 2,700.00	\$ 2,500.00	\$ 1,118.44	\$ 6,250.00	\$ 14,952.98	\$ 11,250.00	\$ 57,521.42
6	1,440	0.016	\$ 18,750.00	\$ 2,772.00	\$ 2,500.00	\$ 952.27	\$ 7,500.00	\$ 16,380.17	\$ 11,250.00	\$ 60,104.44
7	1,234	0.016	\$ 18,750.00	\$ 2,823.43	\$ 2,500.00	\$ 832.18	\$ 8,750.00	\$ 17,692.61	\$ 11,250.00	\$ 62,598.22
8	1,080	0.016	\$ 18,750.00	\$ 2,862.00	\$ 2,500.00	\$ 741.15	\$ 10,000.00	\$ 18,914.19	\$ 11,250.00	\$ 65,017.35
9	960	0.016	\$ 18,750.00	\$ 2,892.00	\$ 2,500.00	\$ 669.65	\$ 11,250.00	\$ 20,061.53	\$ 11,250.00	\$ 67,373.18
10	864	0.016	\$ 18,750.00	\$ 2,916.00	\$ 2,500.00	\$ 611.92	\$ 12,500.00	\$ 21,146.71	\$ 11,250.00	\$ 69,674.63

Tabel A.9 Total Perhitungan Biaya Rantai Pasok pada T = 3 hari

Variabel Keputusan			Total Biaya Manufaktur		Total Biaya Retailer					Total Biaya
n	q	T	Biaya set-up	Biaya Simpan	Biaya Pesan	Biaya Simpan	Biaya Kirim	Biaya Shortage	Biaya Overstock	
1	6,480	0.012	\$ 25,000.00	\$ 729.00	\$ 3,333.33	\$ 3,732.72	\$ 1,666.67	\$ 7,721.69	\$ 12,500.00	\$ 54,683.41
2	3,240	0.012	\$ 25,000.00	\$ 1,539.00	\$ 3,333.33	\$ 1,968.41	\$ 3,333.33	\$ 10,920.12	\$ 12,500.00	\$ 58,594.19
3	2,160	0.012	\$ 25,000.00	\$ 1,809.00	\$ 3,333.33	\$ 1,364.47	\$ 5,000.00	\$ 13,374.35	\$ 12,500.00	\$ 62,381.16
4	1,620	0.012	\$ 25,000.00	\$ 1,944.00	\$ 3,333.33	\$ 1,056.36	\$ 6,666.67	\$ 15,443.37	\$ 12,500.00	\$ 65,943.73
5	1,296	0.012	\$ 25,000.00	\$ 2,025.00	\$ 3,333.33	\$ 868.35	\$ 8,333.33	\$ 17,266.22	\$ 12,500.00	\$ 69,326.24
6	1,080	0.012	\$ 25,000.00	\$ 2,079.00	\$ 3,333.33	\$ 741.15	\$ 10,000.00	\$ 18,914.19	\$ 12,500.00	\$ 72,567.68
7	926	0.012	\$ 25,000.00	\$ 2,117.57	\$ 3,333.33	\$ 649.09	\$ 11,666.67	\$ 20,429.66	\$ 12,500.00	\$ 75,696.32
8	810	0.012	\$ 25,000.00	\$ 2,146.50	\$ 3,333.33	\$ 579.20	\$ 13,333.33	\$ 21,840.23	\$ 12,500.00	\$ 78,732.60
9	720	0.012	\$ 25,000.00	\$ 2,169.00	\$ 3,333.33	\$ 524.24	\$ 15,000.00	\$ 23,165.06	\$ 12,500.00	\$ 81,691.64
10	648	0.012	\$ 25,000.00	\$ 2,187.00	\$ 3,333.33	\$ 479.81	\$ 16,666.67	\$ 24,418.12	\$ 12,500.00	\$ 84,584.93

Tabel A.10 Total Perhitungan Biaya Rantai Pasok pada T = 2 hari

Variabel Keputusan			Total Biaya Manufaktur		Total Biaya Retailer					Total Biaya
n	q	T	Biaya set-up	Biaya Simpan	Biaya Pesan	Biaya Simpan	Biaya Kirim	Biaya Shortage	Biaya Overstock	
1	4,320	0.008	\$ 37,500.00	\$ 486.00	\$ 5,000.00	\$ 2,562.30	\$ 2,500.00	\$ 9,457.10	\$ 15,000.00	\$ 72,505.40
2	2,160	0.008	\$ 37,500.00	\$ 1,026.00	\$ 5,000.00	\$ 1,364.47	\$ 5,000.00	\$ 13,374.35	\$ 15,000.00	\$ 78,264.83
3	1,440	0.008	\$ 37,500.00	\$ 1,206.00	\$ 5,000.00	\$ 952.27	\$ 7,500.00	\$ 16,380.17	\$ 15,000.00	\$ 83,538.44
4	1,080	0.008	\$ 37,500.00	\$ 1,296.00	\$ 5,000.00	\$ 741.15	\$ 10,000.00	\$ 18,914.19	\$ 15,000.00	\$ 88,451.35
5	864	0.008	\$ 37,500.00	\$ 1,350.00	\$ 5,000.00	\$ 611.92	\$ 12,500.00	\$ 21,146.71	\$ 15,000.00	\$ 93,108.63
6	720	0.008	\$ 37,500.00	\$ 1,386.00	\$ 5,000.00	\$ 524.24	\$ 15,000.00	\$ 23,165.06	\$ 15,000.00	\$ 97,575.30
7	617	0.008	\$ 37,500.00	\$ 1,411.71	\$ 5,000.00	\$ 460.63	\$ 17,500.00	\$ 25,021.13	\$ 15,000.00	\$ 101,893.47
8	540	0.008	\$ 37,500.00	\$ 1,431.00	\$ 5,000.00	\$ 412.24	\$ 20,000.00	\$ 26,748.71	\$ 15,000.00	\$ 106,091.95
9	480	0.008	\$ 37,500.00	\$ 1,446.00	\$ 5,000.00	\$ 374.10	\$ 22,500.00	\$ 28,371.29	\$ 15,000.00	\$ 110,191.39
10	432	0.008	\$ 37,500.00	\$ 1,458.00	\$ 5,000.00	\$ 343.22	\$ 25,000.00	\$ 29,905.97	\$ 15,000.00	\$ 114,207.19

Tabel A.11 Total Perhitungan Biaya Rantai Pasok pada T = 1 hari

Variabel Keputusan			Total Biaya Manufaktur		Total Biaya Retailer					Total Biaya
n	q	T	Biaya set-up	Biaya Simpan	Biaya Pesan	Biaya Simpan	Biaya Kirim	Biaya Shortage	Biaya Overstock	
1	2,160	0.004	75,000.00	243.00	10,000.00	1,364.47	5,000.00	13,374.35	22,500.00	127,481.83
2	1,080	0.004	75,000.00	513.00	10,000.00	741.15	10,000.00	18,914.19	22,500.00	137,668.35
3	720	0.004	75,000.00	603.00	10,000.00	524.24	15,000.00	23,165.06	22,500.00	146,792.30
4	540	0.004	75,000.00	648.00	10,000.00	412.24	20,000.00	26,748.71	22,500.00	155,308.95
5	432	0.004	75,000.00	675.00	10,000.00	343.22	25,000.00	29,905.97	22,500.00	163,424.19
6	360	0.004	75,000.00	693.00	10,000.00	296.14	30,000.00	32,760.35	22,500.00	171,249.48
7	309	0.004	75,000.00	705.86	10,000.00	261.81	35,000.00	35,385.22	22,500.00	178,852.88
8	270	0.004	75,000.00	715.50	10,000.00	235.58	40,000.00	37,828.39	22,500.00	186,279.46
9	240	0.004	75,000.00	723.00	10,000.00	214.82	45,000.00	40,123.06	22,500.00	193,560.89
10	216	0.004	75,000.00	729.00	10,000.00	197.96	50,000.00	42,293.42	22,500.00	200,720.38

Lampiran B

Algoritma menentukan nilai n dan q optimal menggunakan *software* VBA dimana akan dijabarkan sebagai berikut :

```
Private Sub CommandButton1_Click()
```

```
Dim pil_t(12) As Double
```

```
Dim pil_dT(12) As Double
```

```
For i = 1 To 12
```

```
    pil_t(i) = Sheet1.Cells(2 + i, 21)
```

```
    pil_dT(i) = Sheet1.Cells(2 + i, 22)
```

```
Next
```

```
'baca parameter
```

```
Dim omega As Double
```

```
Dim Z As Double
```

```
Dim D As Double
```

```
Dim sigma As Double
```

```
Dim P As Double
```

```
Dim Av As Double
```

```
Dim Ab As Double
```

```
Dim Hv As Double
```

```
Dim Hb As Double
```

```
Dim Sb As Double
```

```
Dim Cu As Double
```

```
Dim Co As Double
```

```
Dim T As Double
```

```
Dim dt As Double
```

```
Dim TC As Double
```

```
Dim TC_opt As Double
```

```
Dim n As Integer
```

```
Dim q As Double
```

```
omega = Sheet1.Cells(3, 1)
```

```
Z = Sheet1.Cells(3, 2)
```

```

D = Sheet1.Cells(3, 3)
sigma = Sheet1.Cells(3, 4)
P = Sheet1.Cells(3, 5)
Av = Sheet1.Cells(3, 6)
Ab = Sheet1.Cells(3, 7)
Hv = Sheet1.Cells(3, 8)
Hb = Sheet1.Cells(3, 9)
Sb = Sheet1.Cells(3, 10)
Cu = Sheet1.Cells(3, 11)
Co = Sheet1.Cells(3, 12)
T = Sheet1.Cells(3, 13)
For i = 1 To 12
    If T = pil_t(i) Then
        dt = pil_dT(i)
        Exit For
    End If
Next
TC = 1000000000000000
TC_opt = 1E+17
n = 0
While TC < TC_opt
    TC_opt = TC
    n = n + 1
    q = (D * T) / n
    TC = ((D / (n * q)) * Av) + (q / 2 * ((n * D) / P + (n - 1)) * Hv) + ((D / (n * q))
* Ab) + ((D / q) * Sb) + (Hb * ((q / 2) + (Z * sigma * ((q / D) ^ 0.5)))) + (Hb *
sigma * ((q / D) ^ 0.5) * omega) + ((D / q) * Cu * sigma * ((q / D) ^ 0.5) *
omega) + ((D / (n * q)) * Co * (n * q - dt))
Wend
Sheet1.Cells(3, 14) = n - 1
Sheet1.Cells(3, 15) = (D * T) / (n - 1)
Sheet1.Cells(3, 16) = TC_opt

```

For n = 1 To 10

$$q = (D * T) / n$$

$$TC = ((D / (n * q)) * Av) + (q / 2 * ((n * D) / P + (n - 1)) * Hv) + ((D / (n * q)) * Ab) + ((D / q) * Sb) + (Hb * ((q / 2) + (Z * \sigma * ((q / D) ^ 0.5)))) + (Hb * \sigma * ((q / D) ^ 0.5) * \omega) + ((D / q) * Cu * \sigma * ((q / D) ^ 0.5) * \omega) + ((D / (n * q)) * Co * (n * q - dt))$$

$$\text{Sheet1.Cells}(2 + n, 24) = n$$

$$\text{Sheet1.Cells}(2 + n, 25) = q$$

$$\text{Sheet1.Cells}(2 + n, 26) = TC$$

Next

End Sub

BIOGRAFI PENULIS



Penulis dilahirkan di Malang, 15 Desember 1987, dan merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan normal yaitu TK Sanan Sari pada tahun 1992, SDN Bunulrejo V pada tahun 1993, SMP Negeri V Malang pada tahun 1999, SMA Negeri 3 Malang pada tahun 2002. Setelah tamat SMA penulis melanjutkan kuliah di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya di Jurusan Teknik Industri pada tahun 2005. Di bangku kuliah penulis aktif sebagai asisten Laboratorium Logistic and Supply Chain Management pada tahun 2008 dan aktif sebagai anggota UKM Bridge ITS. Setelah menempuh pendidikan sarjana, penulis melanjutkan pendidikan magister di Jurusan Teknik Industri, FTI - Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan bidang keahlian Logistik dan Manajemen Rantai Pasok. Penulis mendapatkan Beasiswa Unggulan dari Kementerian Pendidikan Nasional dalam melanjutkan studi S2 nya. Hobi penulis adalah membaca, travelling, berkumpul bersama sahabat, dan bermain bridge. Untuk keperluan penelitian, penulis dapat dihubungi via email paramita.setyaningrum@gmail.com. Id yahoo paramita.setyaningrum.