



TESIS - TI 142307

**INTEGRASI RANTAI PASOKAN TIGA ESELON
(*SUPPLIER-MANUFACTURER-DISTRIBUTOR-
DROP SHIPPER*) DENGAN *PERMISSIBLE DELAY IN
PAYMENT* DAN KONTRAK PINALTI**

MUHAMMAD FAISAL IBRAHIM
NRP 2515203203

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Dr. Ir. Suparno, MSIE.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN MANAJEMEN LOGISTIK DAN RANTAI PASOK
JURUSAN TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017



THESIS - TI 142307

**THREE ECHELON SUPPLY CHAIN INTEGRATION
(*SUPPLIER-MANUFACTURER-DISTRIBUTOR-
DROP SHIPPER*) WITH *PERMISSIBLE DELAY IN
PAYMENT AND PENALTY CONTRACT***

MUHAMMAD FAISAL IBRAHIM
NRP 2515203203

SUPERVISOR
Prof. Dr. Ir. Suparno, MSIE.

GRADUATE PROGRAM
LOGISTICS AND SUPPLY CHAIN MANAGEMENT
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2017

INTEGRASI RANTAI PASOKAN TIGA ESELON (SUPPLIER-MANUFACTURER-DISTRIBUTOR-DROP SHIPPER) DENGAN PERMISSIBLE DELAY IN PAYMENT DAN KONTRAK PINALTI

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T.)
di

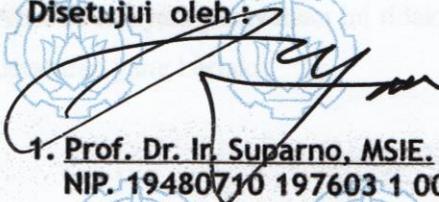
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

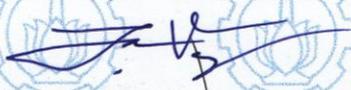
MUHAMMAD FAISAL IBRAHIM
NRP. 2515203203

Tanggal Ujian : 6 Juli 2017
Periode Wisuda : September 2017

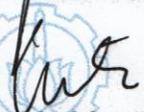
Disetujui oleh :


1. Prof. Dr. Ir. Suparno, MSIE.
NIP. 19480710 197603 1 002

(Pembimbing I)


2. Prof. Iwan Vanany, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 19710927 199903 1 002

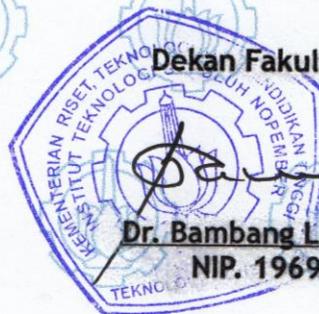
(Penguji I)


3. Niniet Indah Arvitrida, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 19840706 200912 2 007

(Penguji II)

Dekan Fakultas Teknologi Industri,


Dr. Bambang L. Widjiantoro, S.T., M.T.
NIP. 19690507 199512 1 001



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muhammad Faisal Ibrahim

NRP : 2515203203

Program Studi : Magister Teknik Industri – ITS

menyatakan bahwa isi sebagian atau keseluruhan tesis saya yang berjudul :

“INTEGRASI RANTAI PASOKAN TIGA ESELON (SUPPLIER-MANUFACTURER-DISTRIBUTOR-DROP SHIPPER) DENGAN PERMISSIBLE DELAY IN PAYMENT DAN KONTRAK PINALTI”

adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan, dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Seluruh referensi yang dikutip dan dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2017

Yang membuat pernyataan,

Muhammad Faisal Ibrahim
NRP. 2515203203

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

INTEGRASI RANTAI PASOKAN TIGA ESELON (*SUPPLIER-MANUFACTURER-DISTRIBUTOR-DROP SHIPPER*) DENGAN *PERMISSIBLE DELAY IN PAYMENT* DAN KONTRAK PINALTI

Nama : Muhammad Faisal Ibrahim
NIM : 2515203203
Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Suparno, MSIE.

ABSTRAK

Manajemen rantai pasokan (*supply chain management* - SCM) harus dipertimbangkan dalam perusahaan dengan tujuan meningkatkan keberlanjutan dan daya saing. SCM dijalankan untuk mengintegrasikan perusahaan-perusahaan dalam rantai pasokan dengan cara mengkoordinasikan aliran bahan, informasi, dan keuangan. Salah satu cara perusahaan dalam meningkatkan daya saing rantai pasokan adalah dengan melakukan koordinasi. Keringanan penundaan pembayaran selama jangka waktu tertentu, yang lebih populer dengan sebutan *delay in payment* merupakan salah satu cara koordinasi dengan memperbolehkan pelanggan menunda pembayaran kepada vendor tanpa beban bunga selama periode tertentu. Dalam sistem rantai pasokan, pemain *drop-shipping* bukanlah hal yang baru di era sekarang ini. Pada model bisnis *drop-shipping*, *supplier* akan memegang persediaan dan juga akan melaksanakan layanan distribusi fisik atas nama *drop-shipper*. Sehingga *drop-shipper* hanya berfokus pada penjualan, sedangkan proses fisik tetap akan ditangani oleh *supplier* mereka. Umumnya *drop-shipper* memiliki informasi permintaan pelanggan yang lebih baik daripada distributor. Tidak jarang *drop-shipper* mengirimkan perkiraan permintaan yang jumlahnya lebih dari estimasi mereka. Kontribusi dalam penelitian ini akan difokuskan pada integrasi dari rantai pasokan tiga eselon, yaitu *supplier*, manufaktur, distributor, dan *drop-shipper*. Akan digunakan pertimbangan koordinasi *delay in payment* pada eselon 1 dan 2, juga kontrak penalti pada eselon 3. Permasalahan pada penelitian ini akan dimodelkan dan diselesaikan kedalam beberapa skenario kasus yang dapat merepresentasikan kondisi sistem nyata rantai pasokan yang diteliti. Sehingga dapat mengidentifikasi skenario terbaik dari setiap pemain dalam rantai pasokan. Kemudian dilakukan analisa sensitivitas pada beberapa variabel yang dianggap signifikan terhadap perubahan total biaya rantai pasokan. Melalui hasil yang diperoleh, dapat disimpulkan koordinasi dengan pertimbangan *delay in payment* berhasil mengintegrasikan beberapa pemain dalam rantai pasokan. Begitu juga pada koordinasi dengan media kontrak penalti dapat mengkoordinasikan pemain dalam rantai pasokan sekaligus menjaga profit dari distributor dan *drop-shipper*.

Kata kunci : Integrasi rantai pasokan, penundaan pembayaran (*delay in payment*), kontrak penalti, *drop-shipping*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

INTEGRATION OF THREE ECHELON SUPPLY CHAIN (SUPPLIER-MANUFACTURER-DISTRIBUTOR-DROP SHIPPER) WITH PERMISSIBLE DELAY IN PAYMENT AND PENALTY CONTRACT

Name : Muhammad Faisal Ibrahim
NIM : 2515203203
Supervisor : Prof. Dr. Ir. Suparno, MSIE.

ABSTRACT

Supply chain management (SCM) have to be considered to improve the sustainable and competitiveness. SCM executed to integrating any companies on the supply chain in a way of coordinating the flow of goods, informations, and financial. Permissible delay in payment is one of the coordination way with allowing the costumers delay the payments to vendor in some certain periods without any interest charges. In the supply chain system, drop-shipping player already familiar in this era. In drop-shipping internet retailing, supplier will hold supplies and also carry out physical distribution service on behalf of drop-shipper. Drop-shipper will just focus on selling, in the other hand, their supplier will be responsible for physical process. Generally, drop-shipper have informations on the customer demands better than distributor. But, it is also unrare when the drop-shipper send the estimation of demands which bigger than their own estimation in order to maximize their own interest, so they hope supplies of distributor will always enough to accommodate their demands. Contributions in this research will be focused on integration of three echelons supply chain, which are supplier, manufacture, distributor, and drop-shipper. With considering delay in payment on first and second echelons, and also the contract penalty on third echelon. The problem on this research will be modeled in some kind of cases which can represent the problem of real supply chain system. Sensitivity analysis will be done on certain significant variables toward the changes of total supply chain cost. Coordination with delay in payment success to integrate supply chain. Contract penalty plan success to maintain the profit of distributor and drop-shipper.

Keywords : Supply chain integration, delay in payment, penalty contract, drop-shipping.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur alhamdulillah Penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas berkat, rahmat, taufik dan hidayah-Nya, penyusunan tesis yang berjudul “*Integrasi Rantai Pasokan Tiga Eselon (Supplier-Manufacturer-Distributor-Drop Shipper) Dengan Permissible Delay In Payment dan Kontrak Pinalti*” dapat diselesaikan dengan baik. Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan jenjang pendidikan Strata-2 di Jurusan Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Penulis menyadari bahwa dalam proses penulisan tesis ini banyak mengalami kendala, namun berkat bantuan, bimbingan, kerjasama dari berbagai pihak dan berkah dari Allah SWT sehingga kendala-kendala yang dihadapi tersebut dapat diatasi. Oleh karena itu Penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Prof. Dr. Ir. Suparno, MSIE. selaku dosen wali sekaligus pembimbing yang telah dengan sabar, tekun, tulus, dan ikhlas meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran memberikan bimbingan, motivasi, arahan, dan saran-saran yang sangat berharga kepada penulis selama menyusun tesis.

Selanjutnya ucapan terima kasih penulis sampaikan pula kepada:

1. Prof. Iwan Vanany, S.T., M.T., Ph.D. dan Ibu Niniet Indah Arvitrida, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen penguji sidang tesis, yang telah memberikan masukan yang sangat berguna untuk memperbaiki penyusunan tesis ini.
2. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang telah memberi bekal ilmu pengetahuan sehingga penulis dapat menyelesaikan studi dan menyelesaikan penulisan tesis ini.
3. Ibunda Yulia Akbariah dan Ayahanda Ibrahlim Ismail yang sangat banyak memberikan bantuan moril, materil, arahan, dan selalu mendoakan keberhasilan dan keselamatan selama menempuh pendidikan.
4. Saudara tercinta (Mba Vivi Eka Putri Yulianti, Taufik Kurrahman, Monica Yulianti) atas dukungan, semangat, dan kasih sayang yang diberikan kepada penulis.
5. Rekan-rekan Mahasiswa Magister Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember angkatan 2015 Genap. Rekan-rekan tersebut telah menemani penulis didalam kehidupan kampus, memberi warna baru pada kehidupan penulis, banyak memberikan masukan dan dorongan semangat kepada penulis baik selama dalam mengikuti perkuliahan maupun dalam penulisan tesis ini.

6. Rekan-rekan Alumni Mahasiswa Magister Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang telah memberikan masukan dan pengalamannya selama perkuliahan.
7. Rekan-rekan Alumni Mahasiswa Teknik Industri Universitas Muhammadiyah Malang yang telah memberikan semangat bagi penulis untuk menyelesaikan pendidikan ini.
8. Keluarga besar Jurusan Teknik Industri Universitas Muhammadiyah Malang yang telah memberikan banyak pengalaman kepada penulis selama proses perkuliahan sampai sekarang.
9. Rekan-rekan Mahasiswa Asal Kalimantan yang telah bersama-sama menemani penulis dalam perantauan menuntut ilmu diluar daerah.
10. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebut satu persatu yang telah membantu dalam penyelesaian penulisan tesis ini.

Akhir kata, dengan segala kerendahan hati penulis menyadari masih banyak terdapat kekurangan-kekurangan pada tugas akhir ini, sehingga penulis mengharapkan adanya saran dan kritik yang bersifat membangun demi kesempurnaan tesis ini. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	v
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TESIS.....	vii
ABSTRAK	ix
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR GAMBAR.....	xxi
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Penelitian	1
1.2. Perumusan Masalah	5
1.3. Tujuan Penelitian	5
1.4. Manfaat Penelitian	6
1.5. Ruang Lingkup Penelitian.....	6
1.6. Sistematika Penulisan	7
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1. Koordinasi Rantai Pasokan	9
2.2. <i>Delay in Payment</i>	10
2.2.1. Literatur Tentang <i>Delay in Payment</i>	12
2.3. Kontrak Pinalti <i>Drop-Shipper</i>	22
2.3.1. Literatur Tentang Sistem Persediaan Dengan <i>Drop-Shipping</i>	23
2.3.2. Literatur Tentang Kontrak Pinalti.....	24
2.4. Posisi Penelitian	25
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	29
3.1. Pengembangan Model Konseptual.....	30
3.1.1. Gambaran Umum Masalah	30
3.1.2. Komponen Model	34
3.1.2.1. Kriteria Kinerja.....	34

3.1.2.2.	Variabel Keputusan	34
3.1.3.	Asumsi Model	35
3.2.	Pengembangan Model Matematis	35
3.2.1.	Alur Pembentukan Model Matematis	35
3.2.2.	Parameter Model	36
3.2.3.	Formulasi Matematis.....	37
3.3.	Perhitungan Numerik	39
3.4.	Analisa Sensitivitas	40
3.5.	Analisa dan Pembahasan	40
3.6.	Kesimpulan.....	40
BAB IV.	PENGEMBANGAN MODEL	41
4.1.	Kasus 1.1.1	41
4.2.	Kasus 1.1.2	47
4.3.	Kasus 1.2.1	50
4.4.	Kasus 1.2.2	53
4.5.	Kasus 2.1.1	56
4.6.	Kasus 2.1.2	58
4.7.	Kasus 2.2.1	60
4.8.	Kasus 2.2.2	61
BAB V.	PERHITUNGAN NUMERIK DAN ANALISA SENSITIVITAS	63
5.1.	Perhitungan Numerik	63
5.1.1.	Parameter Dasar	63
5.1.2.	Contoh Numerik.....	63
5.2.	Uji Sensitivitas	76
5.2.1.	Pengujian Terhadap Prosentase Pengembalian Investasi Distributor (<i>kd</i>)	77
5.2.2.	Pengujian Terhadap Prosentase Pengembalian Investasi Seluruh Pemain <i>kd, km, ks</i>	80

5.2.3.	Pengujian Terhadap <i>Financial Holding Cost</i> Manufaktur (hm, w)	84
5.2.4.	Pengujian Terhadap Permintaan <i>Drop-Shipper</i> (Qds).....	88
BAB VI. ANALISA DAN PEMBAHASAN.....		93
6.1.	Analisa Metode Pencarian Solusi.....	93
6.2.	Analisa Hasil Perhitungan Numerik	94
6.3.	Analisa Pengaruh Prosentase Pengembalian Investasi Distributor Terhadap Sistem Rantai Pasokan.....	96
6.4.	Analisa Pengaruh Prosentase Pengembalian Investasi Setiap Pemain Terhadap Sistem Rantai Pasokan	98
6.5.	Analisa Pengaruh <i>Finacial Holding Cost Manufacturer - Raw Material</i> Terhadap Sistem Rantai Pasokan	101
6.6.	Analisa Sensitivitas Variabel Keputusan	104
6.7.	Analisa Model Yang Telah Dikembangkan	107
BAB VII. KESIMPULAN DAN SARAN.....		111
7.1.	Kesimpulan	111
7.2.	Saran.....	113
DAFTAR PUSTAKA.....		115
LAMPIRAN.....		119
BIOGRAFI PENULIS.....		149

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Delay in Payment Terdahulu	25
Tabel 2. 2 Posisi Penelitian	28
Tabel 3. 1 Skenario Kasus	39
Tabel 5. 1 Data Parameter Dasar	63
Tabel 5. 2 Rekapitulasi Perbandingan Perhitungan Dengan Excel Solver & Maple	74
Tabel 5. 3 Hasil Perhitungan Masing-Masing Skenario Kasus	75
Tabel 5. 4 Pengaruh Nilai Parameter <i>kd</i> Terhadap Solusi Optimal	77
Tabel 5. 5 Pengaruh Nilai Parameter <i>kd, km, ks</i> Terhadap Solusi Optimal	81
Tabel 5. 6 Pengaruh Financial Holding Cost Manufacture – Raw Material	85
Tabel 5. 7 Pengaruh Permintaan Drop-Shipper Terhadap Keputusan Dalam Rantai Pasokan	89
Tabel 5. 16 Pengaruh Financial Holding Cost Manufacture – Raw Material Terhadap Kuantitas Pemesanan	103
Tabel 6. 1 Hasil Perhitungan Setiap Skenario Kasus	94
Tabel 6. 2 Pengaruh ROI Distributor Terhadap Total Biaya	96
Tabel 6. 3 Pengaruh ROI Distributor Terhadap Kuantitas Pemesanan	97
Tabel 6. 4 Pengaruh ROI Distributor Terhadap Periode Delay in Payment dan Pembayaran	98
Tabel 6. 5 Pengaruh Prosentase Pengembalian Investasi Terhadap Total Biaya	99
Tabel 6. 6 Pengaruh Prosentase Pengembalian Investasi Terhadap Kuantitas Pemesanan	100
Tabel 6. 7 Pengaruh Financial Holding Cost Manufacture – Raw Material Terhadap Total Biaya	101
Tabel 6. 8 Pengaruh Financial Holding Cost Manufacture – Raw Material Terhadap Periode Delay in Payment dan Pembayaran	102

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Profil Persediaan Manufaktur dan Retailer, Hill (1997).	12
Gambar 2. 2 Profil Persediaan Manufaktur dan Retailer, Jaber et al. (2010).	21
Gambar 3. 1 Flow Chart Metodologi Penelitian	29
Gambar 3. 2 Gambaran Umum Permasalahan Sistem Rantai Pasokan	31
Gambar 5. 1 Rancangan dan Hasil Komputasi Solver Excel.....	66
Gambar 5. 2 Pengaruh Prosentase Pengembalian Investasi Distributor Terhadap Kuantitas Pemesanan.....	79
Gambar 5. 3 Pengaruh Prosentase Pengembalian Investasi Distributor Terhadap Permissible Delay in Payment.....	79
Gambar 5. 4 Pengaruh Prosentase Pengembalian Investasi Distributor Terhadap Total Biaya Setiap Pemain.....	80
Gambar 5. 5 Pengaruh Prosentase Pengembalian Investasi Distributor Terhadap Total Biaya Sistem Rantai Pasokan	80
Gambar 5. 6 Pengaruh Prosentase Pengembalian Investasi Terhadap Kuantitas Pemesanan	83
Gambar 5. 7 Pengaruh Prosentase Pengembalian Investasi Terhadap Permissible Delay in Payment.....	83
Gambar 5. 8 Pengaruh Prosentase Pengembalian Investasi Terhadap Total Biaya Setiap Pemain	84
Gambar 5. 9 Pengaruh Prosentase Pengembalian Investasi Terhadap Total Biaya Sistem Rantai Pasokan	84
Gambar 5. 10 Pengaruh Financial Holding Cost Manufacture – Raw Material Terhadap Kuantitas Pemesanan	86
Gambar 5. 11 Pengaruh Financial Holding Cost Manufacture – Raw Material Terhadap Permissible Delay in Payment	87
Gambar 5. 12 Pengaruh Financial Holding Cost Manufacture – Raw Material Terhadap Total Biaya Supplier.....	87
Gambar 5. 13 Pengaruh Financial Holding Cost Manufacture – Raw Material Terhadap Total Biaya Manufaktur	88
Gambar 5. 14 Pengaruh Financial Holding Cost Manufacture – Raw Material Terhadap Total Biaya Sistem Rantai Pasokan.....	88
Gambar 5. 15 Pengaruh Permintaan Drop-Shipper Terhadap Kuantitas Pemesanan	90

Gambar 5. 16 Perbandingan Permintaan Drop-Shipper dan Kontrak Kuantitas Pembelian Minimum.....	90
Gambar 5. 17 Pengaruh Permintaan Drop-Shipper dan Kontrak Kuantitas Pembelian Minimum Pada Total Biaya Sistem Rantai Pasokan	91

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Penelitian

Manajemen rantai pasokan (*supply chain management* - SCM) harus dipertimbangkan dalam perusahaan dengan tujuan meningkatkan keberlanjutan dan daya saing. Menurut Seuring (2004), kerjasama adalah satu-satunya cara bagi perusahaan untuk meningkatkan daya saing rantai pasokan. SCM dijalankan untuk mengintegrasikan perusahaan-perusahaan dalam rantai pasokan dengan cara mengkoordinasikan aliran bahan, informasi, dan keuangan dengan tujuan pemenuhan permintaan konsumen dan rantai pasokan yang kompetitif (Stadtler, 2005). Koordinasi tersebut dapat menjadi media kolaborasi yang menunjang terjadinya integrasi yang sempurna. Selama dapat menghasilkan efisiensi yang lebih baik dalam rantai pasokan, kolaborasi dalam manajemen rantai pasokan dapat menjadi suatu hal yang penting. Dengan meningkatkan kolaborasi diantara pemain dalam rantai pasokan, dapat menurunkan total biaya sistem. Sebagai contoh, *join economic lot sizing* diantara pemain dalam rantai pasokan menjadi salah satu mekanisme yang efisien dalam menurunkan total biaya rantai pasokan (Glock, 2012). Dalam keadaan ekonomi global sekarang ini, keberlanjutan rantai pasokan dapat menjadi kunci sukses perusahaan dalam menurunkan biaya operasional. Dengan fokus kepada manajemen rantai pasokan yang berkelanjutan, perusahaan dapat sadar bahwa persediaan di seluruh rantai pasokan akan menjadi lebih efisien jika dikelola dengan kerjasama yang lebih besar dan koordinasi yang lebih baik (Aljazzar et al., 2016).

Tujuan utama dari koordinasi antara para pemain dalam rantai pasokan adalah untuk meminimumkan biaya rantai pasokan secara keseluruhan. Sulit untuk berbagi informasi lengkap dalam rantai pasokan desentralisasi, karena sebagian besar anggotanya adalah perusahaan independen yang fokus pada usaha memaksimalkan keuntungan mereka sendiri (Iyer et al., 2007). Berbeda dengan sentralisasi, akan memungkinkan seluruh pemain dalam rantai pasokan bekerja sama dalam pengambilan keputusan. Tujuannya adalah memaksimalkan seluruh kinerja rantai pasokan dengan pengambilan keputusan yang efektif secara bersama-sama. Hal-hal yang tidak efisien di sepanjang rantai pasokan akan berkurang dengan pencocokan yang lebih baik dari sisi pasokan maupun permintaan. Akibat dari koordinasi yang berhasil adalah peningkatan penjualan karena peningkatan profitabilitas rantai pasokan (Aljazzar et al., 2016). Sebagai contoh menurut Glock (2012), keputusan koordinasi dalam pemenuhan persediaan pada satu sistem rantai pasokan dapat meningkatkan efisiensi saluran dan posisi perusahaan yang terlibat didalamnya. Skenario

sentralisasi dengan pengambilan keputusan secara bersama memungkinkan untuk meningkatkan keuntungan total rantai pasokan (Marchi et al., 2016).

Keringanan penundaan pembayaran tanpa beban bunga selama jangka waktu tertentu lebih populer dengan sebutan *delay in payment*. Kebijakan tersebut merupakan salah satu cara koordinasi dengan memperbolehkan pelanggan menunda pembayaran kepada vendor selama periode tertentu tanpa beban bunga (Jaber dan Osman, 2006). *Delay in payment* akan diberikan oleh penjual ke pembeli untuk mengantisipasi menurunnya persediaan barang di hilir. Dengan memberikan kebijakan tersebut juga akan menarik pembeli (pemain satu level dibawahnya) untuk membeli pada lot yang lebih besar dari jumlah pemesanan ekonomis mereka. Dengan meningkatnya kuantitas order pembeli, maka persediaan akan berpindah kepada pembeli (Aljazzar et al., 2015). Bagi pembeli, keuntungan terjadi karena pembeli mendapatkan waktu sebelum harus membayar. Menurut Goyal (1985) ketika *supplier* memberi suatu periode penundaan pembayaran, secara tidak langsung *supplier* memberi pelanggan pinjaman tanpa beban bunga hingga akhir periode tersebut. Sehingga umumnya pelanggan akan menahan hingga akhir waktu yang diberikan. Pada sisi lain, pembeli juga mendapatkan keuntungan dengan menginvestasikan pinjaman mereka pada investasi bebas resiko selama periode yang diizinkan. Jika pembeli membayar diluar waktu yang telah diizinkan maka akan dikenakan bunga.

Drop-shipping bukanlah hal yang baru di era sekarang ini. Dalam model *drop-shipping internet retailing*, *supplier* akan memegang persediaan dan juga akan melaksanakan layanan distribusi fisik atas nama *drop-shipper* (Rabinovich et al., 2008). Sehingga *drop-shipper* hanya berfokus pada penjualan, sedangkan proses fisik tetap akan ditangani oleh *supplier* mereka. Penjualan *online retail* diperkirakan akan terus tumbuh dari 7% atas penjualan retail secara keseluruhan pada tahun 2011, dan menjadi 9% pada tahun 2016 (Yu et al., 2017). Saluran *drop-shipping* menjadi lebih efisien dibandingkan dengan saluran tradisional, karena pada umumnya pada saluran tradisional sering terjadi kurangnya koordinasi (Chiang dan Feng, 2010). Ketika merancang kontrak untuk mengkoordinasikan *channel drop-shipper*, manufaktur memiliki kekuatan negosiasi yang lebih dalam pengambilan profit. Sehingga, tidak salah jika suatu distributor juga menjual produknya melalui *drop-shipper* disamping saluran tradisional. Masalah ini adalah salah satu yang akan menjadi sorotan dalam penelitian ini, saat distributor tidak hanya memiliki rekan *retailer (traditional channel)*, tetapi juga *drop-shipper (internet channel)*. Pada penelitian sebelumnya (Gan et al., 2010) mengemukakan bahwa, umumnya *drop-shipper* memiliki informasi permintaan pelanggan yang lebih baik dari pada distributor. Sering kali *drop-shipper* mengirimkan perkiraan permintaan yang jumlahnya lebih dari estimasi mereka dengan

tujuan memaksimalkan kepentingan mereka sendiri, sehingga mereka berharap persediaan distributor akan selalu mampu dalam menangani permintaan mereka. Disisi lain karena *drop-shipper* tidak memiliki persediaan, maka mereka beranggapan permintaan tidak akan selalu terpenuhi karena kekurangan persediaan distributor. Perkiraan permintaan yang lebih dari estimasi penjualan *drop-shipper*, bisa jadi akan mengakibatkan *overstock* pada distributor. Hal seperti itu akan merugikan distributor sebagai pengelola *inventory*. Untuk dapat mengatasi permasalahan tersebut harus dibuat kontrak komitmen pinalti. Tentunya kontrak tersebut harus menguntungkan kedua pihak dengan tujuan untuk memberikan kepastiaan lebih untuk permintaan dan pasokan.

Beberapa dekade lalu, penelitian yang dilakukan oleh Goyal (1985) berhasil mengembangkan model *economic order quantity* dengan pertimbangan *delay in payment*. Penelitian tersebut berfokus pada variabel keputusan penentuan kuantitas optimal. Salah satu penemuannya adalah interval *replenishment* akan meningkat seiring dengan retailer yang dapat melakukan penundaan pembayaran tanpa terkena bunga. Penelitian tentang *delay in payment* terus berkembang, para peneliti mencoba menganalisa berbagai situasi persediaan dan asumsi yang berbeda. Beberapa peneliti telah berhasil mengembangkan model *delay in payment* dengan berbagai modifikasi, salah satu metode koordinasi adalah dengan membuat persetujuan bersama. Beberapa penelitian membahas kebijakan *delay in payment* pada sistem perusahaan yang menggunakan dual sales channel. Dalam perusahaan yang menggunakan sistem dual channel, kebijakan *delay in payment* dapat menjadi kompensasi atau nilai lebih untuk *channel* tradisional yang pangsa pasarnya dapat berpindah / ter-kanibalisme oleh *direct channel* (Nurshanti, 2011). Beberapa penelitian tentang *delay in payment* yang berfokus pada fungsi tujuan menentukan *lot size* optimal telah dibahas oleh Chung et al. (2005), Nurshanti (2011), Glock (2012), dan Jaber dan Osman (2006). Belakangan, Aljazzar et al. (2015) mencoba mengembangkan model *delay in payment* satu eselon dengan fungsi tujuan panjang waktu. Kemudian, Aljazzar et al. (2016) mencoba mengembangkan model *delay in payment* tersebut menjadi dua eselon. Akhir-akhir ini Marchi et al. (2016) mengembangkan model sharing investasi yang saling menguntungkan antara *vendor* dan *buyer*. Beberapa penelitian juga mengembangkan model dengan variabel keputusan finansial. Penelitian tentang *drop-shipper* telah dilakukan oleh beberapa peneliti walaupun lebih jarang dibandingkan penelitian *delay in payment*. Pengembangan model strategis untuk penentuan harga dan ukuran pemesanan pada rantai pasokan dengan *drop-shipping*, telah dilakukan oleh Chiang dan Feng (2010). Pada penelitiannya tersebut dikembangkan model EOQ untuk interaksi diantara manufaktur dan *retailer / drop-shipper* dengan melakukan *joint pricing* dan *lot sizing decision*. Penulis mengemukakan bahwa pada manufaktur yang memiliki *channel drop-shipper*,

kontrol penuh *lot-sizing* dipegang oleh *drop-shipper*. Pada penelitian yang dilakukan oleh Gan et al. (2010), dikembangkan model kontrak pinalti yang bertujuan agar *supplier* dapat mendapatkan informasi *demand retailer* dengan lebih valid dan *expected profit supplier* akan dapat dimaksimumkan. Saat pemasok menjadi pemegang penuh persediaan, *drop-shipper* pasti tidak dapat kontrol persediaan *supplier* dan dapat dengan mudah kehilangan penjualan. Dengan begitu, dikembangkan kontrak pinalti sebagai cara koordinasi yang isinya *supplier* akan memasok sebanyak kuantitas yang sesuai pada kontrak dan *drop-shipper* juga membeli dengan jumlah yang sesuai pada kontrak, jika tidak sesuai akan dikenakan beban pinalti. Pada penelitian lainnya, Khouja dan Stylianou (2009) mengembangkan model persediaan dengan opsi *drop-shipping*. Model rantai pasokan dengan *delay in payment* dan *profit sharing* juga telah berhasil dikembangkan oleh Jaber dan Osman (2006). Dengan koordinasi *profit sharing*, *retailer* dapat memesan lebih dari *economic order quantity* mereka. Moussawi-Haidar et al. (2014) mengembangkan model *supply chain* dua eselon dengan *delay in payments* dan *discount interest rate*. Dengan model koordinasi tersebut dapat menurunkan biaya lebih dari 26,2% dibandingkan dengan tidak ada koordinasi. Beberapa peneliti memiliki anggapan berbeda tentang definisi eselon dalam rantai pasokan. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Edirisinghe dan Atkins (2017), istilah eselon diartikan sebagai hubungan antara dua pemain. Sebagai contoh, *supplier* dan distributor dikatakan satu eselon. Berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Heydari et al. (2016), istilah eselon diartikan sebagai jumlah pemain yang berada didalam sistem rantai pasokan. Sebagai contoh, *supplier* dan distributor dikatakan dua eselon. Pada penelitian ini, penulis akan mendefinisikan eselon sebagai hubungan antara dua pemain. Sehingga *supplier*, *manufacturer*, distributor, dan *drop-shipper* dikatakan menjadi tiga eselon.

Kontribusi dalam penelitian ini akan difokuskan pada integrasi dari rantai pasokan tiga eselon, yaitu *supplier*, *manufacturer*, distributor, dan *drop-shipper*. Pertimbangan yang akan digunakan adalah koordinasi *delay in payment* pada eselon 1 dan 2, juga kontrak pinalti pada eselon 3. Akan diteliti sistem penjualan distributor yang mendapat barang dari manufaktur kemudian akan memasarkan produknya melalui *drop-shipper*. Akan dibangun model integrasi rantai pasokan tiga eselon dengan mempertimbangkan *delay in payment*. Pemasaran produk dengan *drop-shipper* sering kali dinilai merugikan distributor karena informasi permintaan yang tidak bisa di pertanggung jawabkan. Sehingga, pada model tersebut juga akan ditambahkan model pinalti untuk sistem penjualan dengan *drop-shipper* pada eselon 3. Dengan model tersebut akan dihitung total keuntungan pada setiap tingkatan serta total keuntungan terintegrasi pada sistem

rantai pasokan sebagai solusi yang optimal. Harapannya tidak ada pihak tertentu yang merasa dirugikan.

Problem dalam penelitian ini akan dimodelkan dan diselesaikan dengan mengasumsikan waktu panjang siklus secara umum. Dengan menggunakan simulasi berbagai macam kasus yang dapat merepresentasikan masalah sistem rantai pasokan yang telah dijelaskan sebelumnya, akan dihitung biaya total rantai pasokan dalam berbagai macam kasus tersebut. Juga akan dibandingkan total biaya rantai pasokan saat ada atau tidaknya penawaran *delay in payment* dan kontrak pinalti. Dari beberapa skenario kasus yang akan dicoba, akan dicari skenario dengan total biaya rantai pasokan paling minimum. Kemudian penulis akan menganalisa pengaruh masing-masing variabel independen pada total biaya rantai pasokan di bawah berbagai skenario kasus. Pada akhirnya penulis akan melakukan analisa sensitivitas pada beberapa variabel yang signifikan terhadap perubahan total biaya rantai pasokan. Sehingga dapat mengidentifikasi skenario terbaik dari setiap pemain dalam rantai pasokan.

1.2. Perumusan Masalah

Dalam penelitian ini akan dirancang sebuah model sistem rantai pasokan yang terintegrasi antara *supplier*, *manufacturer*, distributor, dan *drop-shipper*. *Supplier* memberikan *delay in payment* kepada manufaktur, begitu juga manufaktur memberikan *delay in payment* kepada distributor. Distributor memiliki rekan *drop-shipper* dalam memasarkan produknya ke konsumen. Perancangan kontrak pinalti untuk *drop-shipper* menjadi hal penting dalam menurunkan beberapa resiko yang harus ditanggung kedua pihak yaitu distributor dan *drop-shipper*. Sehingga dengan model tersebut, pada penelitian ini akan diselesaikan beberapa masalah, di antaranya adalah :

1. Berapa lama waktu *delay in payment* yang diberikan *supplier* kepada manufaktur, dan juga berapa lama waktu *delay in payment* yang diberikan manufaktur kepada distributor.
2. Berapa lama manufaktur menunda pembayaran kepada *supplier*, dan juga berapa lama distributor menunda pembayaran kepada manufaktur.
3. Seberapa besar nilai permintaan per periode pada kontrak pinalti untuk *drop-shipper*, sehingga saling menguntungkan.

1.3. Tujuan Penelitian

Pada penelitian ini akan dibangun model matematis yang dapat merepresentasikan masalah sistem rantai pasokan yang telah dijelaskan sebelumnya. Juga akan dicari solusi integrasi

optimal dengan pertimbangan koordinasi *delay in payment* dan kontrak pinalti. Sehingga tujuan penelitian ini dapat diuraikan pada poin-poin berikut :

1. Mendesain model rantai pasokan 3 eselon dengan mempertimbangkan *delay in payment* pada eselon 1 dan 2, dan kontrak pinalti untuk *drop-shipper* pada eselon 3.
2. Mendapatkan periode waktu *delay in payment* optimal yang akan ditawarkan oleh *supplier* dan manufaktur kepada level dibawahnya.
3. Mendapatkan periode waktu pembayaran optimal yang akan dilakukan oleh *manufaktur* dan distributor kepada level diatasnya.
4. Mengetahui ukuran *lot* optimal distributor yang berhubungan dengan kontrak pinalti permintaan *drop-shipper*.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat yang akan diberikan sebagai kontribusi dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menghasilkan model rantai pasokan 3 eselon yang terintegrasi antara *supplier*, manufaktur, distributor, dan *drop-shipper* dengan mempertimbangkan *delay in payment* dan kontrak pinalti.
2. Menghasilkan model manajemen persediaan pada distributor yang menghadapi permintaan tidak pasti dari *drop-shipper*.
3. Menemukan solusi integrasi pada rantai pasokan dengan *drop-shipper* sebagai salah satu anggotanya.

1.5. Ruang Lingkup Penelitian

Pada penelitian ini penulis akan memberikan batasan kinerja parameter yang akan digunakan dengan menetapkan batasan dan asumsi terlebih dahulu. Pada penelitian ini, penulis membatasi hanya pada satu *supplier*, satu manufaktur, satu *distributor*, satu *drop-shipper*, dan satu jenis produk. Asumsi yang digunakan antara lain :

1. Tingkat permintaan *drop-shipper* bersifat deterministik.
2. Permintaan pada manufaktur dan distributor bersifat deterministik dan konstan dari waktu ke waktu.
3. Tidak mempertimbangkan biaya pengiriman produk.
4. Pinalti berbasis waktu pada eselon 1, 2, dan berbasis kuantitas pada eselon 3.

1.6. Sistematika Penulisan

Secara garis besar sistematika penulisan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dijelaskan tentang latar belakang masalah yang akan diteliti, mengapa penelitian perlu dilakukan. Dalam bab ini juga akan dijelaskan mengenai perumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah dan asumsi sebagai ruang lingkup penelitian, serta sistematika penulisan penelitian.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan diuraikan tentang landasan teori baik konsep atau model matematis yang dapat mendukung penyelesaian pembentukan model matematis dalam penelitian ini dan menginterpretasikan hasil yang diperoleh dalam penelitian. Tentunya teori pendukung tersebut akan berhubungan dengan koordinasi rantai pasokan, *delay in payment*, kontrak pinalti, model persediaan, dan *drop-shipping*. Akan dijelaskan juga posisi penelitian terhadap penelitian sebelumnya.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan diuraikan tentang metodologi yang digunakan dalam penelitian ini. Akan dijabarkan juga secara detail model yang dikembangkan.

BAB IV : PERHITUNGAN NUMERIK DAN ANALISA SENSITIVITAS

Pada bab ini akan dilakukan perhitungan numerik pada model yang telah dibangun dengan parameter yang telah dikemukakan didalam jurnal pada penelitian-penelitian sebelumnya. Juga akan dilakukan uji sensitivitas terhadap parameter-parameter yang dianggap penting dilihat bagaimana pengaruhnya terhadap sistem secara keseluruhan.

BAB V : ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini penulis akan menganalisa hasil perhitungan numerik dan analisa sensitivitas pada model yang telah dibangun.

BAB VI : KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan diuraikan kesimpulan dari perhitungan numerik dan analisa yang telah dilakukan. Juga akan diberikan saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Koordinasi Rantai Pasokan

Dalam sistem rantai pasokan, koordinasi dapat menjadi salah satu cara yang efektif dalam meningkatkan daya saing pasar. Dalam mencapai daya saing pasar yang kuat, perusahaan harus menjamin persediaan produk mereka di sepanjang jalur rantai pasokan. Koordinasi dalam rantai pasokan tidak hanya akan meningkatkan daya saing, secara tidak langsung juga akan tercipta suatu sistem rantai pasokan yang berkelanjutan. Koordinasi bukanlah hal yang sulit pada zaman sekarang, dimana teknologi sudah sangat maju. Dengan rantai pasokan yang berkelanjutan dapat menurunkan biaya operasional dan menjadi kunci sukses suatu bisnis. Tentunya hal tersebut tidak terlepas dari bagaimana cara koordinasi tersebut dilakukan. Selama dapat menghasilkan efisiensi yang lebih baik dari sebelumnya, maka koordinasi dapat dikatakan layak untuk dilakukan (Glock, 2012). Salah satu contohnya, dengan *joint economic lot sizing* diantara pemain dalam rantai pasokan dapat menjadi salah satu menaklukkan yang efisien dalam menurunkan total biaya dalam rantai pasokan. Dalam rantai pasokan satu pemasok dan satu pembeli, ketidakpastian tidak hanya terjadi pada sisi permintaan tetapi juga di sisi pasokan. Menurut B. Hu dan Feng (2017) pasokan dan permintaan yang tidak pasti dalam satu sistem rantai pasokan dapat diselesaikan dengan mengkoordinasikan pemasok dan pembeli sehingga dapat terjadi *revenue sharing*. Dengan begitu kebijakan pemesanan optimum pembeli tidak hanya dipengaruhi oleh ketidakpastian permintaan, tetapi juga dipengaruhi oleh ketidakpastian pada pasokan.

Tujuan utama koordinasi adalah untuk meminimumkan biaya rantai pasokan secara total, walaupun pada praktiknya hal tersebut dapat merugikan satu pihak. Namun, tujuannya adalah untuk mencapai rantai pasokan yang berkelanjutan. Dengan pengambilan keputusan desentralisasi pada rantai pasokan, setiap pemain akan berusaha untuk memaksimalkan keuntungan mereka sendiri. Pada penelitian tentang kontrak koordinasi diantara 2 pemain dalam rantai pasokan, Ye et al. (2016) mengemukakan bahwa baik pemain pertama maupun kedua akan mendapatkan keuntungan yang lebih sedikit apabila menjalankan sistem tanpa kontrak atau desentralisasi. Berbeda dengan sentralisasi, dalam pengambilan keputusan sentralisasi, koordinasi akan terjadi dalam proses pengambilan keputusan bersama yang dilakukan oleh seluruh pemain. Tujuan umum dari keputusan sentralisasi ini adalah memaksimalkan kinerja di seluruh rantai pasokan. Hal-hal yang tidak efisien di sepanjang rantai pasokan dapat berkurang dengan pencocokan yang lebih baik dari sisi pasokan maupun permintaan. Menurut Aljazzar et al. (2016), koordinasi yang

berhasil akan berakibat pada peningkatan penjualan dan peningkatan profitabilitas rantai pasokan. Contohnya, persediaan di seluruh rantai pasokan akan menjadi lebih efisien jika dikelola dengan kerjasama yang lebih besar dan koordinasi yang lebih baik. Dengan begitu, koordinasi yang baik diantara pemain dalam rantai pasokan akan menghasilkan keuntungan jangka panjang pada masing-masing pemain. Tentunya hal tersebut tidak terlepas dari kerjasama yang dilakukan oleh seluruh pemain dalam rantai pasokan. Menurut Seuring (2004), kerjasama adalah satu-satunya cara bagi perusahaan dalam meningkatkan daya saing pasokan. SCM dijalankan untuk mengintegrasikan perusahaan-perusahaan dalam rantai pasokan serta mengkoordinasikan aliran bahan, informasi, dan keuangan dengan tujuan pemenuhan permintaan konsumen dan rantai pasokan yang kompetitif (Stadtler, 2005). Skenario sentralisasi dengan pengambilan keputusan secara bersama memungkinkan untuk meningkatkan keuntungan total rantai pasokan (Marchi et al., 2016).

2.2. *Delay in Payment*

Konsep *delay in payment* berawal dari kemudahan yang ingin ditawarkan suatu perusahaan kepada perusahaan yang berada satu tingkat dibawahnya untuk melakukan penundaan pembayaran selama periode tertentu. Sebagai contoh, *supplier* memberi *delay in payment* kepada manufaktur, atau manufaktur memberi *delay in payment* kepada retailer. Kebijakan *delay in payment* merupakan salah satu cara koordinasi dengan memperbolehkan pelanggan menunda pembayaran kepada vendor selama periode tertentu tanpa beban bunga (Jaber dan Osman, 2006). Kebijakan ini sering dilakukan sebagai salah satu strategi untuk meningkatkan penjualan dan menurunkan persediaan di gudang. Bagi pembeli, keuntungan terjadi karena pembeli mendapatkan waktu sebelum harus membayar. Menurut Goyal (1985) ketika *supplier* memberi suatu periode penundaan pembayaran, secara tidak langsung *supplier* memberi pelanggan pinjaman tanpa bunga hingga akhir periode tersebut. Sehingga umumnya pelanggan akan menahan hingga akhir waktu yang diberikan. Pada sisi lain, pembeli juga mendapatkan keuntungan dengan menginvestasikan pinjaman mereka pada investasi bebas resiko selama periode yang diizinkan. Namun jika pembeli membayar diluar waktu yang telah diizinkan maka akan dikenakan bunga. Bagi pemasok, keuntungan terjadi karena dengan memberikan kebijakan tersebut juga akan menarik pembeli (pemain satu level dibawahnya) untuk membeli pada lot yang lebih besar dari jumlah pemesanan ekonomis mereka. Karena meningkatnya kuantitas order pembeli, maka persediaan akan berpindah kepada pembeli (Aljazzar et al., 2015).

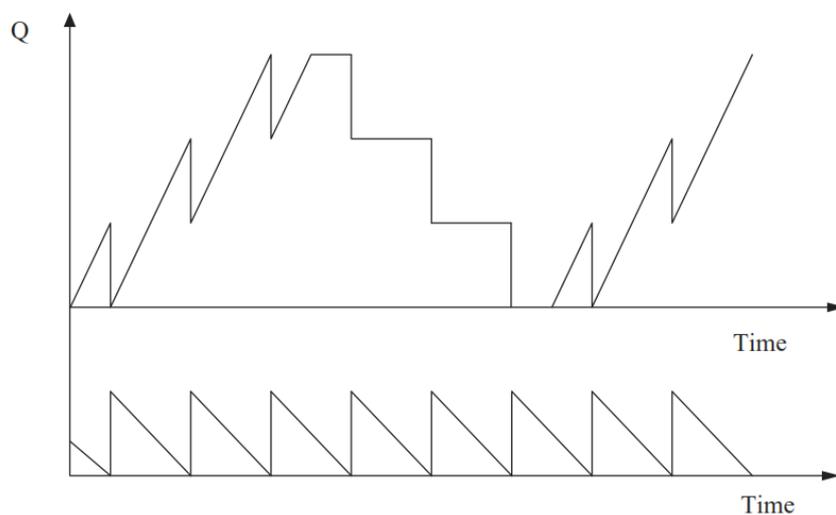
Jauh sebelum penelitian ini berkembang Goyal (1985), telah mengembangkan model *economic order quantity* dengan pertimbangan vendor memberikan *delay in payment* kepada pembeli. Peneliti tersebut adalah peneliti yang mengawali penelitian tentang *delay in payment*, kemudian beberapa peneliti mengembangkan kembali penelitian terkait *delay in payment* sampai pada saat sekarang ini. Beberapa modifikasi yang telah dilakukan peneliti dalam penelitian *delay in payment* adalah *part trade credit*, bunga, dan lot pembelian. *One part trade credit* terjadi saat vendor memberikan waktu penundaan pembayaran tanpa beban bunga selama periode tertentu kepada pembeli. Kemudian pembeli harus membayar pada saat jangka waktu penundaan pembayaran tersebut berakhir. Sehingga pembeli akan memiliki kesempatan untuk mendapatkan bunga atas investasi bebas resiko sampai dengan waktu pembayaran harus dilakukan. Sedikit berbeda dalam *two part trade credit*, vendor akan memberikan waktu penundaan pembayaran tanpa beban bunga selama periode tertentu kepada pembeli. Namun apabila pembeli ingin membayar lebih cepat akan mendapatkan diskon tertentu. Penelitian *delay in payment* yang berhubungan dengan *one part trade credit* yaitu Chung et al. (2005) dan Huang (2004) mengusulkan model persediaan EPQ untuk pembeli ketika pemasok menawarkan penundaan pembayaran. Beberapa tahun berikutnya F. Hu dan Liu (2010) membuang asumsi tidak ada *shortage* pada penelitian Huang (2004), sehingga mendapatkan model dengan tambahan pertimbangan diperbolehkannya terjadi *shortages*. Penelitian *delay in payment* yang berhubungan dengan *two part trade credit* diperkenalkan pertama kali oleh Goyal et al. (2007). Dalam penelitian tersebut dikembangkan model dengan *two part trade credit* dengan memberikan insentif tertentu apabila pembeli membayar sebelum akhir jangka waktu yang diperbolehkan.

Umumnya seluruh penelitian tentang *delay in payment* yang telah dibahas oleh peneliti terdahulu hanya berisi para pemain tradisional pada sistem rantai pasokannya. Sebagai contoh para pemain tradisional dalam rantai pasokan ini yaitu *supplier*, *manufacturer*, distributor, *retailer*, dan sebagainya. Seluruh pemain tradisional umumnya memiliki sistem yang tidak jauh berbeda dalam menangani produk yang akan dijual. Beberapa peneliti yang mengembangkan model *delay in payment* pada sistem rantai pasokan satu eselon adalah, Aljazzar et al. (2015) mengembangkan model pada sistem rantai pasokan satu eselon yang beranggotakan manufaktur dan retail, Chung et al. (2005) mengembangkan model pada sistem rantai pasokan satu eselon yang beranggotakan manufaktur dan retail, Jaber dan Osman (2006) mengembangkan model pada sistem rantai pasokan satu eselon yang beranggotakan *supplier* dan *retailer*. Beberapa peneliti juga mengembangkan model *delay in payment* pada sistem rantai pasokan dua eselon yaitu, Aljazzar et al. (2016) mengembangkan model pada sistem rantai pasokan dua eselon yang beranggotakan

supplier, manufaktur, *retailer*, Nurshanti (2011) mengembangkan model pada sistem rantai pasokan dua eselon yang beranggotakan *supplier*, manufaktur, *retailer*.

2.2.1. Literatur Tentang *Delay in Payment*

Pada sub bab ini akan dijabarkan beberapa literatur dari penelitian terdahulu yang membahas tentang *delay in payment* dan memberikan kontribusi pada penelitian ini. Penelitian-penelitian terdahulu tersebut akan menjadi dasar dalam pengembangan penelitian ini. Beberapa penelitian yang menjadi referensi utama penulis dalam pengembangan model pada penelitian ini diantaranya adalah Aljazzar et al. (2016) yang merancang model koordinasi pada rantai pasokan dua eselon dengan *delay in payment*. Pada model ini mempertimbangkan panjang siklus secara umum dalam memformulasikan model matematis, dimana panjang siklus adalah $T = \frac{n_2 Q}{D}$. Manufaktur akan melakukan pengiriman dengan jumlah yang sama dengan interval yang disesuaikan dengan produksi item untuk distributor melalui siklus yang sedang berjalan termasuk selama produksi. Aljazzar et al. (2016) mengadopsi kebijakan produksi yang telah dikembangkan sebelumnya oleh Hill (1997). Manufaktur akan membangun persediaan maksimum setelah pengiriman pertama, dimana persediaan manufaktur menjadi 0 setelah dikirimkan ke distributor. Siklus manufaktur berikutnya dimulai setelah semua kiriman dikirim ke distributor. Profil persediaan dari model produksi Hill (1997) dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Profil Persediaan Manufaktur dan *Retailer*, Hill (1997).

Notasi model matematis :

i : Pemain rantai pasok (s : *supplier*, m : *manufacturer*, dan r : *retailer*)

j : Jenis tingkat persediaan barang (w : *raw material*, f : *finished goods*).

$A_{i,j}$: Biaya *setup* / pemesanan yang dikeluarkan pemain ke- i terhadap barang ke- j .

- $C_{i,j}$: Biaya produksi / pembelian per item yang dikeluarkan pemain ke-i terhadap barang ke-j.
- $h_{i,j}$: *Financial holding cost per item* yang dikeluarkan pemain ke-i terhadap barang ke-j.
- $S_{i,j}$: *Physical (storage) holding cost per item* yang dikeluarkan pemain ke-i terhadap barang ke-j.
- Q : Kuantitas pemesanan distributor.
- n_1 : Jumlah pengiriman oleh *supplier* kepada manufaktur per siklus bahan baku manufaktur.
- n_2 : Jumlah pengiriman oleh manufaktur kepada distributor per siklus distributor.
- A : Jumlah bahan baku yang dibutuhkan untuk memproduksi satu produk jadi.
- t_i : Periode waktu *delay in payments* yang ditawarkan oleh pemain ke-i.
- τ_i : Waktu pembayaran yang dilakukan oleh pemain ke-i.
- k_i : Pengembalian investasi untuk pemain ke-i.
- P : Tingkat produksi tahunan manufaktur.
- D : Permintaan tahunan *retailer* $D < P$.
- T : Panjang siklus umum $= \frac{n_2 Q}{D}$.
- T_s : Panjang siklus *supplier* $= \frac{n_2 Q}{P}$.
- T_w : Panjang siklus bahan baku manufaktur $= \frac{n_2 Q}{n_1 P}$.
- T_m : Panjang siklus produk jadi manufaktur $= \frac{n_2 Q}{D}$.
- T_r : Panjang siklus *retailer* $= \frac{Q}{D}$.

Pada model yang dikembangkan oleh Aljazzar et al. (2016), panjang waktu *delay in payment* adalah sebagai variabel keputusan. Aljazzar et al. (2016) juga telah merancang beberapa skenario kasus, diantaranya adalah :

Kasus I-I : $0 \leq t_s = \tau_m \leq \frac{n_2 Q}{P n_1}$ dan $0 \leq t_m = \tau_r \leq \frac{Q}{D}$

Pada kasus ini, diasumsikan bahwa *supplier* memberi manufaktur keringanan selama periode waktu t_s untuk menyelesaikan pembayaran tanpa beban bunga. Manufaktur melakukan pembayaran τ_m pada akhir periode t_s . Dan juga diasumsikan bahwa manufaktur memberi *retailer* keringanan selama periode waktu t_m untuk menyelesaikan pembayaran tanpa beban bunga. *Retailer* melakukan pembayaran τ_r pada akhir periode t_m . Manufaktur dan *retailer* bisa jadi mendapat keuntungan lebih dengan melakukan pembayaran pada τ_m dan τ_r dengan cara melakukan investasi keuangannya dalam investasi bebas resiko. Sehingga, total biaya tahunan untuk *supplier* dapat diformulasikan sebagai berikut :

Biaya pada supplier per siklus

A_s : Biaya setup *supplier* per siklus.

$C_s \alpha n_2 Q$: Biaya produksi *supplier* per siklus.

$\frac{n_1(n_1-1)}{2} (h_s + S_s) \left(\frac{\alpha n_2^2 Q^2}{P n_1^2} \right)$: Biaya simpan *supplier* per siklus.

$h_s \tau_m \alpha n_2 Q$: Biaya simpan *financial supplier* yang dikeluarkan sampai dengan pembayaran dilakukan oleh manufaktur.

$(C_{m,w} - C_s) \alpha n_2 Q e^{k_s t_s}$: Penawaran penundaan pembayaran oleh *supplier* selama periode t_s akan menyebabkan timbulnya *opportunity cost of investing* keuntungan dalam investasi bebas resiko per siklus.

$C_{m,w} \alpha n_2 Q e^{k_s(\tau_m - t_s)}$: Pendapatan bunga dari manufaktur jika pembayaran dilakukan diluar periode yang diperbolehkan.

Total biaya per cycle

$$\psi_s^{I-I} = A_s + C_s \alpha n_2 Q + \frac{n_1(n_1-1)}{2} (h_s + S_s) \left(\frac{\alpha n_2^2 Q^2}{P n_1^2} \right) + h_s \tau_m \alpha n_2 Q + (C_{m,w} - C_s) \alpha n_2 Q e^{k_s t_s} - C_{m,w} \alpha n_2 Q e^{k_s(\tau_m - t_s)} \quad (2.1)$$

Total biaya tahunan : membagi persamaan diatas dengan panjang siklus umum $\frac{n_2 Q}{D}$.

$$\psi_s^{I-I} = \frac{A_s D}{n_2 Q} + C_{s,f} \alpha D + \frac{n_1(n_1-1)}{2} (h_s + S_s) \frac{\alpha n_2 Q D}{P n_1^2} + h_s \tau_m \alpha D + (C_{m,w} - C_s) \alpha D e^{k_s t_s} - C_{m,w} \alpha D e^{k_s(\tau_m - t_s)} \quad (2.2)$$

Diasumsikan bahwa, manufaktur menginvestasikan $C_{m,w} Q$ yang belum dibayar kepada *supplier* dalam investasi bebas resiko.

Biaya pada manufaktur (bahan baku) per siklus

$n_1 A_w$: Biaya pemesanan bahan baku manufaktur per siklus.

$C_{m,w} \alpha n_2 Q$: Biaya pembelian bahan baku manufaktur per siklus.

$h_{m,w} \frac{\alpha^2 n_2^2 Q^2}{2 \alpha P n_1} - h_{m,w} \alpha n_2 Q t_s + h_{m,w} \frac{n_1 \alpha P t_s^2}{2}$: Biaya simpan manufaktur per siklus yang timbul setelah pembayaran dilakukan oleh manufaktur.

$S_{m,w} \frac{\alpha n_2^2 Q^2}{2 P n_1}$: Biaya simpan physical manufaktur per siklus.

$C_{m,w} \alpha n_2 Q e^{k_s(\tau_m - t_s)}$ Beban bunga delay in payment yang akan dibayar oleh manufaktur

$C_{m,w} n_2 Q e^{k_m \tau_m}$: Pendapatan bunga yang dihasilkan dari investasi pendapatan dalam investasi bebas resiko selama periode penundaan pembayaran yang diperbolehkan oleh *supplier*.

Total biaya per siklus

$$\begin{aligned} \psi_{m,w}^{I-I} &= n_1 A_w + \frac{n_1 C_{m,w} \alpha n_2 Q}{n_1} + h_{m,w} \frac{n_1 \alpha^2 n_2^2 Q^2}{2 \alpha P n_1^2} - \frac{h_{m,w} n_1 \alpha n_2 Q t_s}{n_1} + h_{m,w} \frac{n_1 \alpha P t_s^2}{2} + \\ S_{m,w} &\frac{n_1 \alpha n_2^2 Q^2}{2 P n_1^2} + \frac{n_1 C_{m,w} \alpha n_2 Q e^{k_s(\tau_m - t_s)}}{n_1} - \frac{n_1 C_{m,w} n_2 Q e^{k_m \tau_m}}{n_1} \end{aligned} \quad (2.3)$$

Total biaya tahunan : membagi persamaan diatas dengan panjang siklus umum $\frac{n_2 Q}{D}$.

$$\begin{aligned} \psi_{m,w}^{I-I} &= \frac{n_1 A_{m,w} D}{n_2 Q} + \frac{C_{m,w} \alpha n_2 Q D}{n_2 Q} + \frac{h_{m,w} \alpha^2 n_2^2 Q^2 D}{2 \alpha P n_1 n_2 Q} - \frac{h_{m,w} \alpha n_2 Q t_s D}{n_2 Q} + \frac{h_{m,w} n_1 \alpha P t_s^2 D}{2 n_2 Q} + \frac{S_{m,w} \alpha n_2^2 Q^2 D}{2 P n_1 n_2 Q} + \\ &\frac{C_{m,w} \alpha n_2 Q e^{k_s(\tau_m - t_s)} D}{n_2 Q} - \frac{C_{m,w} \alpha n_2 Q e^{k_m \tau_m} D}{n_2 Q} \end{aligned} \quad (2.4)$$

Selanjutnya, manufaktur memberi retailer keringanan selama periode waktu t_m untuk menyelesaikan pembayaran $C_r Q$ tanpa beban bunga. Bagaimanapun, itu akan menyebabkan *opportunity cost* pada manufaktur dengan perbandingan jika jumlah hutang distributor tersebut diinvestasikan.

Biaya pada manufaktur (produk jadi) per siklus

A_m : Biaya *setup* manufaktur untuk produk jadi per siklus.

$C_{m,f} n_2 Q$: Biaya produksi manufaktur per siklus.

$(h_{m,f} + S_{m,f}) \left[\frac{n_2 Q^2 (2D + (P-D)n_2 - P)}{2DP} \right]$: Biaya simpan manufaktur untuk produk jadi.

$h_{m,f} \tau_r n_2 Q$: Biaya simpan finansial manufaktur akibat dari menawarkan penundaan pembayaran kepada distributor.

$n_2 Q (C_r - C_{m,f}) e^{k_m t_m}$: Penawaran penundaan pembayaran oleh manufaktur selama periode t_m akan menyebabkan timbulnya *opportunity cost of investing* keuntungan dalam investasi bebas resiko per siklus.

$C_r n_2 Q e^{k_m(\tau_r - t_m)}$: Beban bunga per siklus yang akan dibayar oleh retailer kepada manufaktur ketika retailer melakukan pembayaran diluar periode penundaan pembayaran yang diperbolehkan oleh manufaktur

Total biaya per siklus

$$\begin{aligned} \psi_{m,f}^{I-I-I} &= A_{m,f} + C_{m,f} n_2 Q + (h_{m,f} + S_{m,f}) \left[\frac{n_2 Q^2 (2D + (P-D)n_2 - P)}{2DP} \right] + h_{m,f} \tau_r n_2 Q + n_2 Q (C_r - \\ &C_{m,f}) e^{k_m t_m} - C_r n_2 Q e^{k_m(\tau_r - t_m)} \end{aligned} \quad (2.5)$$

Total biaya tahunan : membagi persamaan diatas dengan panjang siklus umum $\frac{n_2 Q}{D}$.

$$\psi_{m,f}^{I-I-I} = \frac{A_{m,f}D}{n_2Q} + C_{m,f}D + (h_{m,f} + S_{m,f}) \left[\frac{Q(2D_r + (P-D)n_2 - P)}{2P} \right] + h_{m,f}t_rD + (C_r - C_{m,f})De^{k_m t_m} - C_rDe^{k_m(\tau_d - t_m)} \quad (2.6)$$

Sama dengan biaya bahan baku manufaktur, diasumsikan retailer menginvestasikan C_rQ yang belum dibayar kepada manufaktur dalam investasi bebas resiko.

Biaya pada retailer

n_2A_r : Biaya pemesanan retailer per siklus.

$C_r n_2Q$: Biaya pembelian retailer per siklus.

$n_2h_r \frac{(Q - D_r t_m)^2}{2D}$: Biaya simpan retailer yang timbul setelah penyelesaian pembayaran dengan manufaktur.

$\frac{n_2S_r}{2D} Q^2$: Biaya simpan fisik retailer per siklus.

$n_2QC_r(1 - e^{k_r t_m})$: Pendapatan bunga retailer dengan menginvestasikan pendapatan selama periode penundaan pembayaran yang diberikan manufaktur.

Total biaya per siklus

$$\psi_r^{I-I} = n_2A_r + C_r n_2Q + n_2h_r \frac{(Q - D_r t_m)^2}{2D} + \frac{n_2S_r}{2D} Q^2 - n_2QC_r(1 - e^{k_r t_m}) \quad (2.7)$$

Total biaya tahunan : membagi persamaan diatas dengan panjang siklus umum $\frac{n_2Q}{D}$.

$$\psi_{d,f}^{I-I-I} = \frac{A_rD}{Q} + C_rD + h_r \frac{(Q - D_r t_m)^2}{2Q} + \frac{S_r}{2} Q - C_rD(1 - e^{k_r t_m}) \quad (2.8)$$

Total biaya tahunan dari sistem dapat dicari dengan menjumlahkan total biaya tahunan dari masing-masing pemain

$$\begin{aligned} \psi_{SC}^{I-I} = & \frac{A_sD}{n_2Q} + C_{s,f}\alpha D + \frac{n_1(n_1-1)}{2} (h_s + S_s) \frac{\alpha n_2 Q D}{P n_1^2} + h_s \tau_m \alpha D + (C_{m,w} - C_s) \alpha D e^{k_s t_s} - \\ & C_{m,w} \alpha D e^{k_s(\tau_m - t_s)} + \frac{n_1 A_{m,w} D}{n_2 Q} + \frac{C_{m,w} \alpha n_2 Q D}{n_2 Q} + \frac{h_{m,w} \alpha^2 n_2^2 Q^2 D}{2 \alpha P n_1 n_2 Q} - \frac{h_{m,w} \alpha n_2 Q t_s D}{n_2 Q} + \frac{h_{m,w} n_1 \alpha P t_s^2 D}{2 n_2 Q} + \\ & \frac{S_{m,w} \alpha n_2^2 Q^2 D}{2 P n_1 n_2 Q} + \frac{C_{m,w} \alpha n_2 Q e^{k_s(\tau_m - t_s)} D}{n_2 Q} - \frac{C_{m,w} \alpha n_2 Q e^{k_m \tau_m} D}{n_2 Q} + \frac{A_{m,f} D}{n_2 Q} + C_{m,f} D + (h_{m,f} + \\ & S_{m,f}) \left[\frac{Q(2D_r + (P-D)n_2 - P)}{2P} \right] + h_{m,f} t_r D + (C_r - C_{m,f}) D e^{k_m t_m} - C_r D e^{k_m(\tau_d - t_m)} + \frac{A_r D}{Q} + C_r D + \\ & h_r \frac{(Q - D_d t_m)^2}{2Q} + \frac{S_r}{2} Q - C_r D (1 - e^{k_r t_m}) \end{aligned} \quad (2.9)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial Q} \psi_{SC}^{I-I} = & -(A_s + n_1 A_{m,w} + A_{m,f} + A_r n_2) \frac{D}{n_2 Q^2} + \frac{(n_1 - 1)(h_s + S_s) \alpha n_2 D + h_{m,w} \alpha n_2 D + S_{m,w} \alpha n_2 D}{2 P n_1} - \\ & \frac{h_{m,w} \alpha P n_1 D t_s^2}{2 n_2 Q^2} + \frac{h_r n_2 Q}{2 n_2} - \frac{h_r n_2 D^2 t_m^2}{2 n_2 Q} + \frac{(2D + (P - D) n_2 - P)(h_{m,f} + S_{m,f}) + S_r P}{2 P} \end{aligned} \quad (2.10)$$

Maka, turunan kedua terhadap Q adalah

$$\frac{\partial^2}{\partial Q^2} \psi_{SC}^{I-I} = (A_s + n_1 A_{m,w} + A_{m,f} + A_r n_2) \frac{D}{n_2 Q^4} - \frac{h_{m,w} \alpha P n_1 D t_s^2}{2 n_2 Q^4} + \frac{h_r n_2}{2 n_2} - \frac{h_r n_2 D^2 t_m^2}{2 n_2 Q^2} > 0 \quad (2.11)$$

Sehingga, Q optimal yang meminimalkan biaya total sistem dapat ditemukan dengan mengatur

$\frac{\partial}{\partial Q} \psi_{SC}^{I-I} = 0$ dan mencari Q :

$$Q^{I-I} = \sqrt{\frac{A^{I-I}(n_1, n_2, t_s, t_m)}{h(n_1, n_2) + S(n_2)}} \quad (2.12)$$

Dimana,

$$A^{I-I}(n_1, n_2, t_s, t_m) = \left[A_s + n_1 A_{m,w} + A_{m,f} + A_r n_2 + \frac{\alpha n_1 h_{m,w} P t_s^2}{2} + \frac{n_2 h_r D t_m^2}{2} \right] \frac{D}{n_2} \quad (2.13)$$

$$h(n_1, n_2) = [h_{m,w} + S_{m,w} + (n_1 - 1)(h_s + S_s)] \frac{\alpha n_2 D}{2 P n_1} \quad (2.14)$$

$$S(n_2) = \left[\frac{(S_r P + h_r P + (h_{m,f} + S_{m,f})(2D + n_2)(P - D) - P)}{2 P} \right] \quad (2.15)$$

Kasus I-II : $0 \leq t_s = \tau_m \leq \frac{n_2 Q}{P n_1}$ dan $0 \leq t_m < \tau_r \leq \frac{Q}{D}$

Pada kasus ini, diasumsikan bahwa *supplier* memberi manufaktur keringanan selama periode waktu t_s untuk menyelesaikan pembayaran tanpa beban bunga. Manufaktur melakukan pembayaran τ_m pada akhir periode t_s . Dan juga diasumsikan bahwa manufaktur memberi retailer keringanan selama periode waktu t_m untuk menyelesaikan pembayaran tanpa beban bunga. Retailer melakukan pembayaran τ_r setelah akhir periode t_m dan sebelum menerima pengiriman selanjutnya. Manufaktur dan retailer bisa jadi mendapat keuntungan lebih dengan melakukan pembayaran pada τ_m dan τ_r dengan cara melakukan investasi keuangannya dalam investasi bebas resiko. Namun retailer juga harus menanggung beban bunga kepada manufaktur karena melakukan pembayaran diluar batas waktu yang diberikan. Sehingga, total biaya tahunan untuk retailer dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$\psi_r^{I-II} = \frac{A_r D}{Q} + C_r D + \frac{h_r (Q - D \tau_r)^2}{2 Q} + \frac{S_r Q}{2} + C_r D (e^{k_m (\tau_r - t_m)} - e^{k_r t_m}) \quad (2.16)$$

Model matematis untuk ψ_s^{I-II} , $\psi_{m,w}^{I-II}$, dan $\psi_{m,f}^{I-II}$ sama dengan kasus I-I. Sehingga, total biaya tahunan dari sistem dapat dicari dengan menjumlahkan total biaya tahunan dari masing-masing pemain adalah :

$$\begin{aligned} \psi_{SC}^{I-II} = & \frac{A_s D}{n_2 Q} + C_{s,f} \alpha D + \frac{n_1(n_1-1)}{2} (h_s + S_s) \frac{\alpha n_2 Q D}{P n_1^2} + h_s \tau_m \alpha D + (C_{m,w} - C_s) \alpha D e^{k_s t_s} - \\ & C_{m,w} \alpha D e^{k_s(\tau_m - t_s)} + \frac{n_1 A_{m,w} D}{n_2 Q} + \frac{C_{m,w} \alpha n_2 Q D}{n_2 Q} + \frac{h_{m,w} \alpha^2 n_2^2 Q^2 D}{2 \alpha P n_1 n_2 Q} - \frac{h_{m,w} \alpha n_2 Q t_s D}{n_2 Q} + \frac{h_{m,w} n_1 \alpha P t_s^2 D}{2 n_2 Q} + \\ & \frac{S_{m,w} \alpha n_2^2 Q^2 D}{2 P n_1 n_2 Q} + \frac{C_{m,w} \alpha n_2 Q e^{k_s(\tau_m - t_s)} D}{n_2 Q} - \frac{C_{m,w} \alpha n_2 Q e^{k_m \tau_m} D}{n_2 Q} + \frac{A_{m,f} D}{n_2 Q} + C_{m,f} D + (h_{m,f} + \\ & S_{m,f}) \left[\frac{Q(2D_r + (P-D)n_2 - P)}{2P} \right] + h_{m,f} t_r D + (C_r - C_{m,f}) D e^{k_m t_m} - C_r D e^{k_m(\tau_r - t_m)} + \frac{A_r D}{Q} + C_r D + \\ & \frac{h_r(Q - D t_r)^2}{2Q} + \frac{S_r Q}{2} + C_r D (e^{k_m(\tau_r - t_m)} - e^{k_r t_m}) \end{aligned} \quad (2.17)$$

Sehingga, Q optimal yang meminimalkan biaya total sistem dapat ditemukan dengan mengatur

$\frac{\partial}{\partial Q} \psi_{SC}^{I-II} = 0$ dan mencari Q :

$$Q^{I-I} = \sqrt{\frac{A^{I-II}(n_1, n_2, t_s, t_m)}{h^{I-I}(n_1, n_2) + S^{I-I}(n_2)}} \quad (2.18)$$

Dimana $h^{I-I}(n_1, n_2)$ dan $S^{I-I}(n_2)$ telah dirumuskan sebelumnya pada Eq 2.12

$$A^{I-II}(n_1, n_2, t_s, t_r) = \left[A_s + A_{m,f} + n_1 A_{m,w} + n_2 A_r + \frac{\alpha n_1 h_w P t_s^2}{2} + \frac{n_2 h_r D t_r^2}{2} \right] \frac{D}{n_2} \quad (2.19)$$

Kasus II-I: $0 \leq t_s < \tau_m \leq \frac{n_2 Q}{P n_1}$ dan $0 \leq t_m = \tau_r \leq \frac{Q}{D}$

Pada kasus ini, diasumsikan bahwa *supplier* memberi manufaktur keringanan selama periode waktu t_s untuk menyelesaikan pembayaran tanpa beban bunga. Manufaktur melakukan pembayaran τ_m setelah akhir periode t_s dan sebelum menerima pengiriman selanjutnya. Dan juga diasumsikan bahwa manufaktur memberi retailer keringanan selama periode waktu t_m untuk menyelesaikan pembayaran tanpa beban bunga. Retailer melakukan pembayaran τ_r pada akhir periode t_m . Manufaktur dan retailer bisa jadi mendapat keuntungan lebih dengan melakukan pembayaran pada τ_m dan τ_r dengan cara melakukan investasi keuangannya dalam investasi bebas resiko. Namun manufaktur juga harus menanggung beban bunga kepada *supplier* karena melakukan pembayaran diluar batas waktu yang diberikan. Sehingga, total biaya tahunan untuk manufaktur (bahan baku) dapat diformulasikan sebagai berikut :

Total biaya tahunan pada manufaktur (bahan baku)

$$\begin{aligned} \psi_{m,w}^{II-I} = & \frac{n_1 A_{m,w} D}{n_2 Q} + C_{m,w} \alpha D + \frac{h_{m,w} \alpha n_2 Q D}{2 P n_1} - h_{m,w} \alpha t_m D + \frac{h_{m,w} \alpha P n_1 D \tau_m^2}{2 n_2 Q} + \frac{S_{m,w} \alpha n_2 Q D}{2 P n_1} + \\ & C_{m,w} \alpha D (e^{k_s(\tau_m - t_s)} - e^{k_m \tau_m}) \end{aligned} \quad (2.20)$$

Model matematis untuk ψ_s^{II-I} , $\psi_{m,f}^{II-I}$, dan ψ_r^{II-I} sama dengan kasus I-I. Sehingga, total biaya tahunan dari sistem dapat dicari dengan menjumlahkan total biaya tahunan dari masing-masing pemain adalah :

$$\begin{aligned} \psi_{SC}^{II-I} = & \frac{A_s D}{n_2 Q} + C_{s,f} \alpha D + \frac{n_1(n_1-1)}{2} (h_s + S_s) \frac{\alpha n_2 Q D}{P n_1^2} + h_s \tau_m \alpha D + (C_{m,w} - C_s) \alpha D e^{k_s t_s} - \\ & C_{m,w} \alpha D e^{k_s(\tau_m - t_s)} + \frac{n_1 A_{m,w} D}{n_2 Q} + C_{m,w} \alpha D + \frac{h_{m,w} \alpha n_2 Q D}{2 P n_1} - h_{m,w} \alpha t_m D + \frac{h_{m,w} \alpha P n_1 D \tau_m^2}{2 n_2 Q} + \\ & \frac{S_{m,w} \alpha n_2 Q D}{2 P n_1} + C_{m,w} \alpha D (e^{k_s(\tau_m - t_s)} - e^{k_m \tau_m}) + \frac{A_{m,f} D}{n_2 Q} + C_{m,f} D + (h_{m,f} + \\ & S_{m,f}) \left[\frac{Q(2D_r + (P-D)n_2 - P)}{2P} \right] + h_{m,f} t_r D + (C_r - C_{m,f}) D e^{k_m t_m} - C_r D e^{k_m(\tau_d - t_m)} + \frac{A_r D}{Q} + C_r D + \\ & h_r \frac{(Q - D_a t_m)^2}{2Q} + \frac{S_r}{2} Q - C_r D (1 - e^{k_r t_m}) \end{aligned} \quad (2.21)$$

Sehingga, Q optimal yang meminimalkan biaya total sistem dapat ditemukan dengan mengatur

$\frac{\partial}{\partial Q} \psi_{SC}^{II-I} = 0$ dan mencari Q :

$$Q^{II-I} = \sqrt{\frac{A^{II-I}(n_1, n_2, \tau_{m,w}, t_m)}{h^{I-I}(n_1, n_2) + S^{I-I}(n_2)}} \quad (2.22)$$

Dimana $h^{I-I}(n_1, n_2)$ dan $S^{I-I}(n_2)$ telah dirumuskan sebelumnya pada Eq 2.12

$$A^{II-I}(n_1, n_2, \tau_{m,w}, t_m) = \left[A_s + A_m + n_1 A_{m,w} + n_2 A_r + \frac{h_{m,w} \alpha P \tau_m^2 n_1}{2} + \frac{n_2 h_r D t_m^2}{2} \right] \frac{D}{n_2} \quad (2.23)$$

Kasus II-II: $0 \leq t_s < \tau_{m,w} \leq \frac{n_2 Q}{P n_1}$ dan $0 \leq t_m < \tau_r \leq \frac{Q}{D}$

Pada kasus ini, diasumsikan bahwa *supplier* memberi manufaktur keringanan selama periode waktu t_s untuk menyelesaikan pembayaran tanpa beban bunga. Manufaktur melakukan pembayaran τ_m setelah akhir periode t_s dan sebelum menerima pengiriman selanjutnya. Dan juga diasumsikan bahwa manufaktur memberi retailer keringanan selama periode waktu t_m untuk menyelesaikan pembayaran tanpa beban bunga. Retailer melakukan pembayaran τ_r setelah akhir periode t_m . Manufaktur dan retailer bisa jadi mendapat keuntungan lebih dengan melakukan pembayaran pada τ_m dan τ_r dengan cara melakukan investasi keuangannya dalam investasi bebas resiko. Namun manufaktur dan retailer juga harus menanggung beban bunga kepada *supplier* dan manufaktur karena melakukan pembayaran diluar batas waktu yang diberikan. Sehingga, total biaya tahunan untuk retailer (bahan baku) dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$\psi_r^{II-II} = \frac{A_r D}{Q} + C_r D + \frac{h_r (Q - D \tau_r)^2}{2Q} + \frac{S_r Q}{2} + C_r D (e^{k_m(\tau_r - t_m)} - e^{k_r t_m}) \quad (2.24)$$

Model matematis untuk ψ_s^{II-II} dan $\psi_{m,f}^{II-II}$ sama dengan kasus I-I. Sedangkan $\psi_{m,w}^{II-II}$ sama dengan kasus II-I. Sehingga, total biaya tahunan dari sistem dapat dicari dengan menjumlahkan total biaya tahunan dari masing-masing pemain adalah :

$$\begin{aligned}
\psi_{SC}^{II-II} = & \frac{A_s D}{n_2 Q} + C_{s,f} \alpha D + \frac{n_1(n_1-1)}{2} (h_s + S_s) \frac{\alpha n_2 Q D}{P n_1^2} + h_s \tau_m \alpha D + (C_{m,w} - C_s) \alpha D e^{k_s t_s} - \\
& C_{m,w} \alpha D e^{k_s(\tau_m - t_s)} + \frac{n_1 A_{m,w} D}{n_2 Q} + C_{m,w} \alpha D + \frac{h_{m,w} \alpha n_2 Q D}{2 P n_1} - h_{m,w} \alpha t_m D + \frac{h_{m,w} \alpha P n_1 D \tau_m^2}{2 n_2 Q} + \\
& \frac{S_{m,w} \alpha n_2 Q D}{2 P n_1} + C_{m,w} \alpha D (e^{k_s(\tau_m - t_s)} - e^{k_m \tau_m}) + \frac{A_{m,f} D}{n_2 Q} + C_{m,f} D + (h_{m,f} + \\
& S_{m,f}) \left[\frac{Q(2D_r + (P-D)n_2 - P)}{2P} \right] + h_{m,f} t_r D + (C_r - C_{m,f}) D e^{k_m t_m} - C_r D e^{k_m(\tau_d - t_m)} + \frac{A_r D}{Q} + C_r D + \\
& \frac{h_r(Q-D\tau_r)^2}{2Q} + \frac{S_r Q}{2} + C_r D (e^{k_m(\tau_r - t_m)} - e^{k_r t_m}) \tag{2.25}
\end{aligned}$$

Sehingga, Q optimal yang meminimalkan biaya total sistem dapat ditemukan dengan mengatur

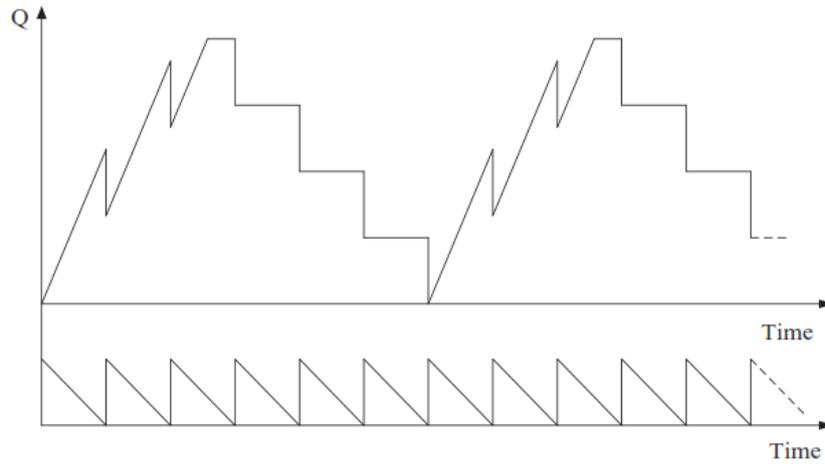
$\frac{\partial}{\partial Q} \psi_{SC}^{II-II} = 0$ dan mencari Q :

$$Q^{II-II} = \sqrt{\frac{A^{II-II}(n_1, n_2, \tau_{m,w}, \tau_r)}{h^{I-I}(n_1, n_2) + S^{I-I}(n_2)}} \tag{2.26}$$

Dimana $h^{I-I}(n_1, n_2)$ dan $S^{I-I}(n_2)$ telah dirumuskan sebelumnya pada Eq 2.12

$$A^{II-II}(n_1, n_2, \tau_{m,w}, \tau_r) = \left[A_s + A_{m,f} + n_1 A_{m,w} + n_2 A_r + \frac{\alpha n_1 h_{m,w} P \tau_m^2}{2} + \frac{n_2 h_r D \tau_r^2}{2} \right] \frac{D}{n_2} \tag{2.27}$$

Selain penelitian Aljazzar et al. (2016), penelitian lain yang menjadi dasar pengembangan model dalam penelitian ini adalah penelitian yang dilakukan oleh Jaber et al. (2010). Peneliti tersebut mengembangkan model kebijakan produksi dengan mengasumsikan manufaktur memulai produksi ketika persediaan menyentuh angka nol. Juga diasumsikan manufaktur dapat melakukan pengiriman kepada pembeli bersamaan dengan proses produksi yang sedang berjalan. Profil persediaan dari model produksi Jaber et al. (2010) dapat dilihat pada Gambar 2.2. Notasi model matematis yang digunakan sama dengan notasi pada penelitian Aljazzar et al. (2016).



Gambar 2. 2 Profil Persediaan Manufaktur dan Retailer, Jaber et al. (2010).

Kasus I : $0 \leq t = \tau \leq T_r$

Pada kasus ini diasumsikan retailer melakukan pembayaran kepada manufaktur pada waktu τ , dimana τ adalah sama dengan waktu penundaan pembayaran yang diberikan oleh manufaktur t . Sehingga, total biaya tahunan untuk manufaktur dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$\psi_m^1 = \frac{A_m D}{nQ} + C_m D + (h_m + S_m) \frac{Q}{2} \left(n + 1 - \frac{nD}{P} \right) + h_m t D + (C_r - C_m) D e^{k_m t} - C_r D e^{k_m(\tau-t)} \quad (2.28)$$

Total biaya tahunan untuk retailer dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$\psi_r^1 = \frac{A_r D}{Q} + C_r D + h_r \frac{(Q-Dt)^2}{2Q} + \frac{S_r}{2} Q + C_r D (1 - e^{k_r t}) \quad (2.29)$$

Sehingga, total biaya tahunan dari sistem dapat dicari dengan menjumlahkan total biaya tahunan dari masing-masing pemain adalah :

$$\begin{aligned} \psi_{SC}^{1.1} = & \frac{A_m D}{nQ} + C_m D + (h_m + S_m) \frac{Q}{2} \left(n + 1 - \frac{nD}{P} \right) + h_m t D + (C_r - C_m) D e^{k_m t} - \\ & C_r D e^{k_m(\tau-t)} + \frac{A_r D}{Q} + C_r D + h_r \frac{(Q-Dt)^2}{2Q} + \frac{S_r}{2} Q + C_r D (1 - e^{k_r t}) \end{aligned} \quad (2.30)$$

Sehingga, Q optimal yang meminimalkan biaya total sistem dapat ditemukan dengan mengatur

$\frac{\partial}{\partial Q} \psi_{SC}^{1.1} = 0$ dan mencari Q :

$$Q^{1.1} = \sqrt{\frac{2D \left(\frac{A_m}{n} + A_r \right) + h_r (Dt)^2}{h_r + S_r + (h_m + S_m) \left(n + 1 - \frac{nD}{P} \right)}} \quad (2.31)$$

Kasus II : $0 \leq t < \tau \leq T_r$

Pada kasus ini diasumsikan retailer melakukan pembayaran kepada manufaktur pada waktu τ , dimana τ lebih dari waktu penundaan pembayaran yang diberikan oleh manufaktur t . Sehingga, total biaya tahunan untuk retailer dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$\psi_r^{1,2} = \frac{A_r D}{Q} + C_r D + h_r \frac{(Q-D\tau)^2}{2Q} + \frac{S_r}{2} Q + C_r D (e^{k_m(\tau-t)} - e^{k_r \tau}) \quad (2.32)$$

Total biaya tahunan untuk manufaktur dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$\psi_m^{1,2} = \frac{A_m D}{nQ} + C_m D + (h_m + S_m) \frac{Q}{2} \left(n + 1 - \frac{nD}{P} \right) + h_m \tau D + (C_r - C_m) D e^{k_m t} - C_r D e^{k_m(\tau-t)} \quad (2.33)$$

Sehingga, total biaya tahunan dari sistem dapat dicari dengan menjumlahkan total biaya tahunan dari masing-masing pemain adalah :

$$\psi_{SC}^{1,2} = \frac{A_m D}{nQ} + C_m D + (h_m + S_m) \frac{Q}{2} \left(n + 1 - \frac{nD}{P} \right) + h_m \tau D + (C_r - C_m) D e^{k_m t} - C_r D e^{k_m(\tau-t)} + \frac{A_r D}{Q} + C_r D + h_r \frac{(Q-D\tau)^2}{2Q} + \frac{S_r}{2} Q + C_r D (e^{k_m(\tau-t)} - e^{k_r \tau}) \quad (2.34)$$

Sehingga, Q optimal yang meminimalkan biaya total sistem dapat ditemukan dengan mengatur

$\frac{\partial}{\partial Q} \psi_{SC}^{1,1} = 0$ dan mencari Q :

$$Q^{1,2} = \sqrt{\frac{2D \left(\frac{A_m}{n} + A_r \right) + h_r (D\tau)^2}{h_r + s_r + (h_m + s_m) \left(n + 1 - \frac{nD}{P} \right)}} \quad (2.35)$$

2.3. Kontrak Pinalti Drop-Shipper

Penjualan *online retail* diperkirakan akan terus tumbuh dari 7% atas penjualan retail secara keseluruhan pada tahun 2011, dan menjadi 9% pada tahun 2016 (Yu et al., 2017). Model bisnis dengan sistem drop-shipping dapat dikatakan unik karena penjual tidak terbebani oleh persediaan dan proses fisik pengiriman baik in-bound maupun out-bound. Pada model *drop-shipping internet retailing*, *supplier* akan memegang persediaan dan juga akan melaksanakan layanan distribusi fisik atas nama *drop-shipper* (Rabinovich et al., 2008). Dengan begitu *drop-shipper* hanya akan berfokus pada penjualan produk saja, walaupun produk yang sebenarnya dijual tidak dimiliki oleh *drop-shipper*. Setelah menerima order dari pelanggan maka *drop-shipper* akan meneruskan order tersebut kepada *supplier* mereka. Kemudian, *supplier* mereka akan mengirimkan barang yang diminta secara langsung ke pelanggan *drop-shipper*. Model bisnis seperti ini memiliki kelemahan dan keunggulan seperti model bisnis lainnya. Keunggulannya adalah karena seluruh proses fisik barang akan ditangani oleh *supplier*, sehingga *drop-shipper* dapat fokus mengarahkan seluruh kemampuannya pada penjualan dan pemasaran. Dengan begitu

drop-shipper dapat mencoba meraih pasar seluas-luasnya. Menurut Khouja dan Stylianou (2009), keuntungan untuk *drop-shipper* sebagai pengecer adalah biaya simpan dan penanganan yang rendah tetapi dengan kekurangan biaya per unit yang lebih tinggi, pengiriman yang terfragmentasi menyebabkan waktu pengiriman lebih lama, dan biaya pemesanan meningkat.

Selain itu menurut Chiang dan Feng (2010) perusahaan yang bekerja sama dengan *drop-shipper* untuk menjual produknya dapat mengefisiensikan proses penjualan. Hal tersebut terjadi karena kurangnya koordinasi pada saluran tradisional, berbeda dengan saluran *drop-shipper*. Sehingga dapat mengurangi hal-hal yang tidak perlu dilakukan dalam proses penjualan. Bukan hanya itu, menurut Gan et al. (2010), pada umumnya *drop-shipper* pasti akan memiliki informasi permintaan pelanggan yang lebih baik daripada *supplier* atau pemain satu level di atasnya. Tetapi juga ada beberapa hal yang merugikan jika perusahaan bekerja sama dengan *drop-shipper*. Menurut Gan et al. (2010), saat *drop-shipper* fokus pada penjualan, mereka akan berusaha selalu memuaskan permintaan pelanggan. Sering kali *drop-shipper* mengirimkan permintaan pelanggan yang jumlahnya lebih besar dari jumlah yang sebenarnya mereka perkirakan. Tujuannya adalah agar persediaan di *supplier* dapat selalu memenuhi permintaan pelanggan *drop-shipper*. Dalam kenyataannya, karena persediaan secara penuh dipegang oleh *supplier* maka *drop-shipper* tidak memiliki persediaan. Sehingga bukan tidak mungkin juga *supplier* dapat selalu memenuhi permintaan *drop-shipper*. Apabila dilihat dari sisi *supplier*, jika *supplier* memiliki persediaan besar karena informasi yang oleh *drop-shipper* yang sebenarnya tidak tepat. Pada *supplier* akan terjadi penumpukan persediaan yang membuat biaya meningkat dan merugikan. Apabila dilihat dari sisi *drop-shipper*, apabila *supplier* tidak dapat memenuhi permintaan pelanggan *drop-shipper* maka akan terjadi biaya *lost sale* yang merugikan. Untuk dapat mengatasi permasalahan tersebut harus ada suatu kontrak diantara kedua pihak dalam menyetujui komitmen *supply* dan *demand* dalam satu kurun waktu tertentu.

2.3.1. Literatur Tentang Sistem Persediaan Dengan *Drop-Shipping*

Khouja dan Stylianou (2009) merancang model persediaan yang memungkinkan suatu perusahaan menggunakan *channel drop-shipping*. Pada kasus ini tidak semua permintaan terpenuhi sehingga tujuan maksimasi keuntungan. V = harga per-unit yang diberikan oleh retailer kepada konsumen. Walaupun internet retailing bisa jadi menggunakan *dynamic pricing*, tetapi pada penelitian ini menggunakan konstan *price* untuk mengetahui efek *drop-shipping*. Waktu siklus rata-rata $(Q + E\{U\})/D$, rata-rata unit terjual per siklus adalah $Q + tE\{U\}$ setiap Q unit memiliki biaya per unit C dan $tE\{U\}$ unit memiliki biaya per unit P . Total keuntungan tahunan yang diharapkan jika $R \geq \mu$ adalah :

$$E\{Z\}_{R \geq \mu} = \frac{D[Q+tE\{U\}]}{Q+E\{U\}}V - \frac{D[K+S(1-t)E\{U\}]}{Q+E\{U\}} - \frac{DQC}{Q+E\{U\}} - \frac{DtE\{U\}P}{Q+E\{U\}} - H\left(\frac{Q}{2} + R - \mu\right) \quad (2.36)$$

Menetapkan $m = V - C$ dan $B = t_u(V + S - P) - S$. Substitusikan kedalam persamaan (2.36), sehingga menjadi :

$$E\{Z\}_{R \geq \mu} = \frac{D[Qm+BE\{U\}-K]}{Q+E\{U\}} - H\frac{Q}{2}\left(1 - \frac{\mu-R}{Q+E\{U\}}\right) \quad (2.37)$$

Notasi :

D : Rata-rata *demand* tahunan.

V : Harga per unit.

S : Biaya *shortage* pinalti per unit.

C : Biaya *replenishment* per unit.

H : Biaya simpan per unit per tahun.

K : Biaya pesan.

P : Biaya opsi *drop-shipping* per unit.

t : Proporsi permintaan terpenuhi oleh *drop-shipper* selama *leadtime*.

$$t_r = \frac{\sqrt{D}(V+S-C) - \sqrt{2HK}}{\sqrt{D}(V+S-P)} \quad (2.38)$$

2.3.2. Literatur Tentang Kontrak Pinalti

Pengembangan model strategis untuk penentuan harga dan ukuran pemesanan pada rantai pasokan dengan *drop-shipping*, telah dilakukan oleh Chiang dan Feng (2010). Pada penelitian tersebut dikembangkan model EOQ untuk interaksi diantara manufaktur dan retailer / *drop-shipper* dengan melakukan *joint pricing* dan *lot sizing decision*. Penulis mengemukakan bahwa pada manufaktur yang memiliki *channel drop-shipper*, kontrol penuh *lot-sizing* dipegang oleh *drop-shipper*. Pada penelitian yang dilakukan oleh Gan et al. (2010), penulis mengembangkan model kontrak pinalti yang bertujuan agar *supplier* dapat mendapatkan informasi *demand retailer* dengan lebih valid. Dengan begitu, *expected profit supplier* akan dapat dimaksimumkan. Ketika pemasok sebagai memegang persediaan, *drop-shipper* sudah pasti tidak dapat kontrol persediaan *supplier* sehingga dapat kehilangan kontrol persediaan. Gan et al. (2010) mengasumsikan jika *demand drop-shipper* yang terjadi dibawah komitmen m , maka *retailer* akan memberi kompensasi kepada *supplier* sebesar $w(m - d)^2$. Jika *demand* yang terjadi di diatas persediaan *supplier* q , maka *supplier* harus memberi kompensasi t untuk setiap unit *demand* yang tidak dapat dipenuhi sehingga jumlah yang dibayar oleh *supplier* adalah $t(d - q)$.

2.4. Posisi Penelitian

Pada sub-bab ini, penulis akan memberikan gambaran tentang posisi penelitian yang akan dilakukan terhadap penelitian-penelitian sebelumnya. Juga akan dijelaskan persamaan dan perbedaan penelitian ini dengan penelitian-penelitian terdahulu.

Penulis merancang penelitian ini berdasarkan dua topik berbeda yang memiliki gap. Topik pertama adalah, penelitian dengan topik *delay in payment* dan topik kedua adalah penelitian tentang *drop-shipping*. Dari beberapa penelitian tentang *delay in payment*, belakangan ini peneliti banyak membahas *delay in payment* dari sisi persediaan dari setiap pemain dalam rantai pasokan. Penelitian terdahulu banyak membahas *delay in payment* dalam beberapa kasus, secara lebih jelas dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Penelitian Delay in Payment Terdahulu

No.	Peneliti	Delay in Payment		Sistem Persediaan		Metode Pembayaran
		1 Level	2 Level	EOQ	EPQ	1 Metode
1	Aljazzar et al. (2015)	√		√		√
2	Chung et al. (2005)	√		√		√
3	Glock (2012)	√		√		√
4	Jaber dan Osman (2006)	√		√		√
5	Aljazzar et al. (2016)		√	√		√
6	Nurshanti (2011)		√		√	√
7	Moussawi-Haidar et al. (2014)		√	√		√

Konsep satu *level delay ini payment* dengan satu jenis cara pembayaran telah dikembangkan dalam beberapa penelitian terdahulu, diantaranya adalah (Aljazzar et al., 2015); (Chung et al., 2005); (Glock, 2012); (Jaber dan Osman, 2006). Sedangkan konsep dua *level delay ini payment* dengan satu jenis cara pembayaran juga telah dikembangkan dalam beberapa penelitian terdahulu, diantaranya adalah (Aljazzar et al., 2016); (Nurshanti, 2011); (Moussawi-Haidar et al., 2014). Sistem persediaan yang digunakan dalam penelitian terdahulu sebagian besar menggunakan sistem persediaan EOQ atau EPQ. Model *delay in payment* pada sistem persediaan EOQ juga telah dikembangkan dalam beberapa penelitian terdahulu, diantaranya adalah (Aljazzar et al., 2015); (Aljazzar et al., 2016); (Chung et al., 2005); (Glock, 2012); (Jaber dan Osman, 2006), (Jaber et al., 2010), dan EPQ (Nurshanti, 2011).

Penulis akan merujuk pada penelitian Aljazzar et al. (2016) dalam pengembangan model karena memiliki sistem dua *level delay in payment* yaitu *supplier-manufactur, manufactur-retailer*. Kondisi tersebut dapat merepresentasikan sistem rantai pasok eselon satu dan dua pada

penelitian ini. Namun akan digunakan sistem persediaan manufaktur yang telah dikembangkan oleh Jaber et al. (2010),

Penelitian-penelitian tentang *delay in payment* terdahulu seperti beberapa diatas pada umumnya antara saluran tradisional, contohnya yang diberikan oleh manufaktur kepada distributor atau distributor kepada *retailer*. Dengan melihat kondisi saluran pada era sekarang yang sedang ramai masuk pemain baru yaitu *drop-shipper*, sehingga hal tersebut juga penting untuk diteliti. Bagaimana cara koordinasi dalam rantai pasokan yang memiliki anggota pemain *drop-shipper*.

Drop-shipper memiliki beberapa keunggulan dalam pemasaran karena mereka hanya berfokus pada penjualan produk tanpa harus memikirkan distribusi fisik barang. *Supplier* yang memasok *drop-shipper* akan menjadi pemegang kendali persediaan. Sering kali informasi *demand* yang diberikan *drop-shipper* kepada *supplier* tidak valid sehingga merugikan *supplier*. Dilain sisi juga sering kali *supplier* tidak bisa memenuhi permintaan *drop-shipper*, sehingga menimbulkan biaya *shortage* dan merugikan *drop-shipper*. Dari beberapa penelitian terdahulu tentang *drop-shipping* peneliti berhasil membahas topik tersebut dalam berbagai kasus, diantaranya adalah :

1. Konsep model persediaan dengan anggota pemain *drop-shipper* (Chiang dan Feng, 2010); (Khouja dan Stylianou, 2009)
2. Konsep kontrak pinalti untuk mengkoordinasikan *supplier* dan *drop-shipper* (Gan et al., 2010)

Sehingga beberapa kebijakan pinalti Gan et al. (2010) dapat digunakan dalam mengkoordinasikan eselon 3 pada pengembangan model dalam penelitian ini. Penulis mencoba mengembangkan kontrak pinalti yang dapat mengakomodasi interaksi yang saling menguntungkan antara *supplier* dan *drop-shipper*, sehingga kedua belah pihak dapat merasa saling diuntungkan. Karena *drop-shipper* tidak memiliki persediaan, maka sistem persediaan pemain satu *level* diatas *drop-shipper* akan berbeda dibanding pemain tradisional lainnya. Model persediaan Khouja dan Stylianou (2009) akan digunakan untuk pemain yang berada satu *level* diatas *drop-shipper* dalam pengembangan model di penelitian ini

Dengan berfokus pada beberapa penelitian diatas sebagai rujukan utama, yaitu (Aljazzar et al., 2016; Gan et al., 2010; Jaber et al., 2010; Khouja dan Stylianou, 2009) penulis akan mengkombinasikan beberapa model yang relevan dalam penelitian-penelitian tersebut. Sehingga akan dikembangkan model yang dapat diaplikasikan pada sistem rantai pasok pada penelitian ini. Fokus penelitian ini adalah pada koordinasi pemain dalam rantai pasokan tiga eselon dengan salah satu pemain adalah *drop-shipper*. Pada eselon 1 dan 2 akan dibangun model koordinasi dengan

pertimbangan *delay in payment* dan pada eselon 3 akan dibangun model koordinasi dengan pertimbangan kontrak pinalti.

Berdasarkan pada penelitian terdahulu belum ada model koordinasi rantai pasokan yang didalam sistem rantai pasoknya berisi *drop-shiper*. Sehingga hal baru itu yang ingin penulis angkat sebagai gap penelitian. Penulis akan menjabarkan tentang posisi penelitian tesis ini pada Tabel 2.2. Penjabaran posisi penelitian diharapkan dapat menjadi gambaran posisi penelitian dan kontribusi dalam penelitian tesis ini.

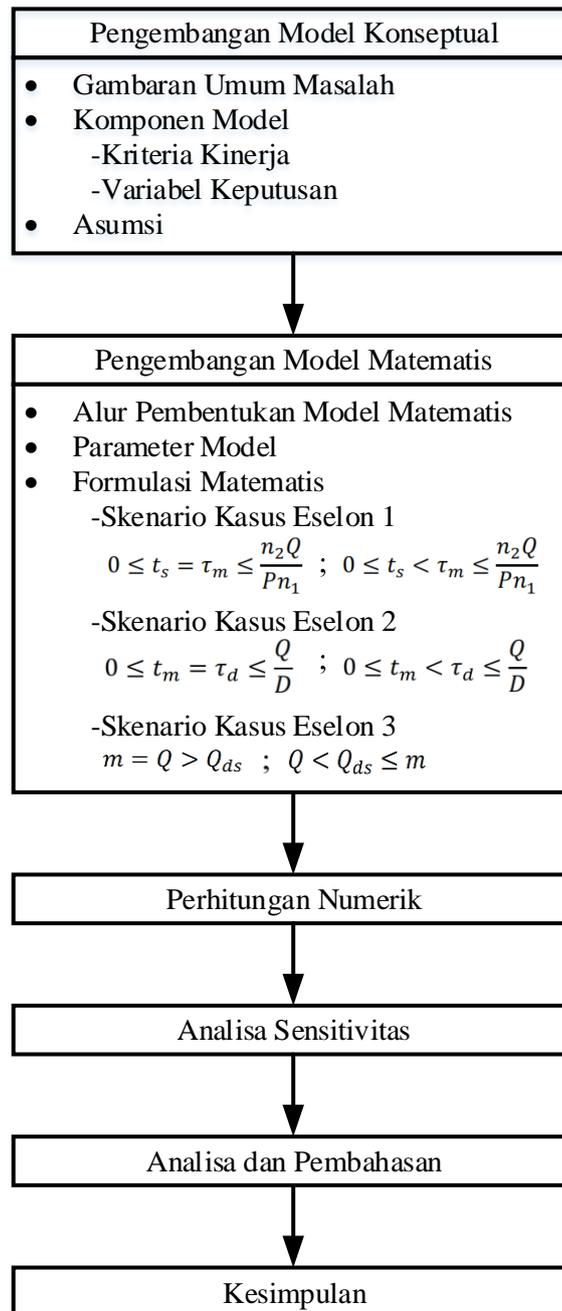
Tabel 2. 2 Posisi Penelitian

No.	Peneliti	Level Delay in Payment		Sistem Persediaan Manufaktur		Karakteristik Permintaan		Jumlah Eselon			Koordinasi Antar Eselon	Drop-Shipper Player	Kontrak Pinalti Demand	Decision Variable		
		1 Level	2 Level	Hill (1997)	Jaber (2010)	Diskrit	Kontinyu	1	2	3				Delay in Payment	Order Quantity	Pricing
1	(Aljazzar et al., 2016)		√	√		√			√		√			√		
2	(Aljazzar et al., 2015)	√		√		√			√		√			√		
3	(Chung et al., 2005)	√				√			√						√	
4	(Nurshanti, 2011)		√			√	√			√					√	
5	(Glock, 2012)	√		√		√			√		√				√	
6	(Jaber dan Osman, 2006)	√				√			√					√	√	
7	(Jaber et al., 2010)		√		√		√			√					√	
8	(Moussawi-Haidar et al., 2014)		√			√				√				√	√	
9	(Chiang dan Feng, 2010)					√			√			√			√	√
10	(Gan et al., 2010)						√		√			√	√		√	
11	(Khouja dan Stylianou, 2009)					√			√			√			√	
12	Penelitian ini		√		√	√				√	√	√	√	√	√	

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini, penulis akan menjelaskan bagaimana penelitian akan dilakukan. Langkah-langkah penelitian secara detail dijelaskan melalui diagram alir metodologi penelitian ini yang dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 *Flow Chart* Metodologi Penelitian

3.1. Pengembangan Model Konseptual

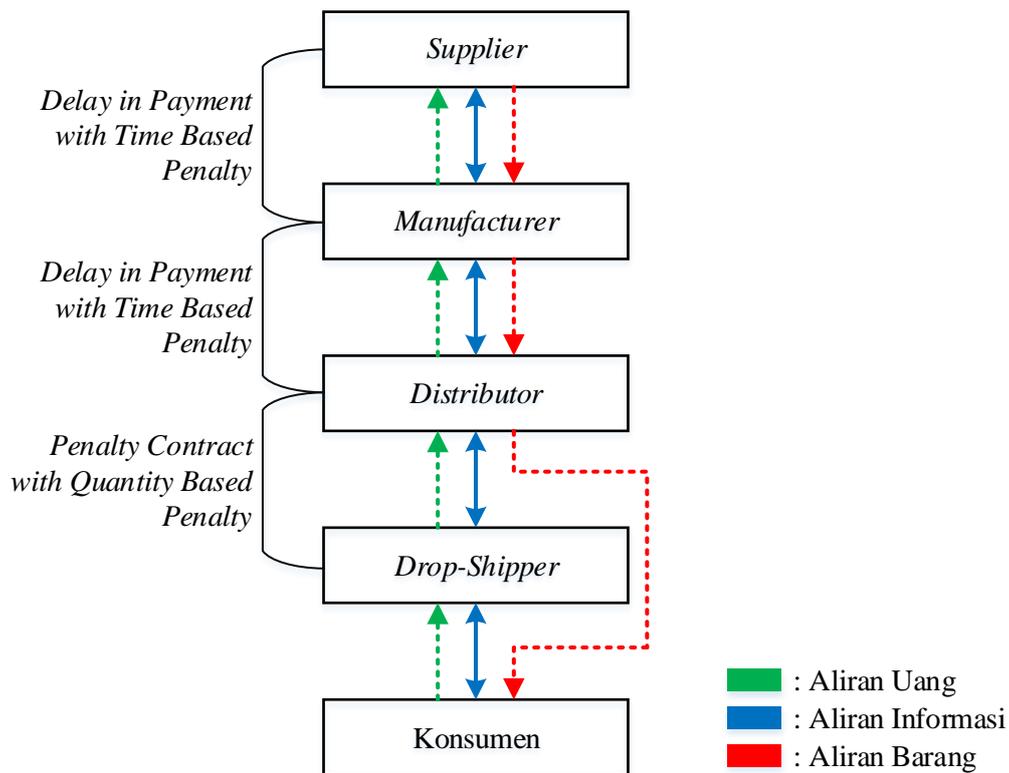
Pada sub bab ini akan dikembangkan model konseptual yang dapat menggambarkan permasalahan rantai pasokan yang akan diteliti. Dengan tujuan memperoleh gambaran tentang model konseptual yang akan dikembangkan, akan dijelaskan terlebih dahulu gambaran umum permasalahan. Kemudian juga akan dijelaskan mengenai komponen model dan asumsi yang digunakan.

3.1.1. Gambaran Umum Masalah

Suatu perusahaan manufaktur sudah pasti akan selalu berhubungan dengan perusahaan lainnya dalam sistem rantai pasokan. Hal tersebut terjadi dengan tujuan optimalisasi performansi perusahaan. Seluruh perusahaan yang berada dalam satu sistem rantai pasokan akan disebut pemain dalam rantai pasokan tersebut. Pada model yang akan dibangun ini terdiri dari beberapa para pemain dalam rantai pasokan yaitu *supplier*, manufaktur, distributor, dan *drop-shipper*. Manufaktur akan memproduksi produk dengan mendapatkan *supply* bahan baku dari *supplier*. Kemudian produk jadi manufaktur akan didistribusikan oleh distributor. Distributor memiliki rekan bisnis pada level dibawahnya, yaitu *drop-shipper*.

Contoh gambaran model yang akan dibangun dalam kondisi nyata adalah sebagai berikut. PT. Y adalah salah satu perusahaan manufaktur, dan PT. X sebagai *supplier* akan memasok bahan baku untuk proses produksinya. Setelah selesai memproduksi, manufaktur akan menjual produknya kepada distributor. Salah satu distributor unggulan adalah PT. Z, sebagai salah satu distributor yang memiliki pangsa pasar luas. Dalam proses transaksinya, manufaktur diberi keringanan penundaan pembayaran selama jangka waktu tertentu oleh *supplier*. Tidak jauh berbeda, pada manufaktur juga memberikan keringanan penundaan pembayaran selama jangka waktu tertentu kepada distributor. Penundaan pembayaran tersebut umumnya diberikan oleh suatu pihak dengan tujuan loyalitas pembeli, sehingga pembeli akan selalu melakukan pembelian berkelanjutan. Jika manufaktur melakukan pembayaran diluar batas waktu yang diberikan maka akan dikenakan beban bunga kepada *supplier*. Begitu juga distributor yang akan terkena beban bunga kepada manufaktur jika melakukan pembayaran diluar batas waktu yang diberikan. Sebagai distributor, PT. Z sedang fokus dalam memasarkan produk untuk meningkatkan pangsa pasar. Pada umumnya sistem penjualan produk dilakukan secara tradisional, yaitu melalui *retailer*. Distributor memutuskan mencoba bekerja sama dengan *drop-shipper* dengan tujuan agar dapat meningkatkan penjualan. Namun untuk media koordinasi yang saling menguntungkan antara kedua belah pihak maka distributor membuat kontrak pinalti yang berbasis kuantitas. Sehingga jika *drop-shipper* tidak dapat menjual sesuai kuantitas yang disepakati maka akan terkena beban pinalti kepada distributor. Begitu juga jika distributor tidak dapat menyediakan sesuai kontrak

pinalti yang telah disetujui, maka distributor akan terkena beban pinalti kepada *drop-shipper*, gambaran sistem secara umum dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Gambaran Umum Permasalahan Sistem Rantai Pasokan

Tujuan dari pengembangan model ini adalah untuk mengintegrasikan seluruh pemain dalam sistem rantai pasokan tersebut. Koordinasi dilakukan dengan *delay in payment* pada eselon satu dan dua. Sedangkan pada eselon tiga koordinasi akan dilakukan dengan kontrak pinalti. Sehingga biaya total sistem secara keseluruhan dapat diminimasi, dan terciptanya sistem rantai pasokan yang berkelanjutan. Dapat dilihat pada Gambar 3.2, aliran informasi akan mengalir dari hilir ke hulu ataupun sebaliknya, sedangkan aliran barang mengalir dari hulu ke hilir. Terdapat perbedaan pada aliran barang yang mengalir dari hulu ke hilir tanpa melewati *drop-shipper*, komponen biaya yang terjadi di masing-masing pemain adalah :

Komponen biaya pada supplier :

- Biaya *setup* : adalah biaya yang terjadi setiap kali *supplier* melakukan setup.
- Biaya produksi : adalah biaya *supplier* untuk memproduksi satu unit produk.
- *Physical holding cost* : adalah biaya penyimpanan yang dikeluarkan oleh *supplier* untuk satu unit produk.
- *Financial holding cost* : adalah biaya penyimpanan yang dikeluarkan oleh *supplier* sampai dengan pembayaran dilakukan oleh manufaktur.

- *Opportunity cost of investing* : adalah biaya yang terjadi akibat penawaran penundaan pembayaran selama periode t_s yang diberikan oleh *supplier* dibandingkan dengan menginvestasikan keuntungan dalam investasi bebas resiko.
- Pendapatan bunga *delay in payment* : adalah pendapatan yang dihasilkan akibat manufaktur melakukan pembayaran diluar periode yang telah ditentukan $t_s < \tau_m$, dan akan diberikan oleh manufaktur.

Komponen biaya pada bahan baku manufaktur :

- Biaya pemesanan : adalah biaya yang terjadi setiap kali manufaktur melakukan pemesanan bahan baku.
- Biaya pembelian : adalah biaya pembelian untuk satu unit bahan baku.
- *Financial holding cost* : adalah biaya penyimpanan yang dikeluarkan oleh manufaktur setelah penyelesaian pembayaran dilakukan oleh manufaktur.
- *Physical holding cost* : adalah biaya penyimpanan yang dikeluarkan oleh manufaktur untuk satu unit bahan baku.
- Beban bunga *delay in payment* : adalah biaya yang terjadi akibat manufaktur melakukan pembayaran diluar periode yang telah ditentukan oleh *supplier* $t_s < \tau_m$, dan harus dibayarkan kepada *supplier*.
- Pendapatan bunga investasi bebas resiko : adalah pendapatan yang dihasilkan dari investasi pendapatan dalam investasi bebas resiko selama periode penundaan pembayaran yang diberikan oleh *supplier*.

Komponen biaya pada produk jadi manufaktur

- Biaya *setup* : adalah biaya yang terjadi setiap kali manufaktur melakukan *setup*.
- Biaya produksi : adalah biaya manufaktur untuk memproduksi satu unit produk.
- *Physical holding cost* : adalah biaya penyimpanan yang dikeluarkan oleh manufaktur untuk satu unit produk jadi.
- *Financial holding cost* : adalah biaya penyimpanan yang dikeluarkan oleh manufaktur sampai dengan pembayaran dilakukan oleh distributor.
- *Opportunity cost of investing* : adalah biaya yang terjadi akibat penawaran penundaan pembayaran selama periode t_m yang diberikan oleh manufaktur dibandingkan dengan menginvestasikan keuntungan dalam investasi bebas resiko.
- Pendapatan bunga *delay in payment* : adalah pendapatan yang dihasilkan akibat distributor melakukan pembayaran diluar periode yang telah ditentukan $t_m < \tau_d$, dan akan diberikan oleh distributor.

Komponen biaya distributor.

- Biaya pemesanan : adalah biaya yang terjadi setiap kali distributor melakukan pemesanan produk.
- Biaya pembelian : adalah biaya yang dikeluarkan distributor untuk pembelian satu unit produk.
- *Financial holding cost* : adalah biaya penyimpanan yang dikeluarkan oleh distributor setelah penyelesaian pembayaran dilakukan oleh distributor.
- *Physical holding cost* : adalah biaya penyimpanan yang dikeluarkan oleh distributor untuk satu unit produk.
- Beban bunga *delay in payment* : adalah biaya yang terjadi akibat distributor melakukan pembayaran diluar periode yang telah ditentukan oleh manufaktur $t_m < \tau_d$, dan harus dibayarkan kepada manufaktur.
- Beban kontrak pinalti : adalah biaya yang terjadi akibat distributor tidak dapat memenuhi permintaan *drop-shipper* yang masih dalam batasan kontrak yang telah ditentukan, dan harus dibayarkan kepada *drop-shipper*.
- Pendapatan bunga investasi bebas resiko : adalah pendapatan yang dihasilkan dari investasi pendapatan dalam investasi bebas resiko selama periode penundaan pembayaran yang diberikan oleh manufaktur.
- Pendapatan kontrak pinalti dari *drop-shipper* : adalah pendapatan yang dihasilkan akibat permintaan *drop-shipper* kurang dari batasan kontrak yang telah ditentukan, dan akan diberikan oleh *drop-shipper*.

Biaya pada drop-shipper

- Biaya pemesanan : adalah biaya yang terjadi setiap kali *drop-shipper* melakukan pemesanan produk.
- Biaya pembelian : adalah biaya yang dikeluarkan *drop-shipper* untuk pembelian satu unit produk.
- Beban kontrak pinalti : adalah biaya yang terjadi akibat permintaan *drop-shipper* kurang dari batasan kontrak yang telah ditentukan, dan harus dibayarkan oleh *drop-shipper* kepada distributor.
- Pendapatan kontrak pinalti : adalah pendapatan yang dihasilkan akibat distributor tidak dapat memenuhi permintaan *drop-shipper* yang masih dalam batasan kontrak yang telah ditentukan, dan akan diberikan oleh distributor kepada *drop-shipper*.

3.1.2. Komponen Model

Pada sub-bab ini penulis akan mengidentifikasi komponen-komponen model yang akan digunakan dalam memformulasikan pengembangan model. Dengan mengidentifikasi komponen-komponen model tersebut maka diharapkan formulasi model akan lebih terstruktur. Komponen-komponen model yang dimaksud adalah kriteria kinerja, variabel keputusan, dan parameter model. Kriteria kinerja dan variabel keputusan akan dijelaskan pada sub bab ini, sedangkan parameter model akan dijelaskan pada sub bab selanjutnya yang berhubungan dengan pengembangan model matematis.

3.1.2.1. Kriteria Kinerja

Fungsi tujuan dalam model yang akan dibangun akan memiliki kriteria kinerja minimasi total biaya tahunan terintegrasi antara *supplier*, manufaktur, distributor, dan *drop-shipper*. Pada *supplier*, keuntungan akan didapatkan dari penjumlahan total biaya tahunan *supplier* yang meliputi : biaya setup, biaya produksi, *physical holding cost*, *financial holding cost*, *opportunity cost*, dan pendapatan bunga *delay in payment*.

Pada manufaktur, keuntungan akan didapatkan dari penjumlahan total biaya tahunan manufaktur yang terbagi menjadi dua. Pada tingkat pertama adalah biaya yang berhubungan dengan bahan baku manufaktur per tahun meliputi : biaya pemesanan, biaya pembelian, *physical holding cost*, *financial holding cost*, pendapatan bunga investasi bebas resiko, dan beban bunga *delay in payment*. Yang kedua adalah biaya yang berhubungan dengan produk jadi manufaktur per tahun meliputi : biaya setup, biaya produksi, biaya penyimpanan, *opportunity cost*, dan pendapatan bunga *delay in payment*.

Pada distributor, keuntungan akan didapatkan dari penjumlahan total biaya produk *distributor* per tahun yang meliputi : biaya pemesanan, biaya pembelian, *physical holding cost*, *financial holding cost*, beban bunga *delay in payment*, beban kontrak pinalti, pendapatan bunga investasi bebas resiko, dan pendapatan kontrak pinalti.

Pada *drop-shipper*, keuntungan akan didapatkan dari penjumlahan total biaya produk *drop-shipper* per tahun yang meliputi : biaya pemesanan, biaya pembelian, beban kontrak pinalti, dan pendapatan kontrak pinalti.

3.1.2.2. Variabel Keputusan

Dengan tujuan memaksimalkan kriteria kinerja tersebut dicari variabel keputusan sebagai berikut :

1. Periode waktu *delay in payments* yang digunakan oleh *supplier* dan manufaktur dalam rantai pasokan.

2. Waktu pembayaran manufaktur kepada *supplier*, dan distributor kepada manufaktur.
3. Kuantitas komitmen untuk kontrak pinalti *drop-shipper*.

3.1.3. Asumsi Model

Dengan tujuan untuk mempermudah pembentukan model, penulis membuat beberapa asumsi yang akan digunakan dalam pengembangan model ini, yaitu :

- Satu *supplier*, satu manufaktur, satu distributor, dan satu *drop-shipper*.
- Permintaan pada bersifat deterministik dan konstan dari waktu ke waktu berdasarkan pada informasi *drop-shipper*.
- Tingkat produksi *supplier* lebih tinggi dari permintaan manufaktur untuk *raw material*, dan tingkat produksi manufaktur lebih tinggi dari permintaan distributor.
- Hanya mempertimbangkan satu produk.
- Semua pengiriman dalam rantai pasokan memiliki ukuran yang sama.
- Terdapat dua komponen *holding cost* : *financial* dan *physical holding costs*.
- Periode waktu *delay in payment* ditawarkan oleh *supplier* kepada manufaktur dan manufaktur kepada distributor.
- Periode waktu *delay in payment* menjadi variabel keputusan.
- Manufaktur dan distributor menginvestasikan apa yang dihutangkan oleh vendor mereka (*supplier* atau manufaktur) $C_{i,j}Q$ dalam investasi bebas resiko selama periode yang diperbolehkan.
- Distributor dan manufaktur membayar hutang dengan satu kali pembayaran τ .
- Manufaktur memiliki dua gudang : untuk *raw material* dan *finished goods*.

3.2. Pengembangan Model Matematis

Pada sub bab ini penulis akan merancang model matematis yang bertujuan untuk mendapatkan variabel keputusan yang optimal dengan beberapa pertimbangan yang telah diuraikan pada kriteria kinerja. Pertimbangan lain yang juga akan menjadi perhatian adalah komponen biaya dan pendapatan masing-masing pemain dalam rantai pasokan.

3.2.1. Alur Pembentukan Model Matematis

Pada penelitian ini penulis berusaha menggambarkan kondisi sistem nyata yang terjadi belakangan ini, dimana perkembangan internet memunculkan pemain baru dalam rantai pasokan. Sehingga hal tersebut akan memaksa desain rantai pasok menjadi berbeda dari pada umumnya. Penulis ingin memodelkan bagaimana integrasi pemain-pemain dalam rantai pasokan tiga eselon, yang mana salah satu pemainnya adalah *drop-shipper*. Sehingga ada empat pelaku utama, yaitu

supplier, manufaktur, distributor, dan *drop-shipper*, sebelum akhirnya produk jatuh ke tangan konsumen akhir. Pertimbangan yang digunakan pada penelitian ini adalah *delay in payment* dan kontrak pinalti untuk *drop-shipper*. Oleh karena itu penulis berusaha mencari penelitian-penelitian terdahulu yang berkaitan dengan *delay in payment* dan *drop-shipping*. Model matematis yang akan dibangun pada penelitian ini berfokus pada rujukan utama, yaitu (Aljazzar et al., 2016; Gan et al., 2010; Jaber et al., 2010; Khouja dan Stylianou, 2009) penulis akan mengkombinasikan beberapa model yang relevan dalam penelitian-penelitian tersebut. Sehingga akan dikembangkan model yang dapat diaplikasikan pada sistem rantai pasok pada penelitian ini. Fokus penelitian ini adalah pada integrasi pemain dalam rantai pasokan tiga eselon dengan salah satu pemain adalah *drop-shipper*. Pada eselon 1 dan 2 akan dibangun model koordinasi dengan pertimbangan *delay in payment* dan pada eselon 3 akan dibangun model koordinasi dengan pertimbangan kontrak pinalti. Proses validasi dan verifikasi akan dilakukan secara implisit saat penulis melakukan pengembangan model. Validasi dilakukan dengan tujuan membuktikan model yang telah dikembangkan merepresentasikan realita yang ada. Sementara verifikasi dilakukan untuk menentukan apakah model matematis yang telah dikembangkan merepresentasikan model konseptual yang dijelaskan sebelumnya.

Setelah model matematis selesai dikembangkan, penulis akan mengaplikasikannya keadaan sistem rantai pasokan yang diteliti. Sehingga dari model tersebut penulis dapat menentukan solusi optimal dengan merancang total keuntungan di setiap eselon dan total keuntungan terintegrasi.

3.2.2. Parameter Model

Berdasarkan kriteria kinerja dan variabel keputusan yang telah dirumuskan, penulis mendefinisikan notasi untuk parameter-parameter yang akan digunakan untuk membangun model matematis dalam penelitian ini, yaitu sebagai berikut :

i : Pemain rantai pasok (s : *supplier*, m : *manufacturer*, d : *distributor*, dan ds : *drop-shipper*).

j : Jenis tingkat persediaan barang (w : *raw material*, f : *finished goods*).

$A_{i,j}$: Biaya *setup* / pemesanan yang dikeluarkan pemain ke- i terhadap barang ke- j .

$C_{i,j}$: Biaya produksi / pembelian per item yang dikeluarkan pemain ke- i terhadap barang ke- j .

$h_{i,j}$: *Financial holding cost per item* yang dikeluarkan pemain ke- i terhadap barang ke- j .

$S_{i,j}$: *Physical (storage) holding cost per item* yang dikeluarkan pemain ke- i terhadap barang ke- j .

Q : Kuantitas pemesanan distributor.

- Q_{ds} : Kuantitas pemesanan *drop-shipper*.
- n_1 : Jumlah pengiriman oleh *supplier* kepada manufaktur per siklus bahan baku manufaktur.
- n_2 : Jumlah pengiriman oleh manufaktur kepada distributor per siklus distributor.
- α : Jumlah bahan baku yang dibutuhkan untuk memproduksi satu produk jadi.
- t_i : Periode waktu *delay in payments* yang ditawarkan oleh pemain ke-i.
- τ_i : Waktu pembayaran yang dilakukan oleh pemain ke-i.
- k_i : Pengembalian investasi untuk pemain ke-i.
- P : Tingkat produksi tahunan manufaktur.
- D : Permintaan tahunan distributor $D < P$.
- T : Panjang siklus umum = $\frac{n_2 Q}{D}$.
- T_s : Panjang siklus *supplier* = $\frac{n_2 Q}{P}$.
- T_w : Panjang siklus bahan baku manufaktur = $\frac{n_2 Q}{n_1 P}$.
- T_m : Panjang siklus produk jadi manufaktur = $\frac{n_2 Q}{D}$.
- T_d : Panjang siklus distributor = $\frac{Q}{D}$.
- m : Komitmen pembelian minimum *drop-shipper*.
- v : *Shortage penalty*.
- w : *Order quantity penalty*.
- SC : Total biaya tahunan *supplier*.
- MC : Total biaya tahunan manufaktur.
- DC : Total biaya tahunan distributor.
- DsC : Total biaya tahunan *drop-shipper*.
- TSC : Total biaya tahunan sistem rantai pasokan.

3.2.3. Formulasi Matematis

Pada penelitian ini akan dipertimbangkan panjang siklus secara umum dalam memformulasikan model matematis, dimana panjang siklus adalah $T = \frac{n_2 Q}{D}$. Manufaktur akan melakukan pengiriman dengan jumlah yang sama dengan interval yang disesuaikan dengan produksi item untuk distributor melalui siklus yang sedang berjalan termasuk selama produksi. Manufaktur memulai produksi ketika persediaan menyentuh angka nol. Juga diasumsikan manufaktur dapat melakukan pengiriman kepada pembeli bersamaan dengan proses produksi yang sedang berjalan. Model matematis yang akan dikembangkan oleh penulis akan terbagi dalam

beberapa kasus. Setiap kasus adalah kombinasi dari sub kasus eselon 1 (*supplier* dan manufaktur), eselon 2 (manufaktur dan distributor), dan eselon 3 (distributor dan *drop-shipper*).

Secara umum ada dua sub kasus pada eselon 1, yaitu :

1. $0 \leq t_s = \tau_m \leq \frac{n_2 Q}{P n_1}$: Terdapat 2 pemain yang terlibat pada eselon 1, yaitu *supplier* dan manufaktur. Dalam sub kasus ini *supplier* memberi *delay in payment* selama periode waktu t_s kepada manufaktur untuk menyelesaikan pembayaran tanpa beban bunga. Manufaktur melakukan pembayaran pada periode waktu τ_m , waktu pembayaran tersebut tepat pada akhir periode *delay in payment* yang diberikan oleh *supplier* t_s . Sehingga pada sub kasus ini manufaktur tidak akan memberikan kompensasi kepada *supplier* karena melakukan pembayaran tidak melebihi batas periode *delay in payment* yang diberikan *supplier*.
2. $0 \leq t_s < \tau_m \leq \frac{n_2 Q}{P n_1}$: Terdapat 2 pemain yang terlibat pada eselon 1, yaitu *supplier* dan manufaktur. Dalam sub kasus ini *supplier* memberi *delay in payment* selama periode waktu t_s kepada manufaktur untuk menyelesaikan pembayaran tanpa beban bunga. Manufaktur melakukan pembayaran pada periode waktu τ_m , waktu pembayaran tersebut terjadi setelah akhir periode *delay in payment* yang diberikan oleh *supplier* t_s dan sebelum menerima pengiriman selanjutnya. Sehingga pada sub kasus ini manufaktur harus akan memberikan kompensasi kepada *supplier* karena melakukan pembayaran melebihi batas periode *delay in payment* yang diberikan *supplier*.

Terdapat dua sub kasus pada eselon 2, yaitu :

1. $0 \leq t_m = \tau_d \leq \frac{Q}{D}$: Terdapat 2 pemain yang terlibat pada eselon 2, yaitu manufaktur dan distributor. Dalam sub kasus ini manufaktur memberi *delay in payment* selama periode waktu t_m kepada distributor untuk menyelesaikan pembayaran tanpa beban bunga. Distributor melakukan pembayaran pada periode waktu τ_d , waktu pembayaran tersebut tepat pada akhir periode *delay in payment* yang diberikan oleh manufaktur t_m . Sehingga pada sub kasus ini distributor tidak akan memberikan kompensasi kepada manufaktur karena melakukan pembayaran tidak melebihi batas periode *delay in payment* yang diberikan manufaktur.
2. $0 \leq t_m < \tau_d \leq \frac{Q}{D}$: Terdapat 2 pemain yang terlibat pada eselon 2, yaitu manufaktur dan distributor. Dalam sub kasus ini manufaktur memberi *delay in payment* selama periode waktu t_m kepada distributor untuk menyelesaikan pembayaran tanpa beban bunga. Distributor melakukan pembayaran pada periode waktu τ_d , waktu pembayaran tersebut terjadi setelah akhir periode *delay in payment* yang diberikan oleh manufaktur t_m dan sebelum menerima pengiriman selanjutnya. Sehingga pada sub kasus ini distributor harus akan memberikan

kompensasi kepada manufaktur karena melakukan pembayaran melebihi batas periode *delay in payment* yang diberikan manufaktur.

Terdapat dua sub kasus pada eselon 3, yaitu :

1. $m = Q > Q_{ds}$: Terdapat 2 pemain yang terlibat pada eselon 3, yaitu distributor dan *drop-shipper*. Pada sub kasus ini dalam satu siklus umum $T = \frac{n_2 Q}{D}$ permintaan distributor sama dengan komitmen kuantitas yang telah disetujui *drop-shipper* sebelumnya m . Namun permintaan *drop-shipper* Q_{ds} kurang dari komitmen yang telah disetujui sebelumnya. Sehingga pada sub kasus ini *drop-shipper* harus memberikan kompensasi w kepada distributor karena melakukan pemesanan dengan jumlah dibawah kontrak pinalti kuantitas yang telah disetujui sebelumnya.
2. $Q < Q_{ds} \leq m$: Terdapat 2 pemain yang terlibat pada eselon 3, yaitu distributor dan *drop-shipper*. Pada sub kasus ini dalam satu siklus umum $T = \frac{n_2 Q}{D}$ permintaan distributor kurang dari komitmen kuantitas yang telah disetujui *drop-shipper* sebelumnya m . Ternyata permintaan *drop-shipper* Q_{ds} sesuai dengan komitmen dan lebih dari permintaan distributor. Sehingga pada sub kasus ini distributor harus memberikan kompensasi v kepada *drop-shipper* karena tidak dapat memenuhi permintaan *drop-shipper* yang sesuai dengan jumlah kontrak pinalti kuantitas yang telah disetujui sebelumnya.

Formulasi skenario kasus berbeda dibawah setiap kasus utama pada masing-masing eselon dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Skenario Kasus

Eselon 1	Eselon 2	Eselon 3	Nama Kasus
$0 \leq t_s = \tau_m \leq \frac{n_2 Q}{P n_1}$	$0 \leq t_m = \tau_d \leq \frac{Q}{D}$	$m = Q > Q_{ds}$	1.1.1
		$Q < Q_{ds} \leq m$	1.1.2
	$0 \leq t_m < \tau_d \leq \frac{Q}{D}$	$m = Q > Q_{ds}$	1.2.1
		$Q < Q_{ds} \leq m$	1.2.2
$0 \leq t_s < \tau_m \leq \frac{n_2 Q}{P n_1}$	$0 \leq t_m = \tau_d \leq \frac{Q}{D}$	$m = Q > Q_{ds}$	2.1.1
		$Q < Q_{ds} \leq m$	2.1.2
	$0 \leq t_m < \tau_d \leq \frac{Q}{D}$	$m = Q > Q_{ds}$	2.2.1
		$Q < Q_{ds} \leq m$	2.2.2

3.3. Perhitungan Numerik

Pada tahap ini dilakukan perhitungan numerik masing-masing skenario kasus dengan model yang telah dikembangkan sebelumnya. Tujuan dari perhitungan numerik ini adalah untuk

mendapatkan *output* yang sesuai dengan tujuan. Perhitungan numerik dilakukan dengan bantuan 2 *software*, yaitu *Excel Solver* dan *maple*.

3.4. Analisa Sensitivitas

Setelah model tervalidasi dan verifikasi, juga percobaan numerik skenario kasus selesai dilakukan, kemudian dilakukan analisa sensitivitas. Analisa sensitivitas dilakukan dengan cara mencoba variasi parameter yang diperkirakan dapat memiliki pengaruh besar pada total biaya sistem sebagai fungsi tujuan. Melalui analisa sensitivitas dapat dilihat seberapa baik model yang dikembangkan berada dalam kondisi yang efektif dan optimal.

3.5. Analisa dan Pembahasan

Pada tahapan ini penulis melakukan pembahasan terkait dengan apa saja hasil yang dapat dikemukakan dari penelitian ini. Penulis melakukan analisa pada masing-masing skenario yang telah dilakukan percobaan numerik dan analisa sensitivitas. Analisa dilakukan secara mendalam keterkaitannya dengan permasalahan model konseptual yang telah dijelaskan sebelumnya.

3.6. Kesimpulan

Pada tahap yang paling terakhir ini penulis menyimpulkan seluruh hasil yang diperoleh dari penelitian. Kesimpulan disusun berdasarkan dengan tujuan penelitian yang telah ditetapkan sebelumnya, sehingga dapat menjawab tujuan penelitian. Pada tahapan ini penulis juga memberikan saran-saran yang diharapkan memiliki manfaat bagi objek penelitian ataupun penelitian-penelitian selanjutnya.

BAB IV

PENGEMBANGAN MODEL

Pada sub bab ini akan dilakukan formulasi model matematis kedalam delapan skenario kasus yang mewakili kondisi sistem rantai pasokan yang sedang diteliti. Penjelasan kondisi yang akan terjadi pada masing-masing sub skenario kasus telah dijelaskan pada sub bab sebelumnya. Dalam memformulasikan seluruh model matematis yang dikembangkan kedalam delapan skenario kasus akan digunakan pertimbangan panjang siklus secara umum. Seluruh notasi yang digunakan dalam formulasi model matematis dapat dilihat pada Lampiran 1.

4.1. Kasus 1.1.1 : $0 \leq t_s = \tau_m \leq \frac{n_2 Q}{Pn_1}$ dan $0 \leq t_m = \tau_d \leq \frac{Q}{D}$ dan $m = Q > Q_{ds}$

Pada kasus ini, pada eselon 1 diasumsikan bahwa *supplier* memberi *delay in payment* selama periode waktu t_s kepada manufaktur untuk menyelesaikan pembayaran tanpa beban bunga. Manufaktur melakukan pembayaran pada periode waktu τ_m , waktu pembayaran tersebut tepat pada akhir periode *delay in payment* yang diberikan oleh *supplier* t_s . Sehingga pada kasus ini manufaktur tidak akan memberikan kompensasi kepada *supplier* karena melakukan pembayaran tidak melebihi batas periode *delay in payment* yang diberikan *supplier*. Pada eselon 2, diasumsikan bahwa manufaktur memberi *delay in payment* selama periode waktu t_m kepada distributor untuk menyelesaikan pembayaran tanpa beban bunga. Distributor melakukan pembayaran pada periode waktu τ_d , waktu pembayaran tersebut tepat pada akhir periode *delay in payment* yang diberikan oleh manufaktur t_m . Sehingga pada kasus ini distributor tidak akan memberikan kompensasi kepada manufaktur karena melakukan pembayaran tidak melebihi batas periode *delay in payment* yang diberikan manufaktur. Pada eselon 3, diasumsikan bahwa dalam satu siklus umum $T = \frac{n_2 Q}{D}$ permintaan distributor sama dengan komitmen kuantitas yang telah disetujui *drop-shipper* sebelumnya m . Namun permintaan *drop-shipper* Q_{ds} kurang dari komitmen yang telah disetujui sebelumnya. Sehingga pada kasus ini *drop-shipper* harus memberikan kompensasi w kepada distributor karena melakukan pemesanan dengan jumlah dibawah kontrak pinalti kuantitas yang telah disetujui sebelumnya. Manufaktur dan distributor bisa jadi mendapat keuntungan lebih jika melakukan pembayaran pada τ_m dan τ_d dengan cara melakukan investasi keuangannya dalam investasi bebas resiko. *Drop-shipper* akan dikenakan pinalti karena melakukan pemesanan dibawah komitmen yang telah disetujui, sehingga harus membayar pinalti kepada distributor. Model matematis biaya akan diformulasikan terlebih dahulu untuk masing-masing pemain. Sebelum akhirnya akan diformulasikan model matematis untuk sistem rantai pasokan secara keseluruhan dengan skenario kasus 1.1.1.

Biaya pada supplier

Model matematis total biaya yang dikeluarkan oleh *supplier* pada penelitian ini sebagian besar merujuk pada model matematis Aljazzar et al. (2016) dengan modifikasi sistem persediaan yang merujuk pada model matematis Jaber et al. (2010). Aljazzar et al. (2016) mengembangkan model koordinasi rantai pasokan dua eselon dengan pertimbangan *permissible delay in payment*. Sehingga model tersebut mampu memenuhi kondisi sistem rantai pasokan yang dikembangkan pada penelitian ini, khususnya pada biaya yang dikeluarkan oleh *supplier*. Dimana *supplier* memberikan *delay in payment* kepada manufaktur. Seluruh notasi yang digunakan dalam formulasi model matematis dapat dilihat pada Lampiran 1. Adapun komponen biaya yang harus dikeluarkan oleh *supplier* meliputi biaya setup, produksi, *physical holding cost*, *financial holding cost*, dan *opportunity cost* dapat diformulasikan sebagai berikut :

$A_{s,f}$: Biaya setup *supplier* per siklus.

$C_{s,f}\alpha n_2 Q$: Biaya produksi *supplier* per siklus.

$\frac{n_1(n_1-1)}{2} (h_{s,f} + S_{s,f}) \left(\frac{\alpha n_2^2 Q^2}{P n_1^2} \right)$: *Physical holding cost supplier* per siklus.

$h_{s,f}\tau_m \alpha n_2 Q$: *Financial holding cost supplier* per siklus

$(C_{m,w} - C_{s,f})\alpha n_2 Q e^{k_s t_s}$: *Opportunity cost of investing* per siklus.

Total cost per cycle

$$\psi_s^{1.1.1} = A_{s,f} + C_{s,f}\alpha n_2 Q + \frac{n_1(n_1-1)}{2} (h_{s,f} + S_{s,f}) \left(\frac{\alpha n_2^2 Q^2}{P n_1^2} \right) + h_{s,f}\tau_m \alpha n_2 Q + (C_{m,w} - C_{s,f})\alpha n_2 Q e^{k_s t_s} \quad (4.1)$$

Total annual cost : membagi persamaan diatas dengan panjang siklus umum $\frac{n_2 Q}{D}$.

$$\psi_{s,f}^{1.1.1} = \frac{A_{s,f} D}{n_2 Q} + C_{s,f} \alpha D + \frac{n_1(n_1-1)}{2} (h_{s,f} + S_{s,f}) \frac{\alpha n_2 Q D}{P n_1^2} + h_{s,f} \tau_m \alpha D + (C_{m,w} - C_{s,f}) e^{k_s t_s} \alpha D \quad (4.2)$$

Diasumsikan bahwa, manufaktur menginvestasikan $C_{m,w} Q$ yang belum dibayar kepada *supplier* dalam investasi bebas resiko. Sehingga manufaktur akan mendapatkan bunga investasi bebas resiko selama periode penundaan pembayaran yang diperbolehkan oleh *supplier*. Pendapatan bunga investasi tersebut merupakan salah satu keuntungan bagi manufaktur. Semakin lama manufaktur menunda pembayaran maka akan mendapatkan bunga investasi yang semakin besar. Pada skenario kasus ini, keuntungan terbesar manufaktur dari bunga investasi akan terjadi saat manufaktur melakukan pembayaran pada akhir periode *delay in payment* yang diberikan oleh *supplier*.

Biaya pada manufaktur (bahan baku)

Model matematis total biaya yang dikeluarkan oleh manufaktur (bahan baku) pada penelitian ini sebagian besar merujuk pada model matematis Aljazzar et al. (2016) dengan modifikasi sistem persediaan yang merujuk pada model matematis Jaber et al. (2010). Aljazzar et al. (2016) mengembangkan model koordinasi rantai pasokan dua eselon dengan pertimbangan *permissible delay in payment*. Sehingga model tersebut mampu memenuhi kondisi sistem rantai pasokan yang dikembangkan pada penelitian ini, khususnya pada biaya yang dikeluarkan oleh manufaktur (bahan baku). Dimana manufaktur mendapatkan *delay in payment* dari *supplier*. Seluruh notasi yang digunakan dalam formulasi model matematis dapat dilihat pada Lampiran 1. Adapun komponen biaya yang harus dikeluarkan oleh manufaktur (bahan baku) meliputi pemesanan, pembelian, *physical holding cost*, *financial holding cost*, dan pendapatan bunga investasi, adalah sebagai berikut :

$n_1 A_{m,w}$: Biaya pemesanan bahan baku manufaktur per siklus.

$C_{m,w} \alpha n_2 Q$: Biaya pembelian bahan baku manufaktur per siklus.

$h_{m,w} n_1 \frac{(n_2 \alpha Q - \alpha P t_s n_1)^2}{2 \alpha P n_1^2} = h_{m,w} \frac{\alpha^2 n_2^2 Q^2}{2 \alpha P n_1} - h_{m,w} \alpha n_2 Q t_s + h_{m,w} \frac{n_1 \alpha P t_s^2}{2}$: *Financial holding cost* manufaktur per siklus.

$S_{m,w} \frac{\alpha n_2^2 Q^2}{2 P n_1}$: *Physical holding cost* manufaktur per siklus.

$C_{m,w} \alpha n_2 Q e^{k_m \tau_m}$: Pendapatan bunga investasi bebas resiko selama periode penundaan pembayaran yang diperbolehkan oleh *supplier*.

Total biaya per siklus

$$\psi_{m,w}^{1.1.1} = n_1 A_{m,w} + C_{m,w} \alpha n_2 Q + h_{m,w} \frac{\alpha^2 n_2^2 Q^2}{2 \alpha P n_1} - h_{m,w} \alpha n_2 Q t_s + h_{m,w} \frac{n_1 \alpha P t_s^2}{2} + S_{m,w} \frac{\alpha n_2^2 Q^2}{2 P n_1} - C_{m,w} \alpha n_2 Q e^{k_m \tau_m} \quad (4.3)$$

Total annual cost : membagi persamaan diatas dengan panjang siklus umum $\frac{n_2 Q}{D}$.

$$\psi_{m,w}^{1.1.1} = \frac{n_1 A_{m,w} D}{n_2 Q} + \frac{C_{m,w} \alpha n_2 Q D}{n_2 Q} + \frac{h_{m,w} \alpha^2 n_2^2 Q^2 D}{2 \alpha P n_1 n_2 Q} - \frac{h_{m,w} \alpha n_2 Q t_s D}{n_2 Q} + \frac{h_{m,w} n_1 \alpha P t_s^2 D}{2 n_2 Q} + \frac{S_{m,w} \alpha n_2^2 Q^2 D}{2 P n_1 n_2 Q} - \frac{C_{m,w} \alpha n_2 Q e^{k_m \tau_m} D}{n_2 Q} \quad (4.4)$$

Selanjutnya, manufaktur memberi distributor *delay in payment* selama periode waktu t_m untuk menyelesaikan pembayaran $C_{d,f} Q$ tanpa beban bunga. Bagaimanapun, itu akan menyebabkan *opportunity cost* pada manufaktur dengan perbandingan jika jumlah hutang distributor tersebut diinvestasikan. Sehingga, semakin panjang *delay in payment* yang diberikan

manufaktur kepada distributor akan meningkatkan biaya yang dikeluarkan oleh manufaktur. Namun hal tersebut menjadi layak jika permintaan distributor semakin meningkat.

Biaya pada manufaktur (produk jadi)

Model matematis total biaya yang dikeluarkan oleh manufaktur (bahan baku) pada penelitian ini sebagian besar merujuk pada model matematis Aljazzar et al. (2016) dengan modifikasi sistem persediaan yang merujuk pada model matematis Jaber et al. (2010). Aljazzar et al. (2016) mengembangkan model koordinasi rantai pasokan dua eselon dengan pertimbangan *permissible delay in payment*. Sehingga model tersebut mampu memenuhi kondisi sistem rantai pasokan yang dikembangkan pada penelitian ini, khususnya pada biaya yang dikeluarkan oleh manufaktur (produk jadi). Dimana manufaktur memberikan *delay in payment* kepada distributor. Seluruh notasi yang digunakan dalam formulasi model matematis dapat dilihat pada Lampiran 1. Adapun komponen biaya yang harus dikeluarkan oleh manufaktur (produk jadi) meliputi, *setup*, produksi, *physical holding cost*, *financial holding cost*, dan *opportunity cost* adalah sebagai berikut:

$A_{m,f}$: Biaya *setup* manufaktur untuk produk jadi per siklus.

$C_{m,f}n_2Q$: Biaya produksi manufaktur per siklus.

$(h_{m,f} + S_{m,f}) \left(\frac{n_2Q^2(2D+(P-D)n_2-P)}{2DP} \right)$: *Physical holding cost* per siklus.

$h_{m,f}\tau_d n_2Q$: *Financial holding cost* per siklus.

$(C_{d,f} - C_{m,f})n_2Qe^{k_m t_m}$: *Opportunity cost of investing* per siklus.

Total biaya per siklus

$$\psi_{m,f}^{1.1.1} = A_{m,f} + C_{m,f}n_2Q + (h_{m,f} + S_{m,f}) \left(\frac{n_2Q^2(2D+(P-D)n_2-P)}{2DP} \right) + h_{m,f}\tau_d n_2Q + (C_{d,f} - C_{m,f})n_2Qe^{k_m t_m} \tag{4.5}$$

Total annual cost : membagi persamaan diatas dengan panjang siklus umum $\frac{n_2Q}{D}$.

$$\psi_{m,f}^{1.1.1} = \frac{A_{m,f}D}{n_2Q} + C_{m,f}D + (h_{m,f} + S_{m,f}) \left(\frac{Q(2D+(P-D)n_2-P)}{2P} \right) + h_{m,f}\tau_d D + (C_{d,f} - C_{m,f})e^{k_m t_m} D \tag{4.6}$$

Sama dengan biaya bahan baku manufaktur, diasumsikan distributor menginvestasikan $C_{d,f}Q$ yang belum dibayar kepada manufaktur dalam investasi bebas resiko. Sehingga di distributor akan mendapatkan bunga investasi bebas resiko selama periode penundaan pembayaran yang diperbolehkan oleh manufaktur. Pendapatan bunga investasi tersebut merupakan salah satu keuntungan bagi distributor. Semakin lama distributor menunda pembayaran maka akan

mendapatkan bunga investasi yang semakin besar. Pada skenario kasus ini, keuntungan terbesar distributor dari bunga investasi akan terjadi saat distributor melakukan pembayaran pada akhir periode *delay in payment* yang diberikan oleh manufaktur. Distributor juga mendapatkan kompensasi oleh *drop-shipper* akibat permintaan *drop-shipper* yang kurang dari komitmen yang telah disetujui sebelumnya.

Biaya pada distributor

Model matematis total biaya yang dikeluarkan oleh distributor pada penelitian ini sebagian besar merujuk pada model matematis Aljazzar et al. (2016) dengan modifikasi sistem persediaan yang merujuk pada model matematis Jaber et al. (2010). Pada model total distributor juga dikembangkan model matematis pendapatan yang diperoleh jika *drop-shipper* melakukan pemesanan dibawah batasan kontrak kuantitas yang telah disetujui. Juga dikembangkan model matematis total biaya untuk kondisi biaya yang dikeluarkan distributor apabila tidak dapat memenuhi permintaan *drop-shipper*. Model matematis yang berhubungan dengan kontrak pinalti kuantitas *drop-shipper* dikembangkan dengan merujuk pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Gan et al. (2010). Aljazzar et al. (2016) mengembangkan model koordinasi rantai pasokan dua eselon dengan pertimbangan *permissible delay in payment*. Sehingga model tersebut mampu memenuhi kondisi sistem rantai pasokan yang dikembangkan pada penelitian ini, khususnya pada biaya yang dikeluarkan oleh distributor. Dimana distributor mendapatkan *delay in payment* dari manufaktur. Gan et al. (2010) mengembangkan model tentang kontrak pinalti yang diberikan oleh *supplier* kepada *drop-shipper*. Sehingga, penelitian tersebut dapat digunakan sebagai acuan dalam formulasi model total biaya yang berhubungan dengan kontrak pinalti. Dimana pada kasus ini *drop-shipper* diberikan kontrak pinalti oleh manufaktur. Seluruh notasi yang digunakan dalam formulasi model matematis dapat dilihat pada Lampiran 1. Adapun komponen biaya yang harus dikeluarkan oleh distributor meliputi pemesanan, pembelian, *physical holding cost*, *financial holding cost*, pendapatan bunga investasi, dan pendapatan kompensasi kontrak pinalti adalah sebagai berikut :

$n_2 A_{d,f}$: Biaya pemesanan distributor per siklus.

$C_{d,f} n_2 Q$: Biaya pembelian distributor per siklus.

$n_2 h_{d,f} \frac{(\frac{Q}{D} - t_m)(Q - Dt_m)}{2} = n_2 h_{d,f} \frac{(Q - Dt_m)^2}{2D}$: *Financial holding cost*.

$\frac{S_{d,f} n_2 Q^2}{2D}$: *Physical holding cost*.

$n_2 Q C_{d,f} (1 - e^{k_d t_m})$: Pendapatan bunga investasi bebas resiko.

$w(m - Q_{ds})$: Pendapatan kontrak pinalti dari *drop-shipper*.

Total biaya per siklus

$$\psi_{d,f}^{1.1.1} = n_2 A_{d,f} + C_{d,f} n_2 Q + n_2 h_{d,f} \frac{(Q - Dt_m)^2}{2D} + \frac{S_{d,f} n_2 Q^2}{2D} - n_2 Q C_{d,f} (1 - e^{k_a t_m}) - w(m - Q_{ds}) \quad (4.7)$$

Total annual cost : membagi persamaan diatas dengan panjang siklus umum $\frac{n_2 Q}{D}$.

$$\psi_{d,f}^{1.1.1} = \frac{A_{d,f} D}{Q} + C_{d,f} D + \frac{h_{d,f} (Q - Dt_m)^2}{2Q} + \frac{S_{d,f} Q}{2} - C_{d,f} D (1 - e^{k_a t_m}) - \frac{w(m - Q_{ds}) D}{n_2 Q} \quad (4.8)$$

Dengan adanya kontrak pinalti yang disetujui antara distributor dan *drop-shipper* maka, *drop-shipper* akan dikenakan biaya pinalti karena dalam satu siklus umum $T = \frac{n_2 Q}{D}$ permintaan *drop-shipper* kurang dari komitmen yang telah disetujui sebelumnya. *Drop-shipper* tidak memiliki komponen biaya simpan karena produk yang dijual akan dikirimkan langsung oleh distributor.

Biaya pada drop-shipper

Model matematis total biaya yang dikeluarkan *drop-shipper* pada penelitian ini sebgaiian besar merujuk pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Gan et al. (2010). Pada model total *drop-shipper* juga dikembangkan model matematis pengeluaran *drop-shipper* saat melakukan pemesanan dibawah batasan kontrak kuantitas yang telah disetujui. Selain itu juga dikembangkan model matematis pendapatan *drop-shipper* saat distributor tidak dapat memenuhi permintaan yang sesuai dalam kontrak. Gan et al. (2010) mengembangkan model tentang kontrak pinalti yang diberikan oleh *supplier* kepada *drop-shipper*. Sehingga, penelitian tersebut dapat digunakan sebagai acuan dalam formulasi model total biaya yang berhubungan dengan kontrak pinalti. Dimana pada kasus ini *drop-shipper* diberikan kontrak pinalti oleh manufaktur. Seluruh notasi yang digunakan dalam formulasi model matematis dapat dilihat pada Lampiran 1. Adapun komponen biaya yang harus dikeluarkan oleh *drop-shipper* meliputi pemesanan, pembelian, dan beban pinalti adalah sebagai berikut :

$Q_{ds} A_{ds,f}$: Biaya pemesanan *drop-shipper* per siklus.

$C_{ds,f} Q_{ds}$: Biaya pembelian *drop-shipper* per siklus.

$w(m - Q_{ds})$: Beban kontrak pinalti.

Total biaya per siklus

$$\psi_{ds,f}^{1.1.1} = Q_{ds} A_{ds,f} + C_{ds,f} Q_{ds} + C_{ds,f} (m - Q_{ds}) \quad (4.9)$$

Total annual cost : membagi persamaan diatas dengan panjang siklus umum $\frac{n_2 Q}{D}$.

$$\psi_{ds,f}^{1.1.1} = \frac{Q_{ds} A_{ds,f} D}{n_2 Q} + \frac{C_{ds,f} Q_{ds} D}{n_2 Q} + \frac{w(m - Q_{ds}) D}{n_2 Q} \quad (4.10)$$

Total biaya tahunan dari sistem dapat dicari dengan menjumlahkan total biaya tahunan dari masing-masing pemain (*Supplier* : ●, *Manufacturer raw material* : ●, *Manufacturer finish good* : ●, *Distributor* : ●, *Drop-shipper* : ●) adalah :

$$\begin{aligned}
\psi_{SC}^{1.1.1} = & \frac{A_{s,f}D}{n_2Q} + C_{s,f}\alpha D + \frac{n_1(n_1-1)}{2}(h_{s,f} + S_{s,f})\frac{\alpha n_2 Q D}{P n_1^2} + h_{s,f}\tau_m\alpha D + (C_{m,w} - \\
& C_{s,f})e^{k_s t_s}\alpha D + \frac{n_1 A_{m,w}D}{n_2Q} + \frac{C_{m,w}\alpha n_2 Q D}{n_2Q} + \frac{h_{m,w}\alpha^2 n_2^2 Q^2 D}{2\alpha P n_1 n_2 Q} - \frac{h_{m,w}\alpha n_2 Q t_s D}{n_2Q} + \frac{h_{m,w}n_1\alpha P t_s^2 D}{2n_2Q} + \\
& \frac{S_{m,w}\alpha n_2^2 Q^2 D}{2P n_1 n_2 Q} - \frac{C_{m,w}\alpha n_2 Q e^{k_m \tau_m} D}{n_2Q} + \frac{A_{m,f}D}{n_2Q} + C_{m,f}D + (h_{m,f} + S_{m,f})\left(\frac{Q(2D+(P-D)n_2-P)}{2P}\right) + \\
& h_{m,f}\tau_d D + (C_{d,f} - C_{m,f})e^{k_m t_m} D + \frac{A_{d,f}D}{Q} + C_{d,f}D + \frac{h_{d,f}(Q-Dt_m)^2}{2Q} + \frac{S_{d,f}Q}{2} - C_{d,f}D(1 - \\
& e^{k_d t_m}) - \frac{w(m-Q_{ds})D}{n_2Q} + \frac{Q_{ds}A_{ds,f}D}{n_2Q} + \frac{C_{ds,f}Q_{ds}D}{n_2Q} + \frac{w(m-Q_{ds})D}{n_2Q}
\end{aligned} \tag{4.11}$$

4.2. Kasus 1.1.2 : $0 \leq t_s = \tau_m \leq \frac{n_2Q}{Pn_1}$ dan $0 \leq t_m = \tau_d \leq \frac{Q}{D}$ dan $Q < Q_{ds} \leq m$

Pada kasus ini, pada eselon 1 diasumsikan bahwa *supplier* memberi *delay in payment* selama periode waktu t_s kepada manufaktur untuk menyelesaikan pembayaran tanpa beban bunga. Manufaktur melakukan pembayaran pada periode waktu τ_m , waktu pembayaran tersebut tepat pada akhir periode *delay in payment* yang diberikan oleh *supplier* t_s . Sehingga pada kasus ini manufaktur tidak akan memberikan kompensasi kepada *supplier* karena melakukan pembayaran tidak melebihi batas periode *delay in payment* yang diberikan *supplier*. Pada eselon 2, diasumsikan bahwa manufaktur memberi *delay in payment* selama periode waktu t_m kepada distributor untuk menyelesaikan pembayaran tanpa beban bunga. Distributor melakukan pembayaran pada periode waktu τ_d , waktu pembayaran tersebut tepat pada akhir periode *delay in payment* yang diberikan oleh manufaktur t_m . Sehingga pada kasus ini distributor tidak akan memberikan kompensasi kepada manufaktur karena melakukan pembayaran tidak melebihi batas periode *delay in payment* yang diberikan manufaktur. Pada eselon 3, diasumsikan bahwa dalam satu siklus umum $T = \frac{n_2Q}{D}$ permintaan distributor kurang dari komitmen kuantitas yang telah disetujui *drop-shipper* sebelumnya m . Ternyata permintaan *drop-shipper* Q_{ds} sesuai dengan komitmen dan lebih dari permintaan distributor. Sehingga pada kasus ini distributor harus memberikan kompensasi v kepada *drop-shipper* karena tidak dapat memenuhi permintaan *drop-shipper* yang sesuai dengan jumlah kontrak pinalti kuantitas yang telah disetujui sebelumnya. Manufaktur dan distributor bisa jadi mendapat keuntungan lebih dengan melakukan pembayaran pada τ_m dan τ_d dengan cara melakukan investasi keuangannya dalam investasi bebas resiko. Namun, distributor juga akan terkena pinalti karena tidak bisa memenuhi permintaan *drop-shipper* sesuai dengan komitmen yang telah disetujui, sehingga harus membayar pinalti kepada *drop-shipper*. Model matematis

biaya akan diformulasikan terlebih dahulu untuk masing-masing pemain. Sebelum akhirnya akan diformulasikan model matematis untuk sistem rantai pasokan secara keseluruhan dengan skenario kasus 1.1.2.

Biaya pada distributor

Model matematis total biaya yang dikeluarkan oleh distributor pada penelitian ini sebagian besar merujuk pada model matematis Aljazzar et al. (2016) dengan modifikasi sistem persediaan yang merujuk pada model matematis Jaber et al. (2010). Pada model total distributor juga dikembangkan model matematis pendapatan yang diperoleh jika *drop-shipper* melakukan pemesanan dibawah batasan kontrak kuantitas yang telah disetujui. Juga dikembangkan model matematis total biaya untuk kondisi biaya yang dikeluarkan distributor apabila tidak dapat memenuhi permintaan *drop-shipper*. Model matematis yang berhubungan dengan kontrak pinalti kuantitas *drop-shipper* dikembangkan dengan merujuk pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Gan et al. (2010). Aljazzar et al. (2016) mengembangkan model koordinasi rantai pasokan dua eselon dengan pertimbangan *permissible delay in payment*. Sehingga model tersebut mampu memenuhi kondisi sistem rantai pasokan yang dikembangkan pada penelitian ini, khususnya pada biaya yang dikeluarkan oleh distributor. Dimana distributor mendapatkan *delay in payment* dari manufaktur. Gan et al. (2010) mengembangkan model tentang kontrak pinalti yang diberikan oleh *supplier* kepada *drop-shipper*. Sehingga, penelitian tersebut dapat digunakan sebagai acuan dalam formulasi model total biaya yang berhubungan dengan kontrak pinalti. Dimana pada kasus ini *drop-shipper* diberikan kontrak pinalti oleh manufaktur. Seluruh notasi yang digunakan dalam formulasi model matematis dapat dilihat pada Lampiran 1. Adapun komponen biaya yang harus dikeluarkan oleh distributor meliputi pemesanan, pembelian, *physical holding cost*, *financial holding cost*, beban kompensasi kontrak pinalti, dan pendapatan bunga investasi adalah sebagai berikut :

$n_2 A_{d,f}$: Biaya pemesanan distributor per siklus.

$C_{d,f} n_2 Q$: Biaya pembelian distributor per siklus.

$n_2 h_{d,f} \frac{(\frac{Q}{D} - t_m)(Q - Dt_m)}{2} = n_2 h_{d,f} \frac{(Q - Dt_m)^2}{2D}$: *Financial holding cost* per siklus.

$\frac{s_{d,f} n_2 Q^2}{2D}$: *Physical holding cost* per siklus.

$v(Q_{ds} - Qn_2)$: Beban kontrak pinalti per siklus.

$n_2 QC_{d,f}(1 - e^{katm})$: Pendapatan bunga investasi bebas resiko persiklus.

Total biaya per siklus

$$\psi_{d,f}^{1.1.2} = n_2 A_{d,f} + C_{d,f} n_2 Q + n_2 h_{d,f} \frac{(Q - Dt_m)^2}{2D} + \frac{S_{d,f} n_2 Q^2}{2D} + v(Q_{ds} - Qn_2) - n_2 Q C_{d,f} (1 - e^{k_a t_m}) \quad (4.12)$$

Total annual cost : membagi persamaan diatas dengan panjang siklus umum $\frac{n_2 Q}{D}$.

$$\psi_{d,f}^{1.1.2} = \frac{A_{d,f} D}{Q} + C_{d,f} D + \frac{h_{d,f} (Q - Dt_m)^2}{2Q} + \frac{S_{d,f} Q}{2} + \frac{v(Q_{ds} - Qn_2) D}{n_2 Q} - C_{d,f} D (1 - e^{k_a t_m}) \quad (4.13)$$

Karena distributor melanggar kontrak pinalti yang disetujui antara distributor dan *drop-shipper* maka, *drop-shipper* berhak mendapatkan kompensasi dari distributor. *Drop-shipper* tidak memiliki komponen biaya simpan karena produk yang dijual akan dikirimkan langsung oleh distributor.

Biaya pada drop-shipper

Model matematis total biaya yang dikeluarkan *drop-shipper* pada penelitian ini sebagian besar merujuk pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Gan et al. (2010). Pada model total *drop-shipper* juga dikembangkan model matematis pengeluaran *drop-shipper* saat melakukan pemesanan dibawah batasan kontrak kuantitas yang telah disetujui. Selain itu juga dikembangkan model matematis pendapatan *drop-shipper* saat distributor tidak dapat memenuhi permintaan yang sesuai dalam kontrak. Gan et al. (2010) mengembangkan model tentang kontrak pinalti yang diberikan oleh *supplier* kepada *drop-shipper*. Sehingga, penelitian tersebut dapat digunakan sebagai acuan dalam formulasi model total biaya yang berhubungan dengan kontrak pinalti. Dimana pada kasus ini *drop-shipper* diberikan kontrak pinalti oleh manufaktur. Seluruh notasi yang digunakan dalam formulasi model matematis dapat dilihat pada Lampiran 1. Adapun komponen biaya yang harus dikeluarkan oleh *drop-shipper* meliputi pemesanan, pembelian, dan pendapatan pinalti adalah sebagai berikut :

$Q_{ds} A_{ds,f}$: Biaya pemesanan *drop-shipper* per siklus.

$C_{ds,f} Q_{ds}$: Biaya pembelian *drop-shipper* per siklus.

$v(Q_{ds} - Qn_2)$: Pendapatan kontrak pinalti dari distributor

Total biaya per siklus

$$\psi_{ds,f}^{1.1.2} = Q_{ds} A_{ds,f} + C_{ds,f} Q_{ds} - v(Q_{ds} - Qn_2) \quad (4.14)$$

Total annual cost : membagi persamaan diatas dengan panjang siklus umum $\frac{n_2 Q}{D}$.

$$\psi_{ds,f}^{1.1.2} = \frac{Q_{ds} A_{ds,f} D}{n_2 Q} + \frac{C_{ds,f} Q_{ds} D}{n_2 Q} - \frac{v(Q_{ds} - Qn_2) D}{n_2 Q} \quad (4.15)$$

Model matematis untuk $\psi_{s,f}^{1.1.2}$, $\psi_{m,w}^{1.1.2}$, dan $\psi_{m,f}^{1.1.2}$ sama dengan kasus 1.1.1. Sehingga, total biaya tahunan dari sistem dapat dicari dengan menjumlahkan total biaya tahunan dari masing-masing pemain (*Supplier* : ●, *Manufacturer raw material* : ●, *Manufacturer finish good* : ●, *Distributor* : ●, *Drop-shipper* : ●) adalah :

$$\begin{aligned}
\psi_{SC}^{1.1.2} = & \frac{A_{s,f}D}{n_2Q} + C_{s,f}\alpha D + \frac{n_1(n_1-1)}{2} (h_{s,f} + S_{s,f}) \frac{\alpha n_2 Q D}{P n_1^2} + h_{s,f} \tau_m \alpha D + (C_{m,w} - \\
& C_{s,f}) e^{k_s t_s} \alpha D + \frac{n_1 A_{m,w} D}{n_2 Q} + \frac{C_{m,w} \alpha n_2 Q D}{n_2 Q} + \frac{h_{m,w} \alpha^2 n_2^2 Q^2 D}{2 \alpha P n_1 n_2 Q} - \frac{h_{m,w} \alpha n_2 Q t_s D}{n_2 Q} + \frac{h_{m,w} n_1 \alpha P t_s^2 D}{2 n_2 Q} + \\
& \frac{S_{m,w} \alpha n_2^2 Q^2 D}{2 P n_1 n_2 Q} - \frac{C_{m,w} \alpha n_2 Q e^{k_m \tau_m} D}{n_2 Q} + \frac{A_{m,f} D}{n_2 Q} + C_{m,f} D + (h_{m,f} + S_{m,f}) \left(\frac{Q(2D + (P-D)n_2 - P)}{2P} \right) + \\
& h_{m,f} \tau_d D + (C_{d,f} - C_{m,f}) e^{k_d t_m} D + \frac{A_{d,f} D}{Q} + C_{d,f} D + \frac{h_{d,f} (Q - D t_m)^2}{2Q} + \frac{S_{d,f} Q}{2} + \frac{v(Q_{ds} - Q n_2) D}{n_2 Q} - \\
& C_{d,f} D (1 - e^{k_d t_m}) + \frac{Q_{ds} A_{ds,f} D}{n_2 Q} + \frac{C_{ds,f} Q_{ds} D}{n_2 Q} - \frac{v(Q_{ds} - Q n_2) D}{n_2 Q}
\end{aligned} \tag{4.16}$$

4.3. Kasus 1.2.1 : $0 \leq t_s = \tau_m \leq \frac{n_2 Q}{P n_1}$ dan $0 \leq t_m < \tau_d \leq \frac{Q}{D}$ dan $m = Q > Q_{ds}$

Pada kasus ini, pada eselon 1 diasumsikan bahwa *supplier* memberi *delay in payment* selama periode waktu t_s kepada manufaktur untuk menyelesaikan pembayaran tanpa beban bunga. Manufaktur melakukan pembayaran pada periode waktu τ_m , waktu pembayaran tersebut tepat pada akhir periode *delay in payment* yang diberikan oleh *supplier* t_s . Sehingga pada kasus ini manufaktur tidak akan memberikan kompensasi kepada *supplier* karena melakukan pembayaran tidak melebihi batas periode *delay in payment* yang diberikan *supplier*. Pada eselon 2, diasumsikan bahwa manufaktur memberi *delay in payment* selama periode waktu t_m kepada distributor untuk menyelesaikan pembayaran tanpa beban bunga. Distributor melakukan pembayaran pada periode waktu τ_d , waktu pembayaran tersebut terjadi setelah akhir periode *delay in payment* yang diberikan oleh manufaktur t_m dan sebelum menerima pengiriman selanjutnya. Sehingga pada kasus ini distributor harus akan memberikan kompensasi kepada manufaktur karena melakukan pembayaran melebihi batas periode *delay in payment* yang diberikan manufaktur. Pada eselon 3, diasumsikan bahwa dalam satu siklus umum $T = \frac{n_2 Q}{D}$ permintaan distributor sama dengan komitmen kuantitas yang telah disetujui *drop-shipper* sebelumnya m . Namun permintaan *drop-shipper* Q_{ds} kurang dari komitmen yang telah disetujui sebelumnya. Sehingga pada kasus ini *drop-shipper* harus memeberikan kompensasi w kepada distributor karena melakukan pemesanan dengan jumlah dibawah kontrak pinalti kuantitas yang telah disetujui sebelumnya. Manufaktur dan distributor bisa jadi mendapat keuntungan lebih dengan melakukan pembayaran pada τ_m dan τ_d dengan cara melakukan investasi keuanganya dalam investasi bebas resiko. Namun distributor

juga harus menanggung beban bunga kepada manufaktur karena melakukan pembayaran diluar batas waktu yang diberikan. *Drop-shipper* akan dikenakan pinalti karena melakukan pemesanan dibawah komitmen yang telah disetujui, sehingga harus membayar pinalti kepada distributor. Model matematis biaya akan diformulasikan terlebih dahulu untuk masing-masing pemain. Sebelum akhirnya akan diformulasikan model matematis untuk sistem rantai pasokan secara keseluruhan dengan skenario kasus 1.2.1.

Biaya pada distributor

Model matematis total biaya yang dikeluarkan oleh distributor pada penelitian ini sebagian besar merujuk pada model matematis Aljazzar et al. (2016) dengan modifikasi sistem persediaan yang merujuk pada model matematis Jaber et al. (2010). Pada model total distributor juga dikembangkan model matematis pendapatan yang diperoleh jika *drop-shipper* melakukan pemesanan dibawah batasan kontrak kuantitas yang telah disetujui. Juga dikembangkan model matematis total biaya untuk kondisi biaya yang dikeluarkan distributor apabila tidak dapat memenuhi permintaan *drop-shipper*. Model matematis yang berhubungan dengan kontrak pinalti kuantitas *drop-shipper* dikembangkan dengan merujuk pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Gan et al. (2010). Aljazzar et al. (2016) mengembangkan model koordinasi rantai pasokan dua eselon dengan pertimbangan *permissible delay in payment*. Sehingga model tersebut mampu memenuhi kondisi sistem rantai pasokan yang dikembangkan pada penelitian ini, khususnya pada biaya yang dikeluarkan oleh distributor. Dimana distributor mendapatkan *delay in payment* dari manufaktur. Gan et al. (2010) mengembangkan model tentang kontrak pinalti yang diberikan oleh *supplier* kepada *drop-shipper*. Sehingga, penelitian tersebut dapat digunakan sebagai acuan dalam formulasi model total biaya yang berhubungan dengan kontrak pinalti. Dimana pada kasus ini *drop-shipper* diberikan kontrak pinalti oleh manufaktur. Seluruh notasi yang digunakan dalam formulasi model matematis dapat dilihat pada Lampiran 1. Adapun komponen biaya yang harus dikeluarkan oleh distributor meliputi pemesanan, pembelian, *physical holding cost*, *financial holding cost*, beban bunga *delay in payment*, pendapatan bunga investasi, dan pendapatan kompensasi kontrak pinalti adalah sebagai berikut :

$n_2 A_{d,f}$: Biaya pemesanan distributor per siklus.

$C_{d,f} n_2 Q$: Biaya pembelian distributor per siklus.

$n_2 h_{d,f} \frac{(\frac{Q}{D} - t_m)(Q - Dt_m)}{2} = n_2 h_{d,f} \frac{(Q - Dt_m)^2}{2D}$: *Financial holding cost* per siklus.

$\frac{S_{d,f} n_2 Q^2}{2D}$: *Physical holding cost* per siklus.

$n_2 Q C_{d,f} e^{k_m(\tau_d - t_m)}$: Beban bunga *delay in payment*.

$n_2QC_{d,f}(1 - e^{k_d t_m})$ Pendapatan bunga investasi bebas resiko.

$w(m - Q_{ds})$: Pendapatan kontrak pinalti dari *drop-shipper*.

Total biaya per siklus

$$\psi_{d,f}^{1,2,1} = n_2A_{d,f} + C_{d,f}n_2Q + n_2h_{d,f}\frac{(Q-Dt_m)^2}{2D} + \frac{S_{d,f}n_2Q^2}{2D} + n_2QC_{d,f}e^{k_m(\tau_d-t_m)} - n_2QC_{d,f}(1 - e^{k_d t_m}) - w(m - Q_{ds}) \quad (4.17)$$

Total annual cost : membagi persamaan diatas dengan panjang siklus umum $\frac{n_2Q}{D}$.

$$\psi_{d,f}^{1,2,1} = \frac{A_{d,f}D}{Q} + C_{d,f}D + \frac{h_{d,f}(Q-Dt_m)^2}{2Q} + \frac{S_{d,f}Q}{2} + C_{d,f}e^{k_m(\tau_d-t_m)}D - C_{d,f}D(1 - e^{k_d t_m}) - \frac{w(m-Q_{ds})D}{n_2Q} \quad (4.18)$$

Biaya pada manufaktur (produk jadi)

Model matematis total biaya yang dikeluarkan oleh manufaktur (bahan baku) pada penelitian ini sebagian besar merujuk pada model matematis Aljazzar et al. (2016) dengan modifikasi sistem persediaan yang merujuk pada model matematis Jaber et al. (2010). Aljazzar et al. (2016) mengembangkan model koordinasi rantai pasokan dua eselon dengan pertimbangan *permissible delay in payment*. Sehingga model tersebut mampu memenuhi kondisi sistem rantai pasokan yang dikembangkan pada penelitian ini, khususnya pada biaya yang dikeluarkan oleh manufaktur (produk jadi). Dimana manufaktur memberikan *delay in payment* kepada distributor. Seluruh notasi yang digunakan dalam formulasi model matematis dapat dilihat pada Lampiran 1. Adapun komponen biaya yang harus dikeluarkan oleh manufaktur (produk jadi) meliputi *setup*, produksi, *physical holding cost*, *financial holding cost*, *opportunity cost*, dan pendapatan bunga *delay in payment* adalah sebagai berikut :

$A_{m,f}$: Biaya *setup* manufaktur untuk produk jadi per siklus.

$C_{m,f}n_2Q$: Biaya produksi manufaktur per siklus.

$(h_{m,f} + S_{m,f})\left(\frac{n_2Q^2(2D+(P-D)n_2-P)}{2DP}\right)$: *Physical holding cost* per siklus.

$h_{m,f}\tau_d n_2Q$: *Financial holding cost* per siklus.

$(C_{d,f} - C_{m,f})n_2Qe^{k_m t_m}$: *Opportunity cost of investing* per siklus.

$C_{d,f}n_2Qe^{k_m(\tau_d-t_m)}$: Pendapatan bunga *delay in payment*.

Total biaya per siklus

$$\psi_{m,f}^{1,2,1} = A_{m,f} + C_{m,f}n_2Q + (h_{m,f} + S_{m,f})\left(\frac{n_2Q^2(2D+(P-D)n_2-P)}{2DP}\right) + h_{m,f}\tau_d n_2Q + (C_{d,f} - C_{m,f})n_2Qe^{k_m t_m} - C_{d,f}n_2Qe^{k_m(\tau_d-t_m)} \quad (4.19)$$

Total annual cost : membagi persamaan diatas dengan panjang siklus umum $\frac{n_2 Q}{D}$.

$$\psi_{m,f}^{1.2.1} = \frac{A_{m,f}D}{n_2 Q} + C_{m,f}D + (h_{m,f} + S_{m,f}) \left(\frac{Q(2D+(P-D)n_2-P)}{2P} \right) + h_{m,f}\tau_d D + (C_{d,f} - C_{m,f})e^{k_m t_m} D - C_{d,f}e^{k_m(\tau_d-t_m)} D \quad (4.20)$$

Model matematis untuk $\psi_{s,f}^{1.2.1}$, $\psi_{m,w}^{1.2.1}$, dan $\psi_{ds,f}^{1.2.1}$ sama dengan kasus 1.1.1. Sehingga, total biaya tahunan dari sistem dapat dicari dengan menjumlahkan total biaya tahunan dari masing-masing pemain (*Supplier* : ●, *Manufacturer raw material* : ●, *Manufacturer finish good* : ●, *Distributor* : ●, *Drop-shipper* : ●) adalah :

$$\begin{aligned} \psi_{SC}^{1.2.1} = & \frac{A_{s,f}D}{n_2 Q} + C_{s,f}\alpha D + \frac{n_1(n_1-1)}{2} (h_{s,f} + S_{s,f}) \frac{\alpha n_2 Q D}{P n_1^2} + h_{s,f}\tau_m \alpha D + (C_{m,w} - C_{s,f})e^{k_s t_s} \alpha D + \frac{n_1 A_{m,w} D}{n_2 Q} + \frac{C_{m,w} \alpha n_2 Q D}{n_2 Q} + \frac{h_{m,w} \alpha^2 n_2^2 Q^2 D}{2 \alpha P n_1 n_2 Q} - \frac{h_{m,w} \alpha n_2 Q t_s D}{n_2 Q} + \frac{h_{m,w} n_1 \alpha P t_s^2 D}{2 n_2 Q} + \\ & \frac{S_{m,w} \alpha n_2^2 Q^2 D}{2 P n_1 n_2 Q} - \frac{C_{m,w} \alpha n_2 Q e^{k_m t_m} D}{n_2 Q} + \frac{A_{m,f}D}{n_2 Q} + C_{m,f}D + (h_{m,f} + S_{m,f}) \left(\frac{Q(2D+(P-D)n_2-P)}{2P} \right) + \\ & h_{m,f}\tau_d D + (C_{d,f} - C_{m,f})e^{k_m t_m} D - C_{d,f}e^{k_m(\tau_d-t_m)} D + \frac{A_{d,f}D}{Q} + C_{d,f}D + \frac{h_{d,f}(Q-D)t_m^2}{2Q} + \\ & \frac{S_{d,f}Q}{2} + C_{d,f}e^{k_m(\tau_d-t_m)} D - C_{d,f}D(1 - e^{k_d t_m}) - \frac{w(m-Q_{ds})D}{n_2 Q} + \frac{Q_{ds}A_{ds,f}D}{n_2 Q} + \frac{C_{ds,f}Q_{ds}D}{n_2 Q} + \\ & \frac{w(m-Q_{ds})D}{n_2 Q} \end{aligned} \quad (4.21)$$

4.4. Kasus 1.2.2 : $0 \leq t_s = \tau_m \leq \frac{n_2 Q}{P n_1}$ dan $0 \leq t_m < \tau_d \leq \frac{Q}{D}$ dan $Q < Q_{ds} \leq m$

Pada kasus ini, pada eselon 1 diasumsikan bahwa *supplier* memberi *delay in payment* selama periode waktu t_s kepada manufaktur untuk menyelesaikan pembayaran tanpa beban bunga. Manufaktur melakukan pembayaran pada periode waktu τ_m , waktu pembayaran tersebut tepat pada akhir periode *delay in payment* yang diberikan oleh *supplier* t_s . Sehingga pada kasus ini manufaktur tidak akan memberikan kompensasi kepada *supplier* karena melakukan pembayaran tidak melebihi batas periode *delay in payment* yang diberikan *supplier*. Pada eselon 2, diasumsikan bahwa manufaktur memberi *delay in payment* selama periode waktu t_m kepada distributor untuk menyelesaikan pembayaran tanpa beban bunga. Distributor melakukan pembayaran pada periode waktu τ_d , waktu pembayaran tersebut terjadi setelah akhir periode *delay in payment* yang diberikan oleh manufaktur t_m dan sebelum menerima pengiriman selanjutnya. Sehingga pada kasus ini distributor harus akan memberikan kompensasi kepada manufaktur karena melakukan pembayaran melebihi batas periode *delay in payment* yang diberikan manufaktur. Pada eselon 3, diasumsikan bahwa dalam satu siklus umum $T = \frac{n_2 Q}{D}$ permintaan distributor kurang dari

komitmen kuantitas yang telah disetujui *drop-shipper* sebelumnya m . Ternyata permintaan *drop-shipper* Q_{ds} sesuai dengan komitmen dan lebih dari permintaan distributor. Sehingga pada kasus ini distributor harus memberikan kompensasi v kepada *drop-shipper* karena tidak dapat memenuhi permintaan *drop-shipper* yang sesuai dengan jumlah kontrak pinalti kuantitas yang telah disetujui sebelumnya. Manufaktur dan distributor bisa jadi mendapat keuntungan lebih dengan melakukan pembayaran pada τ_m dan τ_d dengan cara melakukan investasi keuangannya dalam investasi bebas resiko. Namun distributor juga harus menanggung beban bunga kepada manufaktur karena melakukan pembayaran diluar batas waktu yang diberikan. Distributor juga akan terkena pinalti karena tidak bisa memenuhi permintaan *drop-shipper* sesuai dengan komitmen yang telah disetujui, sehingga harus membayar pinalti kepada *drop-shipper*. Model matematis biaya akan diformulasikan terlebih dahulu untuk masing-masing pemain. Sebelum akhirnya akan diformulasikan model matematis untuk sistem rantai pasokan secara keseluruhan dengan skenario kasus 1.2.2.

Biaya pada distributor

Model matematis total biaya yang dikeluarkan oleh distributor pada penelitian ini sebagian besar merujuk pada model matematis Aljazzar et al. (2016) dengan modifikasi sistem persediaan yang merujuk pada model matematis Jaber et al. (2010). Pada model total distributor juga dikembangkan model matematis pendapatan yang diperoleh jika *drop-shipper* melakukan pemesanan dibawah batasan kontrak kuantitas yang telah disetujui. Juga dikembangkan model matematis total biaya untuk kondisi biaya yang dikeluarkan distributor apabila tidak dapat memenuhi permintaan *drop-shipper*. Model matematis yang berhubungan dengan kontrak pinalti kuantitas *drop-shipper* dikembangkan dengan merujuk pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Gan et al. (2010). Aljazzar et al. (2016) mengembangkan model koordinasi rantai pasokan dua eselon dengan pertimbangan *permissible delay in payment*. Sehingga model tersebut mampu memenuhi kondisi sistem rantai pasokan yang dikembangkan pada penelitian ini, khususnya pada biaya yang dikeluarkan oleh distributor. Dimana distributor mendapatkan *delay in payment* dari manufaktur. Gan et al. (2010) mengembangkan model tentang kontrak pinalti yang diberikan oleh *supplier* kepada *drop-shipper*. Sehingga, penelitian tersebut dapat digunakan sebagai acuan dalam formulasi model total biaya yang berhubungan dengan kontrak pinalti. Dimana pada kasus ini *drop-shipper* diberikan kontrak pinalti oleh manufaktur. Seluruh notasi yang digunakan dalam formulasi model matematis dapat dilihat pada Lampiran 1. Adapun komponen biaya yang harus dikeluarkan oleh distributor meliputi pemesanan, pembelian, *physical holding cost*, *financial holding cost*, beban bunga *delay in payment*, beban kompensasi kontrak pinalti, dan pendapatan bunga investasi adalah sebagai berikut :

$n_2 A_{d,f}$: Biaya pemesanan distributor per siklus.

$C_{d,f} n_2 Q$: Biaya pembelian distributor per siklus.

$n_2 h_{d,f} \frac{(\frac{Q}{D} - t_m)(Q - D t_m)}{2} = n_2 h_{d,f} \frac{(Q - D t_m)^2}{2D}$: *Financial holding cost* per siklus.

$\frac{S_{d,f} n_2 Q^2}{2D}$: *Physical holding cost* per siklus.

$n_2 Q C_{d,f} e^{k_m(\tau_d - t_m)}$: Beban bunga *delay in payment*.

$v(Q_{ds} - Q n_2)$: Beban kontrak pinalti per siklus.

$n_2 Q C_{d,f} (1 - e^{k_a t_m})$: Pendapatan bunga investasi bebas resiko.

Total biaya per siklus

$$\psi_{d,f}^{1.2.2} = n_2 A_{d,f} + C_{d,f} n_2 Q + n_2 h_{d,f} \frac{(Q - D t_m)^2}{2D} + \frac{S_{d,f} n_2 Q^2}{2D} + n_2 Q C_{d,f} e^{k_m(\tau_d - t_m)} + v(Q_{ds} - Q n_2) - n_2 Q C_{d,f} (1 - e^{k_a t_m}) \quad (4.22)$$

Total annual cost : membagi persamaan diatas dengan panjang siklus umum $\frac{n_2 Q}{D}$.

$$\psi_{d,f}^{1.2.2} = \frac{A_{d,f} D}{Q} + C_{d,f} D + \frac{h_{d,f} (Q - D t_m)^2}{2Q} + \frac{S_{d,f} Q}{2} + C_{d,f} e^{k_m(\tau_d - t_m)} D + \frac{v(Q_{ds} - Q n_2) D}{n_2 Q} - C_{d,f} D (1 - e^{k_a t_m}) \quad (4.23)$$

Model matematis untuk $\psi_{s,f}^{1.2.2}$, $\psi_{m,w}^{1.2.2}$, $\psi_{m,f}^{1.2.2}$ sama dengan kasus 1.2.1. Sedangkan model matematis untuk $\psi_{ds,f}^{1.2.2}$ sama dengan kasus 1.1.2. Sehingga, total biaya tahunan dari sistem dapat dicari dengan menjumlahkan total biaya tahunan dari masing-masing pemain (*Supplier* : ●, *Manufacturer raw material* : ●, *Manufacturer finish good* : ●, *Distributor* : ●, *Drop-shipper* : ●) adalah :

$$\begin{aligned} \psi_{SC}^{1.2.2} = & \frac{A_{s,f} D}{n_2 Q} + C_{s,f} \alpha D + \frac{n_1(n_1-1)}{2} (h_{s,f} + S_{s,f}) \frac{\alpha n_2 Q D}{P n_1^2} + h_{s,f} \tau_m \alpha D + (C_{m,w} - \\ & C_{s,f}) e^{k_s t_s} \alpha D + \frac{n_1 A_{m,w} D}{n_2 Q} + \frac{C_{m,w} \alpha n_2 Q D}{n_2 Q} + \frac{h_{m,w} \alpha^2 n_2^2 Q^2 D}{2 \alpha P n_1 n_2 Q} - \frac{h_{m,w} \alpha n_2 Q t_s D}{n_2 Q} + \frac{h_{m,w} n_1 \alpha P t_s^2 D}{2 n_2 Q} + \\ & \frac{S_{m,w} \alpha n_2^2 Q^2 D}{2 P n_1 n_2 Q} - \frac{C_{m,w} \alpha n_2 Q e^{k_m t_m} D}{n_2 Q} + \frac{A_{m,f} D}{n_2 Q} + C_{m,f} D + (h_{m,f} + S_{m,f}) \left(\frac{Q(2D + (P-D)n_2 - P)}{2P} \right) + \\ & h_{m,f} \tau_d D + (C_{d,f} - C_{m,f}) e^{k_m t_m} D - C_{d,f} e^{k_m(\tau_d - t_m)} D + \frac{A_{d,f} D}{Q} + C_{d,f} D + \frac{h_{d,f} (Q - D t_m)^2}{2Q} + \\ & \frac{S_{d,f} Q}{2} + C_{d,f} e^{k_m(\tau_d - t_m)} D + \frac{v(Q_{ds} - Q n_2) D}{n_2 Q} - C_{d,f} D (1 - e^{k_a t_m}) + \frac{Q_{ds} A_{ds,f} D}{n_2 Q} + \frac{C_{ds,f} Q_{ds} D}{n_2 Q} - \\ & \frac{v(Q_{ds} - Q n_2) D}{n_2 Q} \end{aligned} \quad (4.24)$$

4.5. Kasus 2.1.1 : $0 \leq t_s < \tau_m \leq \frac{n_2 Q}{P n_1}$ dan $0 \leq t_m = \tau_d \leq \frac{Q}{D}$ dan $m = Q > Q_{ds}$

Pada kasus ini, pada eselon 1 diasumsikan bahwa *supplier* memberi *delay in payment* selama periode waktu t_s kepada manufaktur untuk menyelesaikan pembayaran tanpa beban bunga. Manufaktur melakukan pembayaran pada periode waktu τ_m , waktu pembayaran tersebut terjadi setelah akhir periode *delay in payment* yang diberikan oleh *supplier* t_s dan sebelum menerima pengiriman selanjutnya. Sehingga pada kasus ini manufaktur harus akan memberikan kompensasi kepada *supplier* karena melakukan pembayaran melebihi batas periode *delay in payment* yang diberikan *supplier*. Pada eselon 2, diasumsikan bahwa manufaktur memberi *delay in payment* selama periode waktu t_m kepada distributor untuk menyelesaikan pembayaran tanpa beban bunga. Distributor melakukan pembayaran pada periode waktu τ_d , waktu pembayaran tersebut tepat pada akhir periode *delay in payment* yang diberikan oleh manufaktur t_m . Sehingga pada kasus ini distributor tidak akan memberikan kompensasi kepada manufaktur karena melakukan pembayaran tidak melebihi batas periode *delay in payment* yang diberikan manufaktur. Pada eselon 3, diasumsikan bahwa dalam satu siklus umum $T = \frac{n_2 Q}{D}$ permintaan distributor sama dengan komitmen kuantitas yang telah disetujui *drop-shipper* sebelumnya m . Namun permintaan *drop-shipper* Q_{ds} kurang dari komitmen yang telah disetujui sebelumnya. Sehingga pada kasus ini *drop-shipper* harus memberikan kompensasi w kepada distributor karena melakukan pemesanan dengan jumlah dibawah kontrak pinalti kuantitas yang telah disetujui sebelumnya. Manufaktur dan distributor bisa jadi mendapat keuntungan lebih dengan melakukan pembayaran pada τ_m dan τ_d dengan cara melakukan investasi keuangannya dalam investasi bebas resiko. Namun manufaktur juga harus menanggung beban bunga kepada *supplier* karena melakukan pembayaran diluar batas waktu yang diberikan. *Drop-shipper* akan dikenakan pinalti karena melakukan pemesanan dibawah komitmen yang telah disetujui, sehingga harus membayar pinalti kepada distributor. Model matematis biaya akan diformulasikan terlebih dahulu untuk masing-masing pemain. Sebelum akhirnya akan diformulasikan model matematis untuk sistem rantai pasokan secara keseluruhan dengan skenario kasus 2.1.1.

Biaya pada manufaktur (bahan baku)

Model matematis total biaya yang dikeluarkan oleh manufaktur (bahan baku) pada penelitian ini sebagian besar merujuk pada model matematis Aljazzar et al. (2016) dengan modifikasi sistem persediaan yang merujuk pada model matematis Jaber et al. (2010). Aljazzar et al. (2016) mengembangkan model koordinasi rantai pasokan dua eselon dengan pertimbangan *permissible delay in payment*. Sehingga model tersebut mampu memenuhi kondisi sistem rantai

pasokan yang dikembangkan pada penelitian ini, khususnya pada biaya yang dikeluarkan oleh manufaktur (bahan baku). Dimana manufaktur mendapatkan *delay in payment* dari *supplier*. Seluruh notasi yang digunakan dalam formulasi model matematis dapat dilihat pada Lampiran 1. Adapun komponen biaya yang harus dikeluarkan oleh manufaktur (bahan baku) meliputi pemesanan, pembelian, *physical holding cost*, *financial holding cost*, beban bunga *delay in payment*, dan pendapatan bunga investasi adalah sebagai berikut :

$n_1 A_{m,w}$: Biaya pemesanan bahan baku manufaktur per siklus.

$C_{m,w} \alpha n_2 Q$: Biaya pembelian bahan baku manufaktur per siklus.

$h_{m,w} n_1 \frac{(n_2 \alpha Q - \alpha P t_s n_1)^2}{2 \alpha P n_1^2} = h_{m,w} \frac{\alpha^2 n_2^2 Q^2}{2 \alpha P n_1} - h_{m,w} \alpha n_2 Q t_s + h_{m,w} \frac{n_1 \alpha P t_s^2}{2}$: *Financial holding cost* per siklus.

$S_{m,w} \frac{\alpha n_2^2 Q^2}{2 P n_1}$: *Physical holding cost* per siklus.

$C_{m,w} \alpha n_2 Q e^{k_s(\tau_m - t_s)}$ Beban bunga *delay in payment* per siklus.

$C_{m,w} \alpha n_2 Q e^{k_m \tau_m}$: Pendapatan bunga investasi bebas resiko per siklus.

Total biaya per siklus

$$\begin{aligned} \psi_{m,w}^{2.1.1} &= n_1 A_{m,w} + C_{m,w} \alpha n_2 Q + h_{m,w} \frac{\alpha^2 n_2^2 Q^2}{2 \alpha P n_1} - h_{m,w} \alpha n_2 Q t_s + h_{m,w} \frac{n_1 \alpha P t_s^2}{2} + \\ &S_{m,w} \frac{\alpha n_2^2 Q^2}{2 P n_1} + C_{m,w} \alpha n_2 Q e^{k_s(\tau_m - t_s)} - C_{m,w} \alpha n_2 Q e^{k_m \tau_m} \end{aligned} \quad (4.25)$$

Total annual cost : membagi persamaan diatas dengan panjang siklus umum $\frac{n_2 Q}{D}$.

$$\begin{aligned} \psi_{m,w}^{2.1.1} &= \frac{n_1 A_{m,w} D}{n_2 Q} + \frac{C_{m,w} \alpha n_2 Q D}{n_2 Q} + \frac{h_{m,w} \alpha^2 n_2^2 Q^2 D}{2 \alpha P n_1 n_2 Q} - \frac{h_{m,w} \alpha n_2 Q t_s D}{n_2 Q} + \frac{h_{m,w} n_1 \alpha P t_s^2 D}{2 n_2 Q} + \frac{S_{m,w} \alpha n_2^2 Q^2 D}{2 P n_1 n_2 Q} + \\ &\frac{C_{m,w} \alpha n_2 Q e^{k_s(\tau_m - t_s)} D}{n_2 Q} - \frac{C_{m,w} \alpha n_2 Q e^{k_m \tau_m} D}{n_2 Q} \end{aligned} \quad (4.26)$$

Biaya pada supplier

Model matematis total biaya yang dikeluarkan oleh *supplier* pada penelitian ini sebagian besar merujuk pada model matematis Aljazzar et al. (2016) dengan modifikasi sistem persediaan yang merujuk pada model matematis Jaber et al. (2010). Aljazzar et al. (2016) mengembangkan model koordinasi rantai pasokan dua eselon dengan pertimbangan *permissible delay in payment*. Sehingga model tersebut mampu memenuhi kondisi sistem rantai pasokan yang dikembangkan pada penelitian ini, khususnya pada biaya yang dikeluarkan oleh *supplier*. Dimana *supplier* memberikan *delay in payment* kepada manufaktur. Seluruh notasi yang digunakan dalam formulasi model matematis dapat dilihat pada Lampiran 1. Adapun komponen biaya yang harus

dikeluarkan oleh *supplier* meliputi biaya *setup*, produksi, *physical holding cost*, *financial holding cost*, *opportunity cost*, dan pendapatan *delay in payment* dapat diformulasikan sebagai berikut:

$A_{s,f}$: Biaya setup *supplier* per siklus.

$C_{s,f}\alpha n_2 Q$: Biaya produksi *supplier* per siklus.

$\frac{n_1(n_1-1)}{2}(h_{s,f} + S_{s,f})\left(\frac{\alpha n_2^2 Q^2}{P n_1^2}\right)$: *Physical holding cost* per siklus.

$h_{s,f}\tau_m \alpha n_2 Q$: *Financial holding cost* per siklus.

$(C_{m,w} - C_{s,f})\alpha n_2 Q e^{k_s t_s}$: *Opportunity cost of investing* per siklus.

$C_{m,w}\alpha n_2 Q e^{k_s(\tau_m - t_s)}$: Pendapatan bunga *delay in payment*.

Total cost per cycle

$$\psi_s^{2.1.1} = A_{s,f} + C_{s,f}\alpha n_2 Q + \frac{n_1(n_1-1)}{2}(h_{s,f} + S_{s,f})\left(\frac{\alpha n_2^2 Q^2}{P n_1^2}\right) + h_{s,f}\tau_m \alpha n_2 Q + (C_{m,w} - C_{s,f})\alpha n_2 Q e^{k_s t_s} - C_{m,w}\alpha n_2 Q e^{k_s(\tau_m - t_s)} \quad (4.27)$$

Total annual cost : membagi persamaan diatas dengan panjang siklus umum $\frac{n_2 Q}{D}$.

$$\psi_{s,f}^{2.1.1} = \frac{A_{s,f} D}{n_2 Q} + C_{s,f}\alpha D + \frac{n_1(n_1-1)}{2}(h_{s,f} + S_{s,f})\frac{\alpha n_2 Q D}{P n_1^2} + h_{s,f}\tau_m \alpha D + (C_{m,w} - C_{s,f})e^{k_s t_s} \alpha D - C_{m,w} e^{k_s(\tau_m - t_s)} \alpha D \quad (4.28)$$

Model matematis untuk $\psi_{m,f}^{2.1.1}$, $\psi_{d,f}^{2.1.1}$, dan $\psi_{ds,f}^{2.1.1}$ sama dengan kasus 1.1.1. Sehingga, total biaya tahunan dari sistem dapat dicari dengan menjumlahkan total biaya tahunan dari masing-masing pemain (*Supplier* : ●, *Manufacturer raw material* : ●, *Manufacturer finish good* : ●, *Distributor* : ●, *Drop-shipper* : ●) adalah :

$$\begin{aligned} \psi_{SC}^{2.1.1} = & \frac{A_{s,f} D}{n_2 Q} + C_{s,f}\alpha D + \frac{n_1(n_1-1)}{2}(h_{s,f} + S_{s,f})\frac{\alpha n_2 Q D}{P n_1^2} + h_{s,f}\tau_m \alpha D + (C_{m,w} - \\ & C_{s,f})e^{k_s t_s} \alpha D - C_{m,w} e^{k_s(\tau_m - t_s)} \alpha D + \frac{n_1 A_{m,w} D}{n_2 Q} + \frac{C_{m,w}\alpha n_2 Q D}{n_2 Q} + \frac{h_{m,w}\alpha^2 n_2^2 Q^2 D}{2\alpha P n_1 n_2 Q} - \frac{h_{m,w}\alpha n_2 Q t_s D}{n_2 Q} \\ & + \frac{h_{m,w} n_1 \alpha P t_s^2 D}{2n_2 Q} + \frac{S_{m,w}\alpha n_2^2 Q^2 D}{2P n_1 n_2 Q} + \frac{C_{m,w}\alpha n_2 Q e^{k_s(\tau_m - t_s)} D}{n_2 Q} - \frac{C_{m,w}\alpha n_2 Q e^{k_m \tau_m} D}{n_2 Q} + \frac{A_{m,f} D}{n_2 Q} + C_{m,f} D + \\ & (h_{m,f} + S_{m,f})\left(\frac{Q(2D+(P-D)n_2-P)}{2P}\right) + h_{m,f}\tau_d D + (C_{d,f} - C_{m,f})e^{k_m t_m} D + \frac{A_{d,f} D}{Q} + C_{d,f} D + \\ & \frac{h_{d,f}(Q-Dt_m)^2}{2Q} + \frac{S_{d,f} Q}{2} - C_{d,f} D(1 - e^{k_d t_m}) - \frac{w(m-Q_{ds})D}{n_2 Q} + \frac{Q_{ds} A_{ds,f} D}{n_2 Q} + \frac{C_{ds,f} Q_{ds} D}{n_2 Q} + \frac{w(m-Q_{ds}) D}{n_2 Q} \end{aligned} \quad (4.29)$$

4.6. Kasus 2.1.2 : $0 \leq t_s < \tau_m \leq \frac{n_2 Q}{P n_1}$ dan $0 \leq t_m = \tau_d \leq \frac{Q}{D}$ dan $Q < Q_{ds} \leq m$

Pada kasus ini, pada eselon 1 diasumsikan bahwa *supplier* memberi *delay in payment* selama periode waktu t_s kepada manufaktur untuk menyelesaikan pembayaran tanpa beban bunga.

Manufaktur melakukan pembayaran pada periode waktu τ_m , waktu pembayaran tersebut terjadi setelah akhir periode *delay in payment* yang diberikan oleh *supplier* t_s dan sebelum menerima pengiriman selanjutnya. Sehingga pada kasus ini manufaktur harus akan memberikan kompensasi kepada *supplier* karena melakukan pembayaran melebihi batas periode *delay in payment* yang diberikan *supplier*. Pada eselon 2, diasumsikan bahwa manufaktur memberi *delay in payment* selama periode waktu t_m kepada distributor untuk menyelesaikan pembayaran tanpa beban bunga. Distributor melakukan pembayaran pada periode waktu τ_d , waktu pembayaran tersebut tepat pada akhir periode *delay in payment* yang diberikan oleh manufaktur t_m . Sehingga pada kasus ini distributor tidak akan memberikan kompensasi kepada manufaktur karena melakukan pembayaran tidak melebihi batas periode *delay in payment* yang diberikan manufaktur. Pada eselon 3, diasumsikan bahwa dalam satu siklus umum $T = \frac{n_2 Q}{D}$ permintaan distributor kurang dari komitmen kuantitas yang telah disetujui *drop-shipper* sebelumnya m . Ternyata permintaan *drop-shipper* Q_{ds} sesuai dengan komitmen dan lebih dari permintaan distributor. Sehingga pada kasus ini distributor harus memberikan kompensasi v kepada *drop-shipper* karena tidak dapat memenuhi permintaan *drop-shipper* yang sesuai dengan jumlah kontrak pinalti kuantitas yang telah disetujui sebelumnya. Manufaktur dan distributor bisa jadi mendapat keuntungan lebih dengan melakukan pembayaran pada τ_m dan τ_d dengan cara melakukan investasi keuangannya dalam investasi bebas resiko. Namun manufaktur juga harus menanggung beban bunga kepada *supplier* karena melakukan pembayaran diluar batas waktu yang diberikan. Distributor juga akan terkena pinalti karena tidak bisa memenuhi permintaan *drop-shipper* sesuai dengan komitmen yang telah disetujui, sehingga harus membayar pinalti kepada *drop-shipper*.

Model matematis untuk $\psi_{s,f}^{2.1.2}, \psi_{m,w}^{2.1.2}, \psi_{m,f}^{2.1.2}$ sama dengan kasus 2.1.1 dan model matematis untuk $\psi_{d,f}^{2.1.2}$, dan $\psi_{ds,f}^{2.1.2}$ sama dengan kasus 1.1.2. Sehingga, total biaya tahunan dari sistem dapat dicari dengan menjumlahkan total biaya tahunan dari masing-masing pemain (*Supplier* : ●, *Manufacturer raw material* : ●, *Manufacturer finish good* : ●, *Distributor* : ●, *Drop-shipper* : ●) adalah :

$$\begin{aligned}
\psi_{SC}^{2.1.2} = & \frac{A_{s,f}D}{n_2Q} + C_{s,f}\alpha D + \frac{n_1(n_1-1)}{2} (h_{s,f} + S_{s,f}) \frac{\alpha n_2 Q D}{P n_1^2} + h_{s,f} \tau_m \alpha D + (C_{m,w} - C_{s,f}) e^{k_s t_s} \alpha D - \\
& C_{m,w} e^{k_s(\tau_m - t_s)} \alpha D + \frac{n_1 A_{m,w} D}{n_2 Q} + \frac{C_{m,w} \alpha n_2 Q D}{n_2 Q} + \frac{h_{m,w} \alpha^2 n_2^2 Q^2 D}{2 \alpha P n_1 n_2 Q} - \frac{h_{m,w} \alpha n_2 Q t_s D}{n_2 Q} + \frac{h_{m,w} n_1 \alpha P t_s^2 D}{2 n_2 Q} + \\
& \frac{S_{m,w} \alpha n_2^2 Q^2 D}{2 P n_1 n_2 Q} + \frac{C_{m,w} \alpha n_2 Q e^{k_s(\tau_m - t_s)} D}{n_2 Q} - \frac{C_{m,w} \alpha n_2 Q e^{k_m \tau_m} D}{n_2 Q} + \frac{A_{m,f} D}{n_2 Q} + C_{m,f} D + (h_{m,f} + \\
& S_{m,f}) \left(\frac{Q(2D + (P-D)n_2 - P)}{2P} \right) + h_{m,f} \tau_d D + (C_{d,f} - C_{m,f}) e^{k_m t_m} D + \frac{A_{d,f} D}{Q} + C_{d,f} D + \frac{h_{d,f} (Q - D t_m)^2}{2Q} + \\
& \frac{S_{d,f} Q}{2} + \frac{v(Q_{ds} - Q n_2) D}{n_2 Q} - C_{d,f} D (1 - e^{k_d t_m}) + \frac{Q_{ds} A_{ds,f} D}{n_2 Q} + \frac{C_{ds,f} Q_{ds} D}{n_2 Q} - \frac{v(Q_{ds} - Q n_2) D}{n_2 Q} \quad (4.30)
\end{aligned}$$

4.7. Kasus 2.2.1 : $0 \leq t_s < \tau_m \leq \frac{n_2 Q}{P n_1}$ dan $0 \leq t_m < \tau_d \leq \frac{Q}{D}$ dan $m = Q > Q_{ds}$

Pada kasus ini, pada eselon 1 diasumsikan bahwa *supplier* memberi *delay in payment* selama periode waktu t_s kepada manufaktur untuk menyelesaikan pembayaran tanpa beban bunga. Manufaktur melakukan pembayaran pada periode waktu τ_m , waktu pembayaran tersebut terjadi setelah akhir periode *delay in payment* yang diberikan oleh *supplier* t_s dan sebelum menerima pengiriman selanjutnya. Sehingga pada kasus ini manufaktur harus akan memberikan kompensasi kepada *supplier* karena melakukan pembayaran melebihi batas periode *delay in payment* yang diberikan *supplier*. Pada eselon 2, diasumsikan bahwa manufaktur memberi *delay in payment* selama periode waktu t_m kepada distributor untuk menyelesaikan pembayaran tanpa beban bunga. Distributor melakukan pembayaran pada periode waktu τ_d , waktu pembayaran tersebut terjadi setelah akhir periode *delay in payment* yang diberikan oleh manufaktur t_m dan sebelum menerima pengiriman selanjutnya. Sehingga pada kasus ini distributor harus akan memberikan kompensasi kepada manufaktur karena melakukan pembayaran melebihi batas periode *delay in payment* yang diberikan manufaktur. Pada eselon 3, diasumsikan bahwa dalam satu siklus umum $T = \frac{n_2 Q}{D}$ permintaan distributor sama dengan komitmen kuantitas yang telah disetujui *drop-shipper* sebelumnya m . Namun permintaan *drop-shipper* Q_{ds} kurang dari komitmen yang telah disetujui sebelumnya. Sehingga pada kasus ini *drop-shipper* harus memeberikan kompensasi w kepada distributor karena melakukan pemesanan dengan jumlah dibawah kontrak pinalti kuantitas yang telah disetujui sebelumnya. Manufaktur dan distributor bisa jadi mendapat keuntungan lebih dengan melakukan pembayaran pada τ_m dan τ_d dengan cara melakukan investasi keuanganya dalam investasi bebas resiko. Namun manufaktur dan distributor juga harus menanggung beban bunga kepada *supplier* dan manufaktur karena melakukan pembayaran diluar batas waktu yang diberikan. *Drop-shipper* akan dikenakan pinalti karena melakukan pemesanan dibawah komitmen yang telah disetujui, sehingga harus membayar pinalti kepada distributor.

Model matematis untuk $\psi_{s,f}^{2.2.1}, \psi_{m,w}^{2.2.1}$ sama dengan kasus 2.1.2 dan model matematis untuk $\psi_{m,f}^{2.2.1}, \psi_{d,f}^{2.2.1}$, dan $\psi_{ds,f}^{2.2.1}$ sama dengan kasus 1.2.1. Sehingga, total biaya tahunan dari sistem dapat dicari dengan menjumlahkan total biaya tahunan dari masing-masing pemain (*Supplier* : ● , *Manufacturer raw material* : ● , *Manufacturer finish good* : ● , *Distributor* : ● , *Drop-shipper* : ●) adalah :

$$\psi_{SC}^{2.2.1} = \frac{A_{s,f}D}{n_2Q} + C_{s,f}\alpha D + \frac{n_1(n_1-1)}{2} (h_{s,f} + S_{s,f}) \frac{\alpha n_2 Q D}{P n_1^2} + h_{s,f} \tau_m \alpha D + (C_{m,w} - C_{s,f}) e^{k_s t_s} \alpha D - C_{m,w} e^{k_s(\tau_m - t_s)} \alpha D + \frac{n_1 A_{m,w} D}{n_2 Q} + \frac{C_{m,w} \alpha n_2 Q D}{n_2 Q} + \frac{h_{m,w} \alpha^2 n_2^2 Q^2 D}{2 \alpha P n_1 n_2 Q} - \frac{h_{m,w} \alpha n_2 Q t_s D}{n_2 Q} + \frac{h_{m,w} n_1 \alpha P t_s^2 D}{2 n_2 Q} + \frac{S_{m,w} \alpha n_2^2 Q^2 D}{2 P n_1 n_2 Q} + \frac{C_{m,w} \alpha n_2 Q e^{k_s(\tau_m - t_s)} D}{n_2 Q} - \frac{C_{m,w} \alpha n_2 Q e^{k_m \tau_m D}}{n_2 Q} + \frac{A_{m,f} D}{n_2 Q} + C_{m,f} D + (h_{m,f} +$$

$$\begin{aligned}
& S_{m,f} \left(\frac{Q(2D+(P-D)n_2-P)}{2P} \right) + h_{m,f} \tau_d D + (C_{d,f} - C_{m,f}) e^{k_m t_m} D - C_{d,f} e^{k_m (\tau_d - t_m)} D + \frac{A_{d,f} D}{Q} + \\
& C_{d,f} D + \frac{h_{d,f} (Q - D_d t_m)^2}{2Q} + \frac{S_{d,f} Q}{2} + C_{d,f} e^{k_m (\tau_d - t_m)} D - C_{d,f} D (1 - e^{k_d t_m}) - \frac{w(m - Q_{ds}) D}{n_2 Q} + \\
& \frac{Q_{ds} A_{ds,f} D}{n_2 Q} + \frac{C_{ds,f} Q_{ds} D}{n_2 Q} + \frac{w(m - Q_{ds}) D}{n_2 Q}
\end{aligned} \tag{4.31}$$

4.8. Kasus 2.2.2 : $0 \leq t_s < \tau_m \leq \frac{n_2 Q}{P n_1}$ dan $0 \leq t_m < \tau_d \leq \frac{Q}{D}$ dan $Q < Q_{ds} \leq m$

Pada kasus ini, pada eselon 1 diasumsikan bahwa *supplier* memberi *delay in payment* selama periode waktu t_s kepada manufaktur untuk menyelesaikan pembayaran tanpa beban bunga. Manufaktur melakukan pembayaran pada periode waktu τ_m , waktu pembayaran tersebut terjadi setelah akhir periode *delay in payment* yang diberikan oleh *supplier* t_s dan sebelum menerima pengiriman selanjutnya. Sehingga pada kasus ini manufaktur harus akan memberikan kompensasi kepada *supplier* karena melakukan pembayaran melebihi batas periode *delay in payment* yang diberikan *supplier*. Pada eselon 2, diasumsikan bahwa manufaktur memberi *delay in payment* selama periode waktu t_m kepada distributor untuk menyelesaikan pembayaran tanpa beban bunga. Distributor melakukan pembayaran pada periode waktu τ_d , waktu pembayaran tersebut terjadi setelah akhir periode *delay in payment* yang diberikan oleh manufaktur t_m dan sebelum menerima pengiriman selanjutnya. Sehingga pada kasus ini distributor harus akan memberikan kompensasi kepada manufaktur karena melakukan pembayaran melebihi batas periode *delay in payment* yang diberikan manufaktur. Pada eselon 3, diasumsikan bahwa dalam satu siklus umum $T = \frac{n_2 Q}{D}$ permintaan distributor kurang dari komitmen kuantitas yang telah disetujui *drop-shipper* sebelumnya m . Ternyata permintaan *drop-shipper* Q_{ds} sesuai dengan komitmen dan lebih dari permintaan distributor. Sehingga pada kasus ini distributor harus memeberikan kompensasi v kepada *drop-shipper* karena tidak dapat memenuhi permintaan *drop-shipper* yang sesuai dengan jumlah kontrak pinalti kuantitas yang telah disetujui sebelumnya. Manufaktur dan distributor bisa jadi mendapat keuntungan lebih dengan melakukan pembayaran pada τ_m dan τ_d dengan cara melakukan investasi keuanganya dalam investasi bebas resiko. Namun manufaktur dan distributor juga harus menanggung beban bunga kepada *supplier* dan manufaktur karena melakukan pembayaran diluar batas waktu yang diberikan. Distributor juga akan terkena pinalti karena tidak bisa memenuhi permintaan *drop-shipper* sesuai dengan komitmen yang telah disetujui, sehingga harus membayar pinalti kepada *drop-shipper*.

Model matematis untuk $\psi_{s,f}^{2.2.2}, \psi_{m,w}^{2.2.2}, \psi_{m,f}^{2.2.2}$ sama dengan kasus 2.2.1 dan model matematis untuk $\psi_{d,f}^{2.2.2}$, dan $\psi_{ds,f}^{2.2.2}$ sama dengan kasus 1.2.2. Sehingga, total biaya tahunan dari sistem dapat dicari dengan menjumlahkan total biaya tahunan dari masing-masing pemain

(Supplier : ●, Manufacturer raw material : ●, Manufacturer finish good : ●, Distributor : ●, Drop-shipper : ●) adalah :

$$\begin{aligned}
 \psi_{SC}^{2.2.2} = & \frac{A_{s,f}D}{n_2Q} + C_{s,f}\alpha D + \frac{n_1(n_1-1)}{2} (h_{s,f} + S_{s,f}) \frac{\alpha n_2 Q D}{P n_1^2} + h_{s,f}\tau_m \alpha D + (C_{m,w} - C_{s,f})e^{k_s t_s} \alpha D - \\
 & C_{m,w}e^{k_s(\tau_m - t_s)} \alpha D + \frac{n_1 A_{m,w} D}{n_2 Q} + \frac{C_{m,w} \alpha n_2 Q D}{n_2 Q} + \frac{h_{m,w} \alpha^2 n_2^2 Q^2 D}{2 \alpha P n_1 n_2 Q} - \frac{h_{m,w} \alpha n_2 Q t_s D}{n_2 Q} + \frac{h_{m,w} n_1 \alpha P t_s^2 D}{2 n_2 Q} + \\
 & \frac{S_{m,w} \alpha n_2^2 Q^2 D}{2 P n_1 n_2 Q} + \frac{C_{m,w} \alpha n_2 Q e^{k_s(\tau_m - t_s)} D}{n_2 Q} - \frac{C_{m,w} \alpha n_2 Q e^{k_m \tau_m} D}{n_2 Q} + \frac{A_{m,f} D}{n_2 Q} + C_{m,f} D + (h_{m,f} + \\
 & S_{m,f}) \left(\frac{Q(2D + (P-D)n_2 - P)}{2P} \right) + h_{m,f} \tau_d D + (C_{d,f} - C_{m,f}) e^{k_m t_m} D - C_{d,f} e^{k_m(\tau_d - t_m)} D + \frac{A_{d,f} D}{Q} + \\
 & C_{d,f} D + \frac{h_{d,f}(Q - D \tau_d)^2}{2Q} + \frac{S_{d,f} Q}{2} + C_{d,f} e^{k_m(\tau_d - t_m)} D + \frac{v(Q_{ds} - Q n_2) D}{n_2 Q} - C_{d,f} D (1 - e^{k_d t_m}) + \\
 & \frac{Q_{ds} A_{d,s,f} D}{n_2 Q} + \frac{C_{d,s,f} Q_{ds} D}{n_2 Q} - \frac{v(Q_{ds} - Q n_2) D}{n_2 Q}
 \end{aligned} \tag{4.32}$$

BAB V

PERHITUNGAN NUMERIK DAN ANALISA SENSITIVITAS

5.1. Perhitungan Numerik

Pada sub-bab ini akan dilakukan perhitungan numerik pada model yang telah dikembangkan sebelumnya. Perhitungan akan dilakukan untuk setiap skenario kasus yang juga telah dijabarkan sebelumnya. Dari seluruh skenario kasus akan ditentukan bagaimana kondisi optimum dalam sistem rantai pasokan yang dapat menghasilkan total biaya paling minimum.

5.1.1. Parameter Dasar

Sebelum melakukan perhitungan numerik, terlebih dahulu perlu ditetapkan nilai variabel yang diketahui sebagai data utama dalam penelitian ini. Nilai-nilai variabel yang digunakan dalam penelitian ini mengadopsi data dari penelitian terdahulu. Sebagian besar data merujuk pada penelitian yang dilakukan oleh Aljazzar et al. (2016). Seluruh nilai-nilai variabel yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 5.1. Seluruh notasi yang digunakan dalam formulasi model matematis dapat dilihat pada Lampiran 1. *Input* parameter yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

Tabel 5. 1 Data Parameter Dasar

D	P	α	$A_{s,f}$	$A_{m,w}$	$A_{m,f}$	$A_{d,f}$	$A_{ds,f}$	$C_{s,f}$	$C_{m,w}$	$C_{m,f}$	$C_{d,f}$	$C_{ds,f}$
3069	4720	1	441	206	175	384	2.5	20	30	50	70	80
$h_{s,f}$	$h_{m,w}$	$h_{m,f}$	$h_{d,f}$	$S_{s,f}$	$S_{m,w}$	$S_{m,f}$	$S_{d,f}$	n_1	n_2	k_s	k_m	k_d
3	3	12	13,3	3	7,5	9	7,7	1	2	1%	8%	4%
v	e	w										
30	10%	50										

5.1.2. Contoh Numerik

Parameter dasar yang telah dijabarkan pada sub-bab sebelumnya akan digunakan untuk pencarian solusi optimal dari variabel keputusan. Dalam penelitian ini, pencarian solusi dilakukan dengan bantuan *Solver* pada *software Excel*. Penggunaan *Solver* pada *Excel* dipilih karena komputasi dengan *Excel Solver* lebih sederhana dan menghasilkan waktu komputasi yang relatif singkat. Untuk memvalidasi hasil perhitungan dengan *Excel Solver*, maka juga akan dilakukan perhitungan manual dengan bantuan komputasi *software Maple*. Perhitungan manual dengan bantuan *software Maple* sekaligus bertujuan untuk mengetahui langkah-langkah perhitungan dengan detail. Dari beberapa percobaan yang dilakukan dapat menunjukkan bahwa, perhitungan menggunakan *Excel Solver* maupun perhitungan manual menggunakan *software Maple* memiliki hasil yang relatif sama. Namun, perhitungan manual dengan bantuan *software Maple* sangat

kompleks dan juga memiliki waktu komputasi yang lebih lama. Sedangkan perhitungan dengan komputasi *Excel Solver* lebih sederhana dan menghasilkan waktu komputasi yang lebih singkat. Maka untuk selanjutnya penulis akan melakukan perhitungan dan analisa sensitivitas lebih lanjut menggunakan *Excel Solver*. Pada bab ini tidak akan dijelaskan langkah perhitungan numerik dalam semua skenario kasus. Hasil perhitungan numerik untuk seluruh skenario kasus dapat dilihat pada Lampiran 2 dan Lampiran 3.

Langkah-langkah perhitungan dengan bantuan *Solver* pada *software Excel* akan dijelaskan secara detail pada sub bab ini. Sebagai contoh, langkah-langkah perhitungan yang dilakukan dalam pencarian solusi skenario 1-1-1 adalah sebagai berikut :

Langkah 1. Menetapkan tujuan.

Langkah pertama yang harus dilakukan untuk pencarian solusi dengan *Excel Solver* adalah menetapkan tujuan. Dalam penelitian ini, tujuan utama dari model yang dibangun adalah untuk meminimasi total biaya rantai pasok secara keseluruhan. Sebagai contoh, pada kasus 1.1.1 total biaya terdiri dari biaya yang dikeluarkan *supplier*, manufaktur, distributor, dan *drop-sihipper* pada kejadian di kasus tersebut.

Langkah 2. Menetapkan variabel bebas.

Selanjutnya, juga harus ditetapkan variabel apa yang akan dicari. Pada kasus ini beberapa variabel optimal yang akan dicari antara lain adalah Q , m , t_s , τ_m , t_m , dan τ_s . Variabel tersebut dapat berubah apabila ada perubahan pada parameter dasar parameter dasar. Solusi akhir dari variabel-variabel tersebut akan menjadi solusi optimal pada suatu kasus. Solusi optimal tersebut dapat dipatikan memiliki biaya rantai pasokan yang paling minimal. Sebagai contoh saat nilai variabel tersebut dirubah justru akan meningkatkan total biaya sistem rantai pasokan.

Langkah 3. Menetapkan kendala.

Pada langkah ini, akan ditetapkan kendala permasalahan yang akan diselesaikan. Pada penelitian ini, kendala untuk masing-masing skenario kasus akan berbeda. Perbedaan kendala tersebut menyesuaikan dengan skenario kasus yang ada. Sebagai contoh, pada skenario kasus 1.1.1, 1.1.2, 1.2.1, dan 1.2.2 diasumsikan bahwa manufaktur melakukan pembayaran pada periode waktu τ_m . Dimana waktu pembayaran tersebut tepat pada akhir periode *delay in payment* yang diberikan oleh *supplier* t_s . Sehingga harus diberi batasan solusi variabel τ_m harus sama dengan t_s .

Langkah 4. Mendesain lembar kerja Excel

Setelah menetapkan tujuan, variabel peubah, dan kendala, selanjutnya akan dilakukan desain pada lembar kerja. Yang dimaksud dalam mendesain lembar kerja ini adalah menetapkan

dimana parameter dasar, variabel keputusan, dan tujuan akan diletakkan. Desain yang dibuat harus memudahkan dalam penulisan. Sebagai contoh, desain lembar kerja skenario kasus 1.1.1 dapat dilihat pada Gambar 5.1. Pada lembar kerja tersebut terdiri dari berbagai kolom, diantaranya adalah parameter dasar, pembatas, variabel keputusan, dan total biaya.

Langkah 5. Input parameter dasar.

Setelah proses desain selesai dilakukan, selanjutnya lakukan input parameter dasar kedalam lembar kerja. Masing-masing parameter dasar diletakkan pada kolom yang telah disiapkan untuk parameter tersebut. Parameter dasar ini akan digunakan dalam model yang telah dikembangkan sebelumnya. Parameter dasar diletakkan pada kolom khusus untuk mempermudah perhitungan apabila ada parameter dasar yang akan diubah lainnya.

Langkah 6. Input model komponen biaya.

Setelah input parameter dasar kedalam lembar kerja selesai dilakukan, kemudian lakukan input model komponen biaya yang telah dibangun sebelumnya. Model matematis untuk setiap skenario kasus dalam penelitian ini telah dijelaskan secara detail pada bab 3. Input model tersebut kedalam kolom total biaya. Model matematis yang akan ditulis harus diterjemahkan terlebih dahulu kedalam formula perhitungan *Excel*. Formula tersebut diletakkan pada kolom biaya masing-masing pemain kemudian dijumlahkan. Model matematis satu skenario kasus sistem rantai pasokan terlebih dahulu dipisahkan menjadi untuk setiap pemain. Hal tersebut bertujuan untuk memperlihatkan biaya yang dikeluarkan masing-masing pemain secara lebih detail. Formula tersebut akan secara langsung berhubungan dengan parameter dasar maupun variabel peubah.

Langkah 7. Solve

Langkah terakhir yang harus dilakukan adalah menetapkan *cell* tujuan, variabel peubah, dan kendala pada jendela *Solver* Parameter. Kemudian dilanjutkan dengan *running solver*.

Rancangan *solver* beserta hasil komputasi untuk penyelesaian masalah skenario kasus 1-1-1 dapat dilihat pada Gambar 5.1.

Parameter Dasar														
D	P	α	$A_{s,f}$	$A_{m,w}$	$A_{m,f}$	$A_{d,f}$	$A_{ds,f}$	$C_{s,f}$	$C_{m,w}$	$C_{m,f}$	$C_{d,f}$	$C_{ds,f}$		
3069.00	4720.00	1.00	441.00	206.00	175.00	384.00	2.50	20.00	30.00	50.00	70.00	80.00		
$h_{s,f}$	$h_{m,w}$	$h_{m,f}$	$h_{d,f}$	$S_{s,f}$	$S_{m,w}$	$S_{m,f}$	$S_{d,f}$	n_1	n_2	k_s	k_m	k_d		
3.00	3.00	12.00	13.30	3.00	7.50	9.00	7.70	1.00	2.00	0.01	0.08	0.04		
v	e	w	m	Qds										
30.00	0.10	50.00	651.37	586.24										

Pembatas									
t_s		t_m				t_m		t_d	
0.01	>	0.01	<	0.138003		0.09	>	0.09	<
>=						>=			
0.01						0.01			0.106121

Variabel Keputusan				
Q	t_s	t_m	t_m	t_d
325.69	0.01	0.01	0.09	0.09

Total Biaya				
Supplier	Mfg R	Mfg F	Dist	Dropship
94,233	3,275	221,387	233,316	243,218
		224,662		
				795,429

Gambar 5. 1 Rancangan dan Hasil Komputasi Solver Excel

Gambar 5.1 menunjukkan hasil perhitungan yang dilakukan dengan bantuan *Solver* pada *software Excel*. Dengan cara yang sama, dilakukan perhitungan untuk seluruh skenario kasus lainnya. Untuk memvalidasi perhitungan tersebut, maka perhitungan numerik juga dilakukan secara manual dengan bantuan *software Maple*. Perhitungan numerik dengan bantuan *software Maple* ini memiliki langkah yang lebih panjang, sehingga waktu komputasi yang dihabiskan lebih panjang juga. Namun kelebihanannya adalah dapat menjelaskan langkah-langkah pengerjaan secara detail. Adapun langkah-langkah yang dilakukan untuk pencarian solusi optimal dengan bantuan *software Maple* secara singkat adalah sebagai berikut :

- Langkah 1.** Input komponen biaya skenario kasus kedalam *software Maple*.
- Langkah 2.** Turunkan model matematis komponen biaya terhadap Q .
- Langkah 3.** Cari persamaan untuk nilai Q .
- Langkah 4.** Input parameter dasar ke persamaan nilai Q sehingga diperoleh persamaan Q baru atau persamaan (1).
- Langkah 5.** Turunkan model matematis komponen biaya terhadap t_s .
- Langkah 6.** Cari persamaan untuk nilai t_s .
- Langkah 7.** Input parameter dasar ke persamaan nilai t_s sehingga diperoleh persamaan t_s baru atau persamaan (2).
- Langkah 8.** Turunkan model matematis komponen biaya terhadap t_m .
- Langkah 9.** Cari Persamaan Untuk Nilai t_m .
- Langkah 10.** Input parameter dasar ke persamaan nilai t_m sehingga diperoleh persamaan t_m baru atau persamaan (3).

Langkah 11. Dari persamaan (1), keluarkan variabel t_s ke sisi kiri sehingga diperoleh persamaan (4).

Langkah 12. Substitusi persamaan (4) kedalam persamaan (2) sehingga diperoleh persamaan (5).

Langkah 13. Substitusi persamaan (4) kedalam persamaan (3) sehingga diperoleh persamaan (6).

Langkah 14. Pindahkan variabel t_m pada persamaan (5) ke sisi kiri sehingga diperoleh persamaan (7).

Langkah 15. Substitusikan nilai t_m kedalam persamaan (7) kedalam persamaan (6), sehingga nilai Q dapat dicari.

Langkah 16. Substitusikan nilai Q kedalam persamaan (3)

Langkah 17. Substitusikan nilai Q dan t_m kedalam persamaan (4)

Langkah 18. Inputkan seluruh parameter dasar dan nilai solusi variabel keputusan kedalam model total biaya sehingga diperoleh total biaya masing-masing pemain maupun sistem secara keseluruhan.

Untuk memperjelas langkah-langkah perhitungan manual dengan bantuan *software Maple* secara detail, maka akan diberikan contoh perhitungan. Sebagai contoh, langkah-langkah perhitungan yang dilakukan dalam pencarian solusi skenario 1-1-1 adalah sebagai berikut :

Langkah 1. Input komponen biaya skenario kasus I.I.I kedalam *software Maple*.

Model matematis komponen biaya skenario kasus I.I.I yang telah di bentuk pada sub bab sebelumnya, yaitu persamaan (3.11) dimasukkan kedalam lembar kerja *software Maple*. Penulisan model matematis didesuaikan dengan style penulisan pada *software Maple*, sehingga diperoleh input seperti pada persamaan (5.1).

$$Asf * D / (n2 * Q) + Csf * alpha * D + (1/2) * n1 * (n1 - 1) * ((hsf + Ssf) * alpha * n2 * Q * D / (P * n1^2)) + hsf * \tau; m * alpha * D + (Cmw - Csf) * e^{(ks * ts)} * alpha * D + n1 * Amw * D / (n2 * Q) + Cmw * alpha * n2 * Q * D * (1 / (n2 * Q)) + hmw * alpha^2 * n2^2 * Q^2 * D / (2 * alpha * P * n1 * n2 * Q) - hmw * alpha * n2 * Q * ts * D * (1 / (n2 * Q)) + hmw * n1 * alpha * P * ts^2 * D / (2 * n2 * Q) + Smw * alpha * n2^2 * Q^2 * D / (2 * P * n1 * n2 * Q) - Cmw * alpha * n2 * Q * e^{(km * \tau; m)} * D * (1 / (n2 * Q)) + Amf * D / (n2 * Q) + Cmf * D + (hmf + Smf) * Q * (2 * D + (P - D) * n2 - P) / (2 * P) + hmf * \tau; d * D + (Cdf - Cmf) * e^{(km * tm)} * D + Adf * D / Q + Cdf * D + hdf * (-D * tm + Q)^2 / (2 * Q) + (1/2) * Sdf * Q - Cdf * D * (1 - e^{(kd * tm)}) - w * (m - Qds) * D / (n2 * Q)$$

$$Q) + (Qds * Adsf * D/(n2 * Q) + Cdsf * Qds * D/(n2 * Q) + w * (m - Qds) * D/(n2 * Q)) \quad (5.1)$$

Langkah 2. Turunkan model matematis komponen biaya terhadap Q.

Lakukan perhitungan turunan pertama komponen biaya terhadap Q. Dengan bantuan *software Maple*, hasil turunan pertama terhadap Q dapat dilihat pada persamaan (5.2).

$$\begin{aligned} & -Qds * Adsf * D/(n2 * Q^2) - Cdsf * Qds * D/(n2 * Q^2) - n1 * Amw * D/(n2 * Q^2) + \\ & (1/2) * hmw * alpha * n2 * D/(P * n1) + (1/2) * Smw * alpha * n2 * D/(P * n1) + \\ & (1/2) * (hmf + Smf) * (2 * D + (P - D) * n2 - P)/P - Amf * D/(n2 * Q^2) - Asf * \\ & D/(n2 * Q^2) + hdf * (-D * tm + Q)/Q - (1/2) * hdf * (-D * tm + Q)^2/Q^2 - \\ & (1/2) * hmw * n1 * alpha * P * ts^2 * D/(n2 * Q^2) + (1/2) * Sdf - Adf * D/ \\ & Q^2 + (1/2) * (n1 - 1) * (hsf + Ssf) * alpha * n2 * D/(P * n1) \end{aligned} \quad (5.2)$$

Langkah 3. Cari persamaan untuk nilai Q.

Langkah selanjutnya adalah mencari persamaan yang mencerminkan nilai Q. Dengan cara turunan pertama terhadap Q di sama dengankan dengan 0 dan memposisikan variabel Q di sisi kiri. Dengan bantuan *software Maple* hasil dari perhitungan dapat dilihat pada persamaan (5.3).

$$\begin{aligned} Q = & \sqrt{-n2 * (-D * Ssf * alpha * n1 * n2 - D * alpha * hsf * n1 * n2 + D * Smf * \\ & n1 * n2 - D * Smw * alpha * n2 + D * Ssf * alpha * n2 - D * alpha * hmw * n2 + \\ & D * alpha * hsf * n2 + D * hmf * n1 * n2 - P * Smf * n1 * n2 - P * hmf * n1 * n2 - \\ & 2 * D * Smf * n1 - 2 * D * hmf * n1 - P * Sdf * n1 + P * Smf * n1 - P * hdf * n1 + \\ & P * hmf * n1) * D * P * n1 * (P * alpha * hmw * n1 * ts^2 + D * hdf * n2 * tm^2 + \\ & 2 * Adf * n2 + 2 * Adsf * Qds + 2 * Amw * n1 + 2 * Cdsf * Qds + 2 * Amf + 2 * \\ & Asf))/n2 * (-D * Ssf * alpha * n1 * n2 - D * alpha * hsf * n1 * n2 + D * Smf * \\ & n1 * n2 - D * Smw * alpha * n2 + D * Ssf * alpha * n2 - D * alpha * hmw * n2 + \\ & D * alpha * hsf * n2 + D * hmf * n1 * n2 - P * Smf * n1 * n2 - P * hmf * n1 * n2 - \\ & 2 * D * Smf * n1 - 2 * D * hmf * n1 - P * Sdf * n1 + P * Smf * n1 - P * hdf * n1 + \\ & P * hmf * n1)} \end{aligned} \quad (5.3)$$

Langkah 4. Sederhanakan persamaan nilai Q (5.4).

Lakukan penyederhanaan persamaan nilai Q untuk mempermudah perhitungan. Hasil penyederhanaan terhadap simbol dengan bantuan *software Maple* dapat dilihat pada persamaan (5.4).

$$Q = I * \sqrt{D} * \sqrt{P} * \sqrt{n1} * \sqrt{(2 * Adsf + 2 * Cdsf) * Qds + (P * alpha * hmw * ts^2 + 2 * Amw) * n1 + (D * hdf * tm^2 + 2 * Adf) * n2 + 2 * Asf + 2 *}$$

$$\begin{aligned} & Amf)/(sqrt(n2) * sqrt(((((-hsf - Ssf) * alpha + hmf + Smf) * D - P * (hmf + \\ & Smf))) * n2 + (-2 * hmf - 2 * Smf) * D + P * (hmf - Sdf + Smf - hdf)) * n1 - \\ & D * alpha * n2 * (hmw - hsf + Smw - Ssf))) \end{aligned} \quad (5.4)$$

Langkah 5. Input parameter dasar ke persamaan nilai Q.

Langkah selanjutnya adalah menginputkan parameter dasar kedalam persamaan nilai Q. Dengan bantuan *software Maple*, hasil persamaan nilai Q setelah di inputkan parameter dasar dapat dilihat pada persamaan (5.5).

$$\begin{aligned} & eval(Q = 1 * sqrt(D) * sqrt(P) * sqrt(n1) * sqrt((2 * Adsf + 2 * Cdsf) * Qds + (P * \\ & alpha * hmw * ts^2 + 2 * Amw) * n1 + (D * hdf * tm^2 + 2 * Adf) * n2 + 2 * Asf + \\ & 2 * Amf)/(sqrt(n2) * sqrt(((((-hsf - Ssf) * alpha + hmf + Smf) * D - P * \\ & (hmf + Smf))) * n2 + (-2 * hmf - 2 * Smf) * D + P * (hmf - Sdf + Smf - hdf)) * \\ & n1 - D * alpha * n2 * (hmw - hsf + Smw - Ssf))), [D = 3069, P = \\ & 4720, alpha = 1, Asf = 441, Amw = 206, Amf = 175, Adf = 384, Adsf = \\ & 2.5, Csf = 20, Cmw = 30, Cmf = 50, Cdf = 70, Cdsf = 80, hsf = 3, hmw = \\ & 3, hmf = 12, hdf = 13.3, Ssf = 3, Smw = 7.5, Smf = 9, Sdf = 7.7, n1 = \\ & 1, n2 = 2, ks = 0.1e - 1, km = 0.8e - 1, kd = 0.4e - 1, v = 30, e = .1, Qds = \\ & 1]) \\ & Q = 0.9755489385e - 3 * sqrt(3069) * sqrt(4720) * sqrt(3345.0 + 14160 * ts^2 + \\ & 81635.4 * tm^2) * sqrt(2) \end{aligned} \quad (5.5)$$

Langkah 6. Sederhanakan hasil persamaan nilai Q (5.6).

Lakukan penyederhanaan kembali pada persamaan nilai Q yang telah dilakukan input parameter dasar. Hasil dari penyederhanaan dengan bantuan *software Maple* dapat dilihat pada persamaan 5.6.

$$Q = 5.250897029 * sqrt(3345.0 + 14160 * ts^2 + 81635.4 * tm^2) \quad (5.6)$$

Langkah 7. Mencari turunan pertama terhadap t_s .

Setelah mendapatkan persamaan nilai Q, langkah selanjutnya adalah untuk mendapatkan persamaan nilai t_s . Terlebih dahulu harus mencari turunan pertama model matematis komponen biaya terhadap t_s . Dengan bantuan *software Maple* hasil turunan pertama terhadap t_s dapat dilihat pada persamaan (5.7).

$$\begin{aligned} & (Cmw - Csf) * e^(ks * ts) * ks * ln(e) * alpha * D + hmw * n1 * alpha * P * ts * D / (n2 * \\ & Q) - hmw * alpha * D \end{aligned} \quad (5.7)$$

Langkah 8. Cari persamaan untuk nilai t_s .

Langkah selanjutnya adalah mencari persamaan yang mencerminkan nilai t_s . Dengan cara turunan pertama terhadap t_s di sama dengankan dengan 0 dan memposisikan variabel t_s di sisi kiri. Dengan bantuan *software Maple* hasil dari perhitungan dapat dilihat pada persamaan (5.8).

$$ts = (ks * \ln(e) * n2 * Q - LambertW(ks^2 * \ln(e)^2 * Q * n2 * (Cmw - Csf) * \exp(ks * \ln(e) * n2 * Q / (P * n1)) / (P * hmw * n1)) * P * n1) / (ks * \ln(e) * P * n1) \quad (5.8)$$

Langkah 9. Input parameter dasar kedalam persamaan nilai t_s (5.9).

Langkah selanjutnya adalah menginputkan parameter dasar kedalam persamaan nilai t_s . Dengan bantuan *software Maple*, hasil persamaan nilai t_s setelah di inputkan parameter dasar dapat dilihat pada persamaan (5.9).

$$\begin{aligned} eval(ts = (ks * \ln(e) * n2 * Q - LambertW(ks^2 * \ln(e)^2 * Q * n2 * (Cmw - Csf) * \\ \exp(ks * \ln(e) * n2 * Q / (P * n1)) / (P * hmw * n1)) * P * n1) / (ks * \ln(e) * P * \\ n1), [D = 3069, P = 4720, alpha = 1, Asf = 441, Amw = 206, Amf = \\ 175, Adf = 384, Adsf = 2.5, Csf = 20, Cmw = 30, Cmf = 50, Cdf = \\ 70, Cdsf = 80, hsf = 3, hmw = 3, hmf = 12, hdf = 13.3, Ssf = 3, Smw = \\ 7.5, Smf = 9, Sdf = 7.7, n1 = 1, n2 = 2, ks = 0.1e - 1, km = 0.8e - 1, kd = \\ 0.4e - 1, v = 30, e = .1]) \\ ts = 0.4237288136e - 3 * Q + 43.42944819 * LambertW(7.488556653 * 10^{(-7)} * Q * \\ \exp(-0.9756716496e - 5 * Q)) \quad (5.9) \end{aligned}$$

Langkah 10. Mencari turunan pertama terhadap t_m .

Setelah mendapatkan persamaan nilai t_s , langkah selanjutnya adalah untuk mendapatkan persamaan nilai t_m . Terlebih dahulu harus mencari turunan pertama model matematis komponen biaya terhadap t_m . Dengan bantuan *software* hasil turunan pertama terhadap t_m dapat dilihat pada persamaan (5.11).

$$-hdf * (-D * tm + Q) * D / Q + (Cdf - Cmf) * e^{(km * tm)} * km * \ln(e) * D + Cdf * D * e^{(kd * tm)} * kd * \ln(e) \quad (5.10)$$

Langkah 11. Cari persamaan untuk nilai t_m .

Langkah selanjutnya adalah mencari persamaan yang mencerminkan nilai t_m . Turunan pertama terhadap t_m di sama dengankan dengan 0 dan memposisikan variabel t_m di sisi kiri. Dengan bantuan *software Maple* hasil dari perhitungan dapat dilihat pada persamaan (5.11).

$$tm = \text{RootOf}(e^{(km * _Z)} * km * \ln(e) * Q * Cdf + Cdf * e^{(kd * _Z)} * kd * \ln(e) * Q - e^{(km * _Z)} * km * \ln(e) * Q * Cmf + D * hdf * _Z - Q * hdf) \quad (5.11)$$

Langkah 12. Input parameter dasar kedalam persamaan nilai t_m (5.12).

Langkah selanjutnya adalah menginputkan parameter dasar kedalam persamaan nilai t_m . Dengan bantuan *software Maple*, hasil persamaan nilai t_m setelah di inputkan parameter dasar dapat dilihat pada persamaan 5.12.

$$\begin{aligned} &eval(tm = \text{RootOf}(e^{(km * _Z)} * km * \ln(e) * Q * Cdf + Cdf * e^{(kd * _Z)} * kd * \\ &\ln(e) * Q - e^{(km * _Z)} * km * \ln(e) * Q * Cmf + D * hdf * _Z - Q * hdf), [D = \\ &3069, P = 4720, alpha = 1, Asf = 441, Amw = 206, Amf = 175, Adf = \\ &384, Adsf = 2.5, Csf = 20, Cmw = 30, Cmf = 50, Cdf = 70, Cdsf = \\ &80, hsf = 3, hmw = 3, hmf = 12, hdf = 13.3, Ssf = 3, Smw = 7.5, Smf = \\ &9, Sdf = 7.7, n1 = 1, n2 = 2, ks = .1, km = 0.8e - 1, kd = 0.4e - 1, v = \\ &30, e = 0.1e - 1, Qds = 1]) \\ &tm = \text{RootOf}(7.36827230 * 0.1e - 1^{(0.8e - 1 * _Z)} * Q + 12.89447652 * 0.1e - \\ &1^{(0.4e - 1 * _Z)} * Q - 40817.7 * _Z + 13.3 * Q) \end{aligned} \quad (5.12)$$

Langkah 13. Dari persamaan nilai Q, keluarkan variabel t_s ke sisi kiri.

Langkah selanjutnya adalah memindahkan variabel t_s pada persamaan nilai Q, yaitu persamaan (5.6) ke sisi kiri. Sehingga di sisi kanan hanya akan tersisa variabel Q dan t_m . Hasil dari langkah ini menghasilkan persamaan baru, dapat dilihat pada persamaan (5.13).

$$[ts = 5.379764147 * 10^{(-14)} * \text{sqrt}(8.850000000 * 10^{20} * Q^2 - 1.991997547 * 10^{27} * tm^2 - 8.162184292 * 10^{25})] \quad (5.13)$$

Langkah 14. Substitusi persamaan (5.13) kedalam persamaan nilai t_s (5.9).

Lakukan substitusi persamaan (5.13) kedalam persamaan nilai t_s , yaitu persamaan (5.9). Hasil dari langkah ini menghasilkan persamaan baru, dapat dilihat pada persamaan (5.14).

$$\begin{aligned} &-5.379764147 * 10^{(-14)} * \text{sqrt}(8.850000000 * 10^{20} * Q^2 - 1.991997547 * 10^{27} * \\ &tm^2 - 8.162184292 * 10^{25}) + 0.4237288136e - 3 * Q + 43.42944819 * \\ &\text{LambertW}(7.488556653 * 10^{(-7)} * Q * \text{exp}(-0.9756716496e - 5 * Q)) = 0 \end{aligned} \quad (5.14)$$

Langkah 15. Substitusi persamaan (5.13) kedalam persamaan nilai t_m (5.12).

Lakukan substitusi persamaan (5.13) kedalam persamaan nilai t_m , yaitu persamaan (5.12). Hasil dari langkah ini menghasilkan persamaan baru, dapat dilihat pada persamaan (5.15).

$$-tm + \text{RootOf}(7.36827230 * 0.1e - 1^{(0.8e - 1 * _Z)} * Q + 12.89447652 * 0.1e - 1^{(0.4e - 1 * _Z)} * Q - 40817.7 * _Z + 13.3 * Q) = 0 \quad (5.15)$$

Langkah 16. Pindahkan variabel t_m pada persamaan (5.14) ke sisi kiri.

Dengan memindahkan variabel t_m ke sisi kiri maka di sisi kanan hanya akan tersisa variabel Q. Sehingga didapatkan persamaan baru, hasil langkah ini dapat dilihat pada persamaan (5.16).

$$tm = 2.952189858 * 10^{(-27)} * \text{sqrt}(-4.701419770 * 10^{51} - 3.753745140 * 10^{55} * \text{LambertW}(7.488556653 * 10^{(-7)} * Q * \exp(-0.9756716496e - 5 * Q))^2 - 7.324845427 * 10^{50} * Q * \text{LambertW}(7.488556653 * 10^{(-7)} * Q * \exp(-0.9756716496e - 5 * Q)) + 4.740269554 * 10^{46} * Q^2) \quad (5.16)$$

Langkah 17. Subtitusikan nilai t_m pada persamaan (5.16) kedalam persamaan (5.15), sehingga nilai Q dapat dicari.

Dengan melakukan substitusi nilai t_m pada persamaan (5.16) kedalam persamaan (5.15), dapat dihasilkan nilai Q optimal. Hasil dari langkah ini dapat dilihat pada persamaan (5.17).

$$-2.952189858 * 10^{(-27)} * \text{sqrt}(-4.701419770 * 10^{51} - 3.753745140 * 10^{55} * \text{LambertW}(7.488556653 * 10^{(-7)} * Q * \exp(-0.9756716496e - 5 * Q))^2 - 7.324845427 * 10^{50} * Q * \text{LambertW}(7.488556653 * 10^{(-7)} * Q * \exp(-0.9756716496e - 5 * Q)) + 4.740269554 * 10^{46} * Q^2) + \text{RootOf}(7.36827230 * 0.1e - 1^{(0.8e - 1 * _Z)} * Q + 12.89447652 * 0.1e - 1^{(0.4e - 1 * _Z)} * Q - 40817.7 * _Z + 13.3 * Q) = 0 \quad (5.17)$$

$$[Q = 325.6745525]$$

Langkah 18. Subtitusikan nilai Q pada persamaan (5.16), sehingga didapatkan nilai t_m .

Dengan melakukan substitusi nilai Q kedalam persamaan (5.16), maka dapat dihasilkan nilai t_m optimal. Hasil dari langkah ini dapat dilihat pada persamaan 5.18.

$$\text{eval}(tm = 2.952189858 * 10^{(-27)} * \text{sqrt}(-4.701419770 * 10^{51} - 3.753745140 * 10^{55} * \text{LambertW}(7.488556653 * 10^{(-7)} * Q * \exp(-0.9756716496e - 5 * Q))^2 - 7.324845427 * 10^{50} * Q * \text{LambertW}(7.488556653 * 10^{(-7)} * Q * \exp(-0.9756716496e - 5 * Q)) + 4.740269554 * 10^{46} * Q^2), [Q = 325.6745525]) \quad (5.18)$$

$$tm = 0.8715763930e - 1$$

Langkah 19. Subtitusikan nilai Q dan t_m pada persamaan (5.13).

Dengan melakukan substitusi nilai Q dan t_m kedalam persamaan (5.13), maka dapat dihasilkan nilai t_s optimal. Hasil dari langkah ini dapat dilihat pada persamaan (5.19).

$$\begin{aligned} eval(ts = 5.379764147 * 10^{(-14)} * sqrt(8.850000000 * 10^{20} * Q^2 - \\ 1.991997547 * 10^{27} * tm^2 - 8.162184292 * 10^{25}), [Q = 325.6745525, tm = \\ 0.8715763930e - 1]) \end{aligned} \quad (5.19)$$

$ts = 0.1486722132e - 1$

Langkah 20. Perhitungan total biaya.

Dalam perhitungan total biaya sistem rantai pasokan, inputkan hasil solusi variabel yang telah dicari dan variabel dasar lainnya kedalam persamaan total biaya. Sehingga diketahui biaya total rantai pasokan pada skenario kasus tersebut. Hasil langkah ini dapat dilihat pada persamaan (5.20).

$$\begin{aligned} eval(TSC = Asf * D/(n2 * Q) + Csf * alpha * D + (1/2) * n1 * (n1 - 1) * ((hsf + Ssf) * \\ alpha * n2 * Q * D/(P * n1^2)) + hsf * \tau; m * alpha * D + (Cmw - Csf) * \\ e^{(ks * ts)} * alpha * D + n1 * Amw * D/(n2 * Q) + Cmw * alpha * n2 * Q * D * \\ (1/(n2 * Q)) + hmw * alpha^2 * n2^2 * Q^2 * D/(2 * alpha * P * n1 * n2 * Q) - \\ hmw * alpha * n2 * Q * ts * D * (1/(n2 * Q)) + hmw * n1 * alpha * P * ts^2 * D/(2 * \\ n2 * Q) + Smw * alpha * n2^2 * Q^2 * D/(2 * P * n1 * n2 * Q) - Cmw * alpha * n2 * \\ Q * e^{(km * \tau; m)} * D * (1/(n2 * Q)) + Amf * D/(n2 * Q) + Cmf * D + (hmf + \\ Smf) * Q * (2 * D + (P - D) * n2 - P)/(2 * P) + hmf * \tau; d * D + (Cdf - \\ Cmf) * e^{(km * tm)} * D + Adf * D/Q + Cdf * D + hdf * (-D * tm + Q)^2/(2 * \\ Q) + (1/2) * Sdf * Q - Cdf * D * (1 - e^{(kd * tm)}) - w * (m - Qds) * D/(n2 * \\ Q) + (Qds * Adsf * D/(n2 * Q) + Cdsf * Qds * D/(n2 * Q) + w * (m - Qds) * \\ D/(n2 * Q)), [D = 3069, P = 4720, alpha = 1, Asf = 441, Amw = 206, Amf = \\ 175, Adf = 384, Adsf = 2.5, Csf = 20, Cmw = 30, Cmf = 50, Cdf = \\ 70, Cdsf = 80, hsf = 3, hmw = 3, hmf = 12, hdf = 13.3, Ssf = 3, Smw = \\ 7.5, Smf = 9, Sdf = 7.7, n1 = 1, n2 = 2, ks = 0.1e - 1, km = 0.8e - 1, kd = \\ 0.4e - 1, v = 30, w = 50, e = .1, Q = 325.6745525, Qds = 586, m = 651, ts = \\ 0.1486722132e - 1, \tau; m = 0.1486722132e - 1, tm = 0.8715763930e - \\ 1, \tau; d = 0.8715763930e - 1]) \end{aligned} \quad (5.20)$$

$$TSC = 7.943409794 * 10^5$$

Dengan cara yang sama, dilakukan perhitungan manual dengan *software Maple* untuk seluruh skenario kasus lainnya. Dapat dilihat juga pada hasil perhitungan tersebut, bahwa

perhitungan dengan bantuan *Solver* pada *software Excel* maupun perhitungan manual dengan bantuan *software Maple* memiliki hasil yang relatif sama. Dikarenakan perhitungan dengan *software Maple* memerlukan waktu komputasi yang cukup panjang, sehingga penulis mencoba membatasi percobaan perhitungan dengan *software Maple*. Pada penelitian ini telah dilakukan percobaan perhitungan tiga skenario kasus dengan *software Maple*. Tiga skenario kasus yang berhasil dilakukan perhitungan dengan *software Maple* adalah skenario kasus 1.1.1, 1.2.1, dan 1.2.2. Rekapitulasi hasil perhitungan menggunakan *software Maple* maupun *Solver* pada *software Excel* dapat dilihat pada Tabel 5.2. Seluruh notasi yang digunakan dapat dilihat pada Lampiran 1.

Tabel 5. 2 Rekapitulasi Perbandingan Perhitungan Dengan *Excel Solver* & *Maple*

Skenario	1.1.1		1.2.1		1.2.2	
	Excel	Maple	Excel	Maple	Excel	Maple
Q	326	325.67	311	310.47	311	312.15
t_s	0.01	0.014	0.01	0.014	0.01	0.015
τ_m	0.01	0.014	0.01	0.014	0.01	0.015
t_m	0.09	0.087	0.06	0.058	0.06	0.055
τ_d	0.09	0.087	0.07	0.058	0.07	0.065
m	651	651.34	621	620.94	745	744.63
TSC	795,429	794,340.97	801,038	802,426.61	815,922	816,666.98
Selisih TSC	0.068%		0.087%		0.046%	

Telah dilakukan rekapitulasi dari beberapa skenario kasus yang diselesaikan dengan *Solver* pada *software Excel* maupun *software Maple*. Perbandingan hasil dari dua *tools* tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.2. Hasil rekapitulasi tersebut menunjukkan perhitungan dengan dua macam *tools* berbeda tersebut menghasilkan hasil yang relatif sama. Walaupun ada perbedaan angka pada hasil perhitungan dari kedua *tools* tersebut, namun perbedaan tersebut dinilai tidak terlalu signifikan. Jika dilihat dari fungsi tujuan, yaitu total biaya sistem rantai pasokan secara keseluruhan TSC. Nilai yang dihasilkan melalui perhitungan dengan dua *tools* tersebut tidak jauh berbeda. Sebagai contoh, pada kasus 1.1.1 hanya terjadi perbedaan total biaya sistem rantai pasokan sebesar 0.068%. Begitu juga untuk skenario 1.2.1 dan 1.2.2, masing-masing memiliki perbedaan TSC sebesar 0.087% dan 0.046%.

Dengan tujuan untuk memudahkan perhitungan dan mempersingkat waktu komputasi maka untuk selanjutnya akan digunakan bantuan *Solver* pada *software Excel* dalam perhitungan lebih lanjut dan analisa sensitivitas. Setelah melakukan perhitungan untuk semua skenario kasus, didapatkan keputusan untuk masing-masing skenario kasus. Hasil perhitungan seluruh skenario kasus dapat dilihat pada Tabel 5.3. Seluruh notasi yang digunakan dapat dilihat pada Lampiran 1.

Tabel 5. 3 Hasil Perhitungan Masing-Masing Skenario Kasus

Skenario	0.0.0	1.1.1*	1.1.2	1.2.1	1.2.2	2.1.1	2.1.2	2.2.1	2.2.2
Q	296	326	326	311	311	326	326	311	311
t_s	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
τ_m	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
t_m	0.00	0.09	0.09	0.06	0.06	0.09	0.09	0.06	0.06
τ_d	0.00	0.09	0.09	0.07	0.07	0.09	0.09	0.07	0.07
m	592	651	782	621	745	651	782	621	745
SC	94,355	94,233	94,233	94,334	94,334	2,276	2,276	2,378	2,378
MC	221,935	224,662	224,662	14,804	14,804	316,880	316,880	107,021	107,021
DC	237,264	233,316	225,337	448,681	440,702	233,316	225,337	448,681	440,702
DsC	243,218	243,218	266,082	243,218	266,082	243,218	266,082	243,218	266,082
TSC	796,773	795,429	810,314	801,038	815,922	795,691	810,575	801,299	816,183

Tabel 5.3 berisi rangkuman hasil dari perhitungan numerik yang dilakukan untuk seluruh skenario kasus. Telah dilakukan perhitungan numerik pada 8 skenario kasus dengan *delay in payment* dan kontrak pinalti untuk *drop-shipper*. Juga telah dilakukan perhitungan numerik pada kasus tambahan, yaitu tanpa *delay in payment* dan kontrak pinalti. Hasil perhitungan numerik memperlihatkan total biaya sistem rantai pasokan paling minimal diraih saat kondisi secara umum mewakili skenario 1.1.1. Dimana pada eselon 1 *supplier* memberi *delay in payment* selama periode waktu t_s kepada manufaktur untuk menyelesaikan pembayaran tanpa beban bunga. Manufaktur melakukan pembayaran pada periode waktu τ_m , waktu pembayaran tersebut tepat pada akhir periode *delay in payment* yang diberikan oleh *supplier* t_s . Sehingga pada kasus ini manufaktur tidak akan memberikan kompensasi kepada *supplier* karena melakukan pembayaran tidak melebihi batas periode *delay in payment* yang diberikan *supplier*. Pada eselon 2 manufaktur memberi *delay in payment* selama periode waktu t_m kepada distributor untuk menyelesaikan pembayaran tanpa beban bunga. Distributor melakukan pembayaran pada periode waktu τ_d , waktu pembayaran tersebut tepat pada akhir periode *delay in payment* yang diberikan oleh manufaktur t_m . Sehingga pada kasus ini distributor tidak akan memberikan kompensasi kepada manufaktur karena melakukan pembayaran tidak melebihi batas periode *delay in payment* yang diberikan manufaktur. Sedangkan pada eselon 3 dalam satu siklus umum, permintaan distributor sama dengan komitmen kuantitas yang telah disetujui *drop-shipper* sebelumnya m . Namun permintaan *drop-shipper* Q_{ds} kurang dari komitmen yang telah disetujui sebelumnya. Sehingga pada kasus ini *drop-shipper* harus memberikan kompensasi w kepada distributor karena melakukan pemesanan dengan jumlah dibawah kontrak pinalti kuantitas yang telah disetujui sebelumnya.

Hasil dari perhitungan numerik memperlihatkan *supplier* identik memberikan periode waktu penundaan pembayaran yang relatif pendek. Total biaya minimum yang dikeluarkan *supplier* juga terjadi saat periode waktu penundaan yang diberikan pendek. Kecuali pada kasus 2-1-1, 2-1-2, 2-2-1, dan 2-2-2 total biaya yang dikeluarkan *supplier* menjadi lebih minimal karena terjadi pembayaran oleh manufaktur diluar waktu yang diberikan oleh *supplier*. *Supplier* memberikan waktu penundaan pembayaran yang relatif pendek karena prosentasi pengembalian investasi *supplier* yang kecil, yaitu sebesar 1%. Berbeda dengan manufaktur yang memberikan waktu penundaan pembayaran kepada distributor relatif lebih lama daripada *supplier*. Hal ini terjadi dikarenakan prosentase pengembalian investasi manufaktur yang relatif besar dibandingkan pemain lainnya, yaitu sebesar 8%. Total biaya minimum manufaktur terjadi saat pemain satu level dibawahnya menunda pembayaran diluar batas waktu yang diberikan. Juga terlihat total biaya yang dikeluarkan manufaktur akan lebih minim saat manufaktur menunda pembayaran diluar batas waktu yang diberikan *supplier* daripada membayar tepat waktu. Hal tersebut terjadi karena prosentasi pengembalian investasi manufaktur sangat tinggi bila dibandingkan dengan prosentase pengembalian investasi *supplier*.

Total biaya distributor terlihat lebih minimal saat distributor melakukan pembayaran sesuai dengan waktu yang diberikan manufaktur. Hal ini terjadi karena prosentasi pengembalian investasi distributor yang lebih rendah bila dibandingkan dengan prosentasi pengembalian investasi manufaktur. Dapat dilihat juga, total biaya tertinggi distributor terjadi saat distributor tidak dapat memenuhi permintaan *drop-shipper* sesuai dengan kontrak pinalti yang telah disetujui. Hal ini terjadi karena distributor harus menanggung beban pinalti kepada *drop-shipper*. Sedangkan total biaya pada *drop-shipper* menjadi paling minim pada saat distributor dapat memenuhi semua permintaan mereka. Dengan integrasi rantai pasokan, skenario terbaik yang memiliki total biaya sistem rantai pasokan paling minimal diantara seluruh skenario kasus yang ada adalah skenario kasus 1.1.1. Pada skenario kasus 1.1.1 variabel keputusan optimal terjadi saat nilai $t_s = 0.01 \text{ tahun}$, $\tau_m = 0.01 \text{ tahun}$, $t_m = 0.09 \text{ tahun}$, $\tau_d = 0.09 \text{ tahun}$, $Q = 326 \text{ unit}$, $m = 651 \text{ unit}$ dengan total biaya sistem rantai pasokan sebesar \$795,429 per tahun. Biaya yang dikeluarkan pada skenario kasus 1.1.1 lebih rendah diantara seluruh skenario kasus lainnya.

5.2. Uji Sensitivitas

Pada sub bab ini akan dilakukan analisa sensitivitas dengan melakukan variasi pada beberapa parameter yang diprediksi berpengaruh besar terhadap total biaya sistem rantai pasokan.

Dengan analisa ini juga dapat dilihat seberapa baik model dapat merepresentasikan kondisi sistem yang sedang diteliti.

5.2.1. Pengujian Terhadap Prosentase Pengembalian Investasi Distributor (k_d)

Model yang dikembangkan dalam penelitian ini melibatkan model penundaan pembayaran sebagai media koordinasi antar pemain dalam sistem rantai pasokan. Salah satu variabel yang dianggap sensitif terhadap periode waktu penundaan pembayaran yang diberikan oleh pemain dalam rantai pasokan adalah prosentase pengembalian investasi atau *return of investment (ROI)*. ROI adalah keuntungan yang didapatkan dari pengeluaran keuangan dengan tujuan mengembangkan, mengubah, atau mengelola suatu produk atau sistem. Menurut Chang et al. (2015) ROI menjadi ukuran ekonomi umum yang digunakan dalam mengevaluasi efisiensi investasi atau untuk membandingkan sejumlah investasi yang berbeda. Dalam model yang dikembangkan pada penelitian ini, permintaan distributor menjadi acuan dalam permintaan pemain pada level sebelumnya. Untuk menganalisa dampak dari pemberian jangka waktu penundaan pembayaran yang relatif pendek atau panjang terhadap nilai Q dan total biaya terintegrasi. Akan dilakukan pengujian nilai parameter prosentase pengembalian investasi distributor dengan melakukan variasi peningkatan secara berkala sebesar 50% dari nilai awal, sehingga $k_d = [0.04, 0.06, 0.08, 0.1, 0.12, 0.14, 0.16]$. Hasil pegujian parameter k_d dapat dilihat pada Tabel 5.4. Seluruh notasi yang digunakan dapat dilihat pada Lampiran 1.

Tabel 5. 4 Pengaruh Nilai Parameter k_d Terhadap Solusi Optimal

k_d	Q	t_s	τ_m	t_m	τ_d	m	SC	MC	DC	DsC	TSC
0.04	326	0.01	0.01	0.09	0.09	651	94233	224662	233316	243218	795429
0.06	349	0.01	0.01	0.11	0.11	698	94094	225547	231548	243218	794407
0.08	379	0.01	0.01	0.12	0.12	758	93939	226193	229908	243218	793258
0.1	418	0.01	0.01	0.14	0.14	836	93774	227049	227969	243218	792010
0.12	470	0.01	0.01	0.15	0.15	940	93595	228228	225593	243218	790634
0.14	542	0.01	0.01	0.18	0.18	1085	93403	229929	222538	243218	789088
0.16	650	0.01	0.01	0.21	0.21	1300	93196	232519	218369	243218	787302

Hasil percobaan dengan menguji variasi pada prosentase pengembalian investasi distributor dapat dilihat pada Tabel 5.4. Dari pengujian tersebut dapat disimpulkan bahwa, semakin tinggi prosentase pengembalian investasi distributor akan menyebabkan total keuntungan yang semakin tinggi juga. Hal tersebut terjadi karena peningkatan prosentase pengembalian investasi distributor. Jika dilakukan perhitungan lebih lanjut, dapat disimpulkan jika prosentase pengembalian investasi distributor meningkat sebesar 50% akan menurunkan total biaya rantai pasokan sebesar 0,13%. Penurunan total biaya rantai pasokan tersebut terus bertambah sebanding

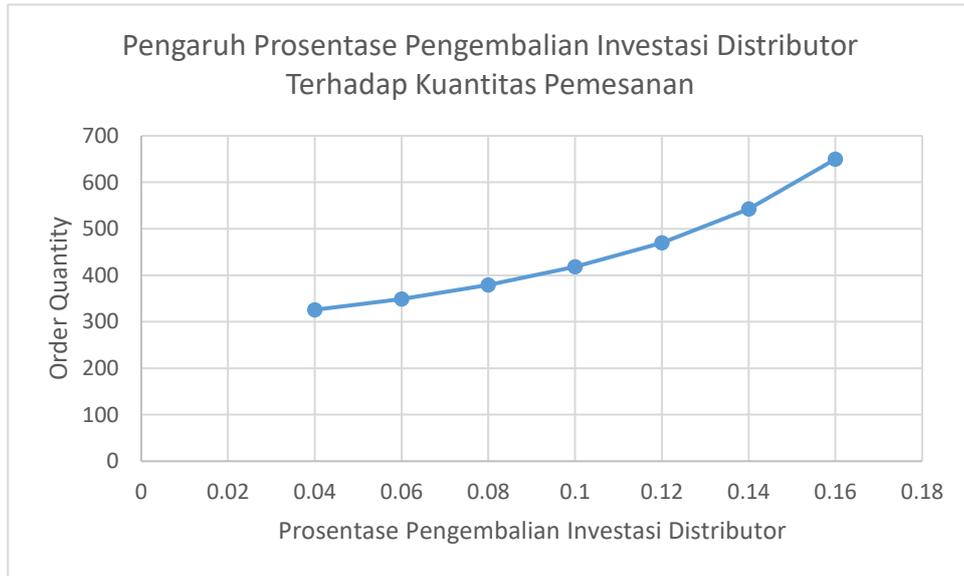
dengan meningkatnya prosentase pengembalian investasi distributor. Secara lebih jelas penurunan total biaya sistem rantai pasokan akibat peningkatan prosentase pengembalian investasi distributor telah digambarkan pada Gambar 5.5.

Dapat dilihat juga pada Tabel 5.4 bahwa kuantitas pemesanan akan meningkat bersamaan dengan peningkatan prosentase pengembalian investasi distributor. Setelah dilakukan perhitungan lebih lanjut, dapat diketahui terjadi peningkatan kuantitas pemesanan sebesar 7% saat prosentase pengembalian investasi distributor meningkat 50%. Peningkatan kuantitas pemesanan tersebut terus bertambah sebanding dengan meningkatnya prosentase pengembalian investasi distributor. Untuk menggambarkan kejadian tersebut secara lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 5.2.

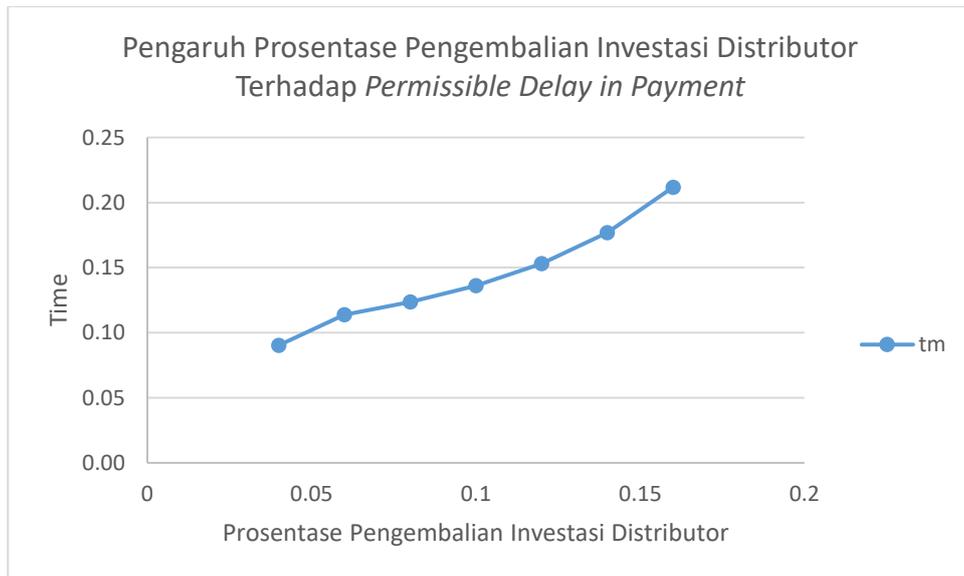
Meningkatnya prosentase pengembalian investasi distributor juga berpengaruh terhadap periode waktu *delay in payment* yang diberikan oleh manufaktur kepada distributor. Dapat dilihat pada Tabel 5.3, peningkatan prosentase pengembalian investasi distributor menyebabkan terjadinya peningkatan periode *delay in payment* yang diberikan oleh manufaktur kepada distributor. Hal tersebut dapat dihubungkan dengan meningkatnya kuantitas pemesanan Q , semakin tinggi nilai Q akan menghasilkan nilai t_m atau periode *delay in payment* yang diberikan oleh manufaktur kepada distributor akan semakin panjang. Jika dilihat lebih detail, saat terjadi peningkatan kuantitas pemesanan sebesar 7%, mengakibatkan terjadinya peningkatan periode *delay in payment* yang diberikan oleh manufaktur kepada distributor sebesar 22%. Peningkatan tersebut akan bertambah sebanding dengan peningkatan kuantitas pemesanan dan prosentase pengembalian investasi distributor. Untuk menggambarkan kejadian tersebut secara lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 5.2 dan 5.3.

Selanjutnya akan dilihat lebih fokus pada biaya yang dikeluarkan masing-masing pemain dalam rantai pasokan. Pada pengujian ini dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi prosentase pengembalian investasi distributor akan menghasilkan biaya yang lebih kecil pada distributor itu sendiri. Dapat dilihat pada Tabel 5.4, total biaya yang dikeluarkan distributor menurun 0.76% saat prosentase pengembalian investasi distributor meningkat sebesar 50%. Namun, jika melihat perubahan biaya yang dikeluarkan oleh manufaktur justru terjadi peningkatan sebesar 0.39%. Peningkatan biaya pada manufaktur terjadi karena periode waktu penundaan pembayaran yang lebih panjang. Sehingga hal tersebut akan mengakibatkan peningkatan *opportunity cost* pada manufaktur. Namun, manufaktur juga mendapatkan keuntungan lebih karena kuantitas pemesanan distributor yang meningkat. Gambaran grafik pengaruh prosentasi pengembalian investasi distributor terhadap biaya untuk masing-masing pemain dan total biaya rantai pasokan dapat dilihat pada Gambar 5.4 dan Gambar 5.5. Sehingga dapat diambil kesimpulan, prosentase

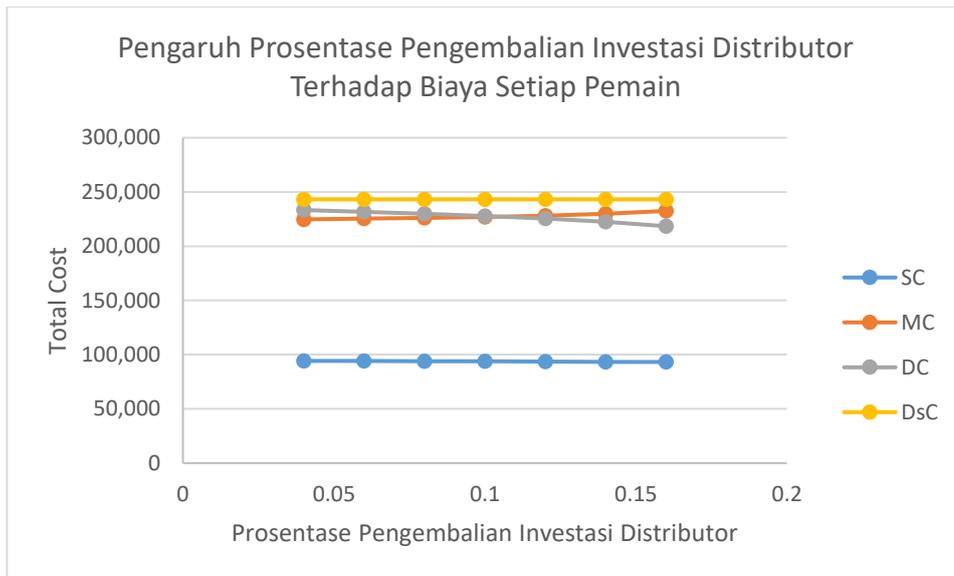
pengembalian investasi distributor merupakan salah satu parameter yang berpengaruh secara signifikan dalam sistem rantai pasokan yang diteliti.



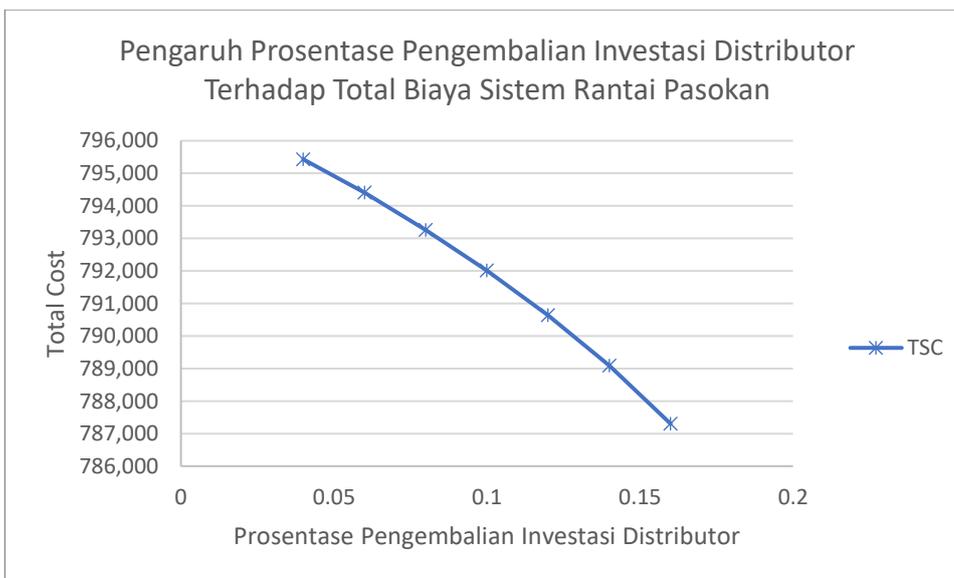
Gambar 5. 2 Pengaruh Prosentase Pengembalian Investasi Distributor Terhadap Kuantitas Pemesanan



Gambar 5. 3 Pengaruh Prosentase Pengembalian Investasi Distributor Terhadap Permissible Delay in Payment



Gambar 5. 4 Pengaruh Prosentase Pengembalian Investasi Distributor Terhadap Total Biaya Setiap Pemain



Gambar 5. 5 Pengaruh Prosentase Pengembalian Investasi Distributor Terhadap Total Biaya Sistem Rantai Pasokan

5.2.2. Pengujian Terhadap Prosentase Pengembalian Investasi Seluruh Pemain

(k_d, k_m, k_s)

Untuk menganalisa lebih lanjut terhadap parameter prosentase pengembalian investasi, pengujian lebih lanjut akan dilakukan pada parameter prosentase pengembalian investasi pemain lainnya. Sehingga pada sub bab ini dilakukan pengujian prosentase pengembalian investasi yang meliputi seluruh pemain. Pada percobaan ini akan dibuat skenario variasi nilai prosentase pengembalian investasi yang berbeda-beda. Prosentase pengembalian investasi pada percobaan ini dibagi kedalam tiga nilai, yaitu 0.03, 0.06, dan 0.09. Akan dilakukan percobaan kedalam lima

skenario, yang pertama nilai prosentase pengembalian investasi distributor lebih tinggi daripada manufaktur, dan manufaktur lebih tinggi daripada supplier. Skenario kedua, nilai prosentase pengembalian investasi manufaktur lebih tinggi daripada distributor, dan distributor lebih tinggi daripada supplier. Skenario ketiga, nilai prosentase pengembalian investasi supplier lebih tinggi daripada manufaktur, dan manufaktur lebih tinggi daripada distributor. Skenario keempat, nilai pengembalian investasi supplier lebih tinggi daripada distributor, dan distributor lebih tinggi daripada manufaktur. Pada skenario kelima semua pemain memiliki nilai prosentase pengembalian investasi yang sama. Hasil pegujian variasi parameter $k_d, k_m, dan k_s$ dapat dilihat pada Tabel 5.5. Seluruh notasi yang digunakan dapat dilihat pada Lampiran 1.

Tabel 5. 5 Pengaruh Nilai Parameter (k_d, k_m, k_s) Terhadap Solusi Optimal

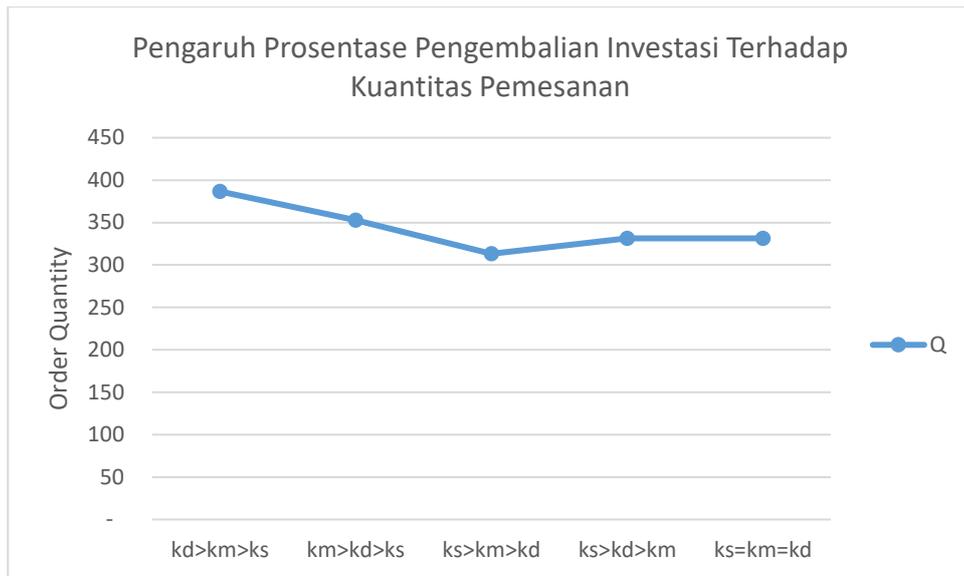
No.	Skenario	Q	ts	τm	tm	τd	m	SC	MC	DC	DsC	TSC
1	$k_d > k_m > k_s$ $0.09 > 0.06 > 0.03$	387	0.01	0.01	0.13	0.13	773	93,891	226,660	229,176	243,218	792,945*
2	$k_m > k_d > k_s$ $0.09 > 0.06 > 0.03$	353	0.01	0.01	0.11	0.11	706	94,059	225,490	231,489	243,218	794,256
3	$k_s > k_m > k_d$ $0.09 > 0.06 > 0.03$	313	0.01	0.01	0.07	0.07	773	94,259	224,090	234,371	243,218	795,939
4	$k_s > k_d > k_m$ $0.09 > 0.06 > 0.03$	331	0.01	0.01	0.10	0.10	663	94,140	225,544	232,099	243,218	795,002
5	$k_s = k_m = k_d$ $0.06 = 0.06 = 0.06$	331	0.01	0.01	0.10	0.10	663	94,161	225,192	232,099	243,218	794,670

Hasil dari percobaan variasi skenario nilai prosentasi pengembalian investasi tiga pemain berbeda dalam rantai pasokan secara detail ditunjukkan pada Tabel 5.5. Dari hasil perhitungan tersebut dapat diketahui bahwa total biaya rantai pasokan paling minimum terjadi saat distributor memiliki prosentase pengembalian investasi lebih besar daripada manufaktur dan manufaktur lebih besar daripada *supplier*. Ketika prosentase pengembalian investasi distributor berada diantara kedua pemain lainnya, yaitu manufaktur yang tertinggi dan *supplier* yang terendah. Maka terjadi peningkatan total biaya rantai pasokan sebesar 0.17%. Ketika prosentase pengembalian investasi distributor paling rendah dibanding dua pemain lainnya, yaitu *supplier* yang tertinggi dan manufaktur berada dibawah *supplier*. Terjadi peningkatan total biaya rantai pasokan sebesar 0.38% dibandingkan dengan kondisi awal saat distributor memiliki prosentase pengembalian investasi tertinggi. Hal berbeda terjadi saat prosentase pengembalian investasi distributor berada diantara kedua pemain lainnya, namun *supplier* yang tertinggi dan manufaktur yang terendah. Terjadi peningkatan total biaya rantai pasokan sebesar 0.26%, lebih rendah dibandingkan prosentase pengembalian investasi distributor paling kecil. Namun pada skenario itu peningkatan total biaya rantai pasok lebih tinggi dibandingkan pengembalian investasi distributor berada diantara kedua pemain lainnya, yaitu manufaktur yang tertinggi dan *supplier* yang terendah

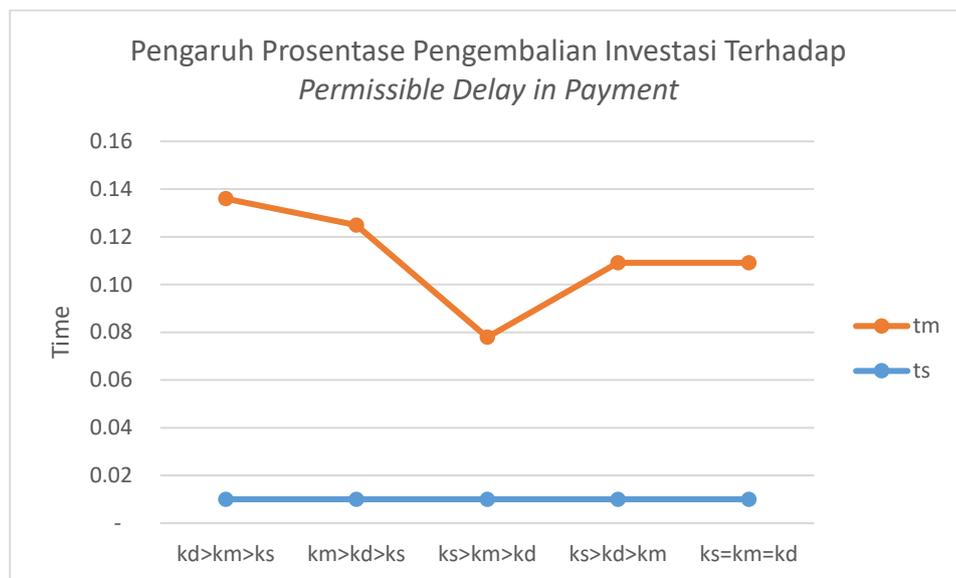
dengan peningkatan sebesar 0.17%. Saat prosentase pengembalian investasi ketiga pemain tersebut sama juga menimbulkan peningkatan total biaya rantai pasok sebesar 0.22%. Untuk memperjelas gambaran fluktuasi total biaya rantai pasokan yang berhubungan dengan prosentase pengembalian investasi seluruh pemain dapat dilihat pada Gambar 5.8 dan Gambar 5.9.

Melalui hasil percobaan tersebut, dapat dilihat pada Tabel 5.5 nilai Q yang lebih besar terjadi saat prosentasi pengembalian investasi distributor lebih besar juga. Nilai Q juga dipengaruhi oleh prosentase pengembalian investasi seluruh pemain. Dapat disimpulkan bahwa prosentase pengembalian investasi distributor sangat penting dalam peningkatan kuantitas pemesanan. Untuk menggambarkan pengaruh prosentase pengembalian investasi seluruh pemain terhadap fluktuasi nilai Q dapat dilihat pada Gambar 5.6. Dapat dilihat pada Gambar 5.7, saat prosentase pengembalian investasi distributor meningkat maka bukan hanya terjadi peningkatan nilai Q tetapi juga lama waktu penundaan pembayaran yang diberikan oleh manufaktur. Begitu juga sebaliknya saat prosentase pengembalian investasi distributor lebih rendah. Hal tersebut terjadi karena nilai periode delay in payment sangat dipengaruhi oleh kuantitas pemesanan, begitupun sebaliknya.

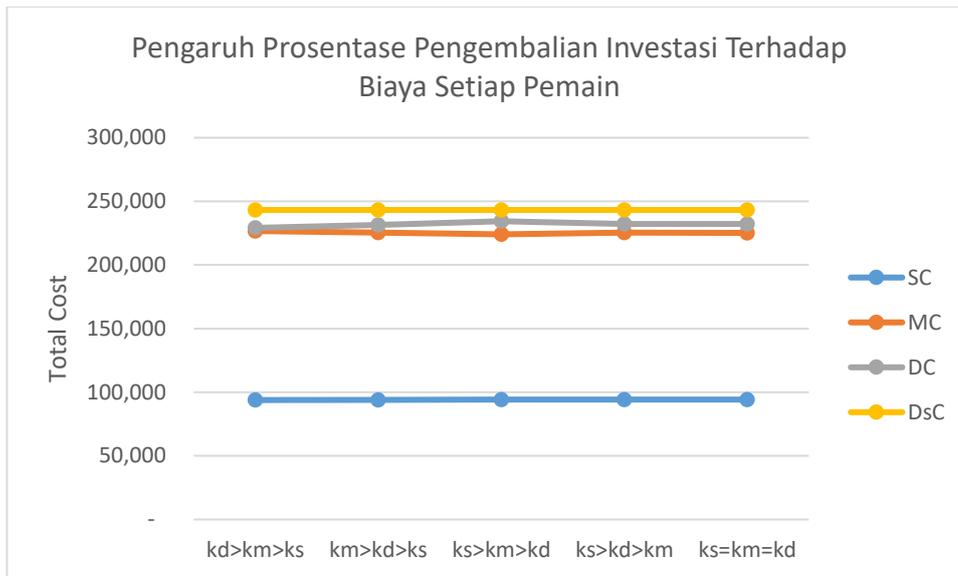
Dari grafik pada Gambar 5.8 terlihat bahwa, total biaya setiap pemain akan selalu lebih rendah berlawanan dengan jika prosentase pengembalian investasi pemain tersebut ditingkatkan. Sebagai contoh pada Tabel 5.5, total biaya yang harus dikeluarkan oleh distributor sebesar 229,176 saat memiliki prosentase pengembalian investasi sebesar 0.09. Namun terjadi peningkatan menjadi 234,371 saat distributor memiliki prosentase pengembalian investasi sebesar 0.03. Diperjelas juga oleh grafik pada Gambar 5.9, total biaya rantai pasokan terendah memang terjadi saat distributor memiliki prosentase pengembalian investasi yang paling tinggi diantara manufaktur dan supplier. Jika memperhatikan grafik pada Gambar 5.8, pada saat kondisi tersebut biaya pada manufaktur mengalami peningkatan. Hal tersebut terjadi karena waktu penundaan pembayaran yang lebih panjang diberikan oleh manufaktur kepada distributor. Namun, manufaktur juga mendapatkan keuntungan dengan meningkatnya kuantitas pemesanan.



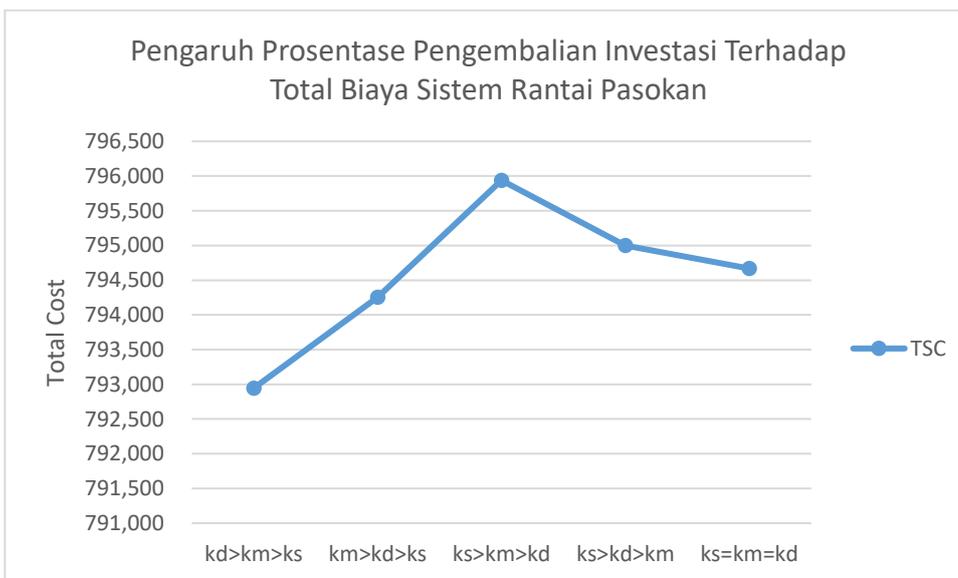
Gambar 5. 6 Pengaruh Prosentase Pengembalian Investasi Terhadap Kuantitas Pemesanan



Gambar 5. 7 Pengaruh Prosentase Pengembalian Investasi Terhadap *Permissible Delay in Payment*



Gambar 5. 8 Pengaruh Prosentase Pengembalian Investasi Terhadap Total Biaya Setiap Pemain



Gambar 5. 9 Pengaruh Prosentase Pengembalian Investasi Terhadap Total Biaya Sistem Rantai Pasokan

5.2.3. Pengujian Terhadap *Financial Holding Cost* Manufaktur ($h_{m,w}$)

Salah satu komponen biaya lainnya yang dianggap berpengaruh terhadap variabel keputusan adalah *financial holding cost*. Pada manufaktur - gudang bahan baku), biaya tersebut dikeluarkan setelah penyelesaian pembayaran dilakukan oleh manufaktur kepada *supplier*. Sebaliknya, pada *supplier* biaya tersebut dikeluarkan sampai dengan pembayaran dilakukan oleh manufaktur. Sehingga lama waktu penundaan pembayaran yang diberikan salah satu pemain pada pemain satu level dibawahnya akan dipengaruhi oleh komponen biaya *financial holding cost*. Pada sub-bab ini akan dilakukan pengujian terhadap *financial holding cost* manufaktur - gudang bahan

baku dengan meningkatkan biaya yang ada sebanyak 50% secara bertahap. Hasil pegujian variasi *financial holding cost* manufaktur – gudang bahan baku secara detail dapat dilihat pada Tabel 5.6. Seluruh notasi yang digunakan dapat dilihat pada Lampiran 1.

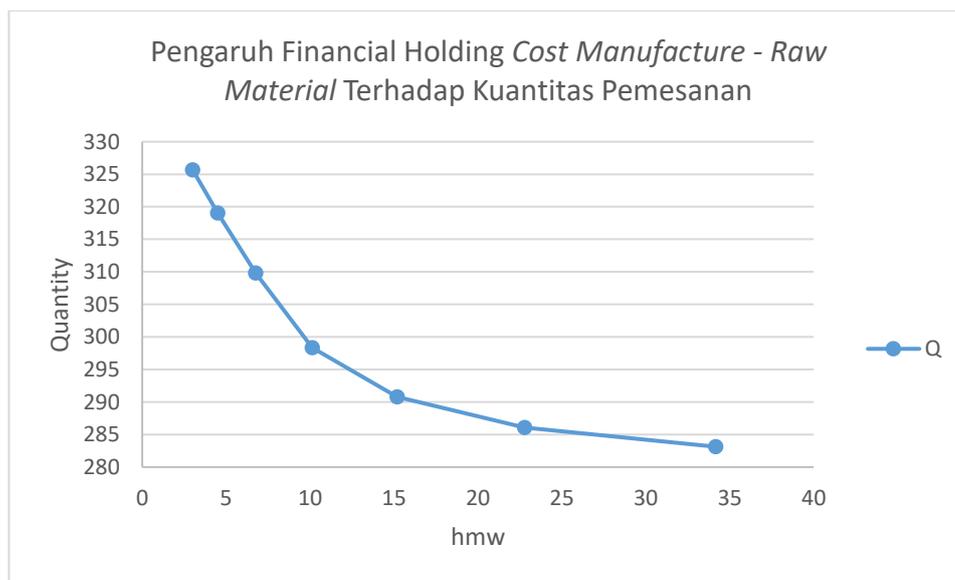
Tabel 5. 6 Pengaruh *Financial Holding Cost Manufacture – Raw Material*

$h_{m,w}$	Q	ts	τm	tm	τd	m	SC	MC	DC	DsC	TSC
3	326	0.01	0.01	0.09	0.09	652	94,233	224,662	233,316	243,218	795,429
5	319	0.01	0.01	0.09	0.09	638	94,276	224,804	233,401	243,218	795,699
7	310	0.01	0.01	0.09	0.09	620	94,339	225,012	233,524	243,218	796,093
10	298	0.02	0.02	0.08	0.08	597	94,535	225,199	233,686	243,218	796,638
15	291	0.06	0.06	0.08	0.08	582	94,877	225,174	233,799	243,218	797,068
23	286	0.08	0.08	0.08	0.08	572	95,094	225,162	233,872	243,218	797,347
34	283	0.09	0.09	0.08	0.08	566	95,235	225,157	233,919	243,218	797,529

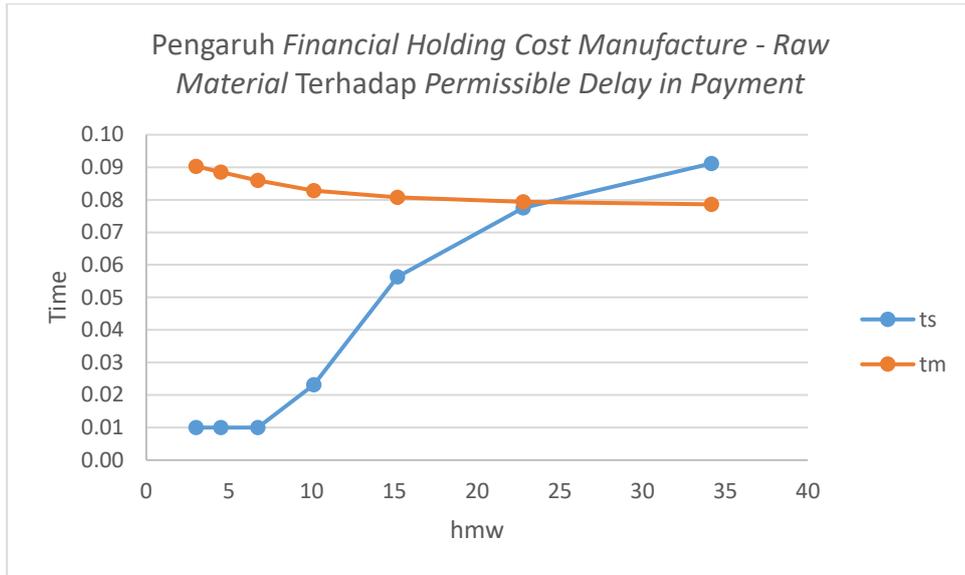
Meningkatnya *financial holding cost* manufaktur – gudang bahan baku mengakibatkan penurunan kuantitas pemesanan. Jika dilihat pada Tabel 5.6, saat terjadi peningkatan *financial holding cost* manufaktur – gudang bahan baku sebesar 50% akan mengakibatkan penurunan kuantitas pemesanan sebesar 2% dari sebelumnya. Untuk memperjelas gambaran dari penurunan kuantitas pemesanan dapat dilihat pada Gambar 5.10. Penurunan kuantitas pemesanan ini disebabkan oleh biaya yang ditanggung oleh manufaktur terus meningkat. Dapat dilihat pada tabel 5.6, saat terjadi peningkatan *financial holding cost* manufaktur – gudang bahan baku sebesar 50% akan mengakibatkan peningkatan biaya pada manufaktur itu sendiri sebesar 0.06% dari kondisi sebelumnya. Meningkatnya biaya yang harus ditanggung oleh manufaktur tersebut menyebabkan penurunan periode waktu penundaan pembayaran yang diberikan oleh manufaktur kepada distributor. Dapat dilihat pada Tabel 5.6, manufaktur menurunkan periode waktu penundaan pembayaran yang diberikan kepada distributor dari yang sebelumnya 0.09 tahun menjadi 0.08 tahun. Penurunan periode waktu penundaan pembayaran tersebut terjadi saat biaya yang ditanggung oleh manufaktur terus meningkat. Secara lebih jelas penurunan periode waktu penundaan pembayaran manufaktur dapat dilihat pada Gambar 5.11.

Dapat dilihat pada Tabel 5.6, biaya yang ditanggung oleh supplier juga meningkat sebanding dengan peningkatan biaya yang ditanggung oleh manufaktur. Jika manufaktur menurunkan periode waktu penundaan pembayaran yang diberikan kepada distributor saat biaya meningkat. Dari sisi *supplier* justru terjadi hal yang berbeda, *supplier* justru meningkatkan periode waktu penundaan pembayaran yang diberikan kepada manufaktur. Untuk menggambarkan hubungan biaya dan besarnya periode waktu penundaan pembayaran yang diberikan oleh *supplier* dan manufaktur dapat dilihat pada Gambar 5.11. Dari hasil percobaan tersebut dapat disimpulkan bahwa, *supplier* telah berusaha untuk menstabilkan kuantitas pemesanan dengan memberikan

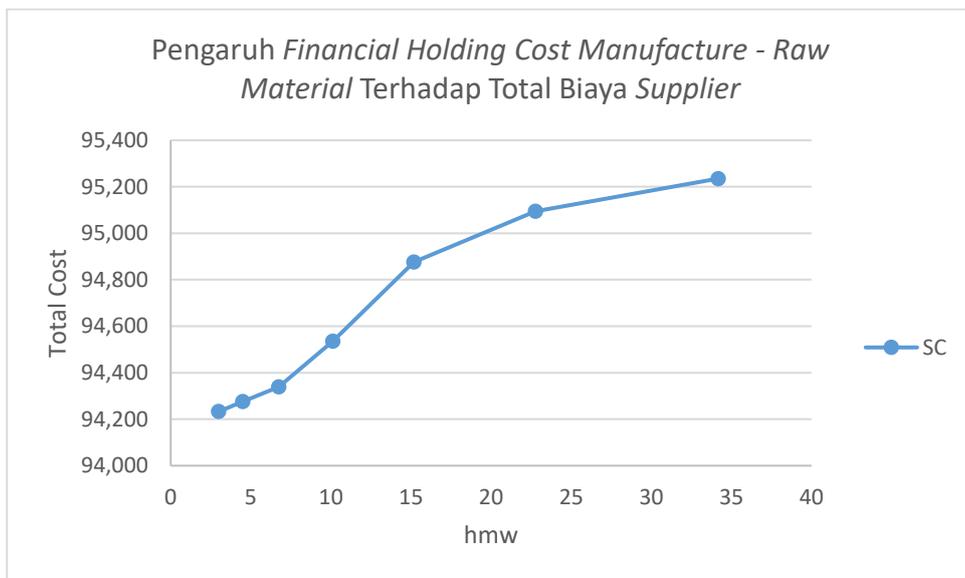
waktu penundaan pembayaran yang lebih tinggi. Namun, kuantitas pemesanan tetap terus berkurang karena biaya yang ditanggung oleh manufaktur masih terus meningkat. Peningkatan biaya tersebut menyebabkan memendeknya periode waktu penundaan pembayaran yang diberikan oleh manufaktur kepada distributor sehingga kuantitas pemesanan distributor menurun. Dapat dilihat grafik pada Gambar 5.14 total biaya rantai pasokan meningkat searah dengan meningkatnya *financial holding cost* manufaktur – gudang bahan baku. Biaya yang dikeluarkan oleh *supplier* juga terus meningkat searah dengan peningkatan *financial holding cost* manufaktur – gudang bahan baku yang terus meningkat. Hal tersebut dapat dilihat pada grafik dalam Gambar 5.12. Biaya yang dikeluarkan manufaktur, jika dilihat pada grafik dalam Gambar 5.13 awalnya biaya manufaktur meningkat namun setelahnya terjadi penurunan. Hal tersebut terjadi karena *supplier* terus memberikan tambahan batasan waktu penyelesaian pembayaran untuk manufaktur, sedangkan dilain sisi pada saat bersamaan manufaktur mengurangi waktu penundaan pembayaran yang diberikan pada distributor.



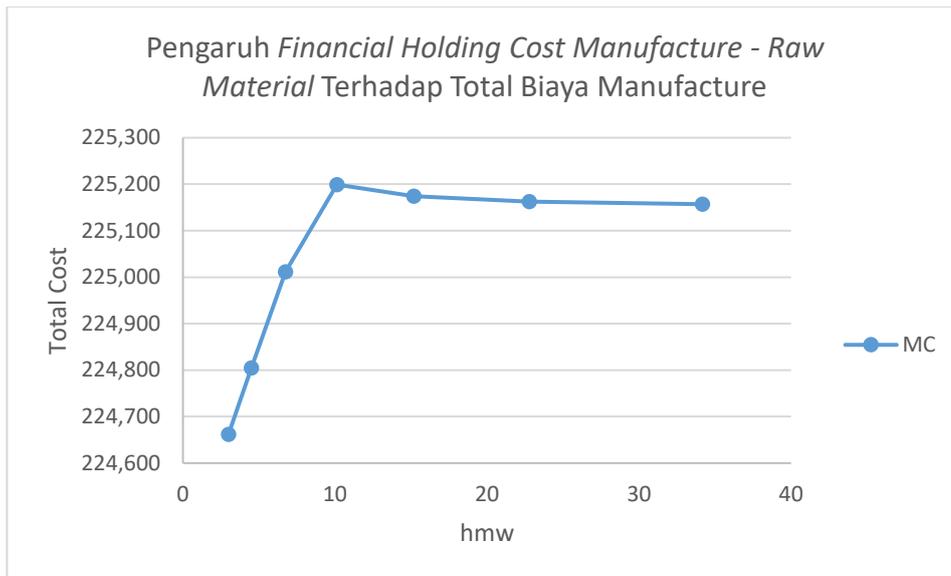
Gambar 5. 10 Pengaruh *Financial Holding Cost Manufacture – Raw Material* Terhadap Kuantitas Pemesanan



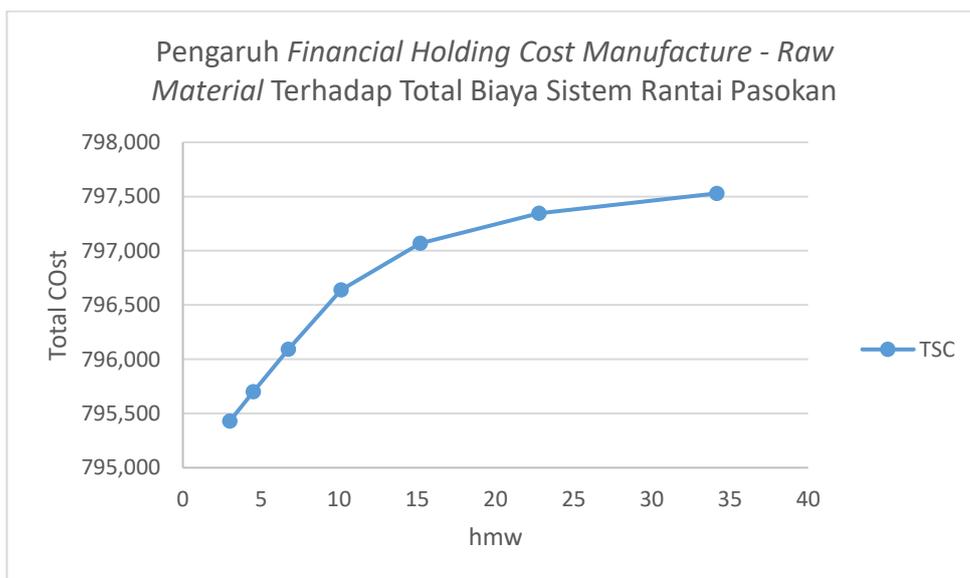
Gambar 5. 11 Pengaruh *Financial Holding Cost Manufacture – Raw Material* Terhadap *Permissible Delay in Payment*



Gambar 5. 12 Pengaruh *Financial Holding Cost Manufacture – Raw Material* Terhadap *Total Biaya Supplier*



Gambar 5.13 Pengaruh *Financial Holding Cost Manufacture – Raw Material* Terhadap Total Biaya Manufaktur



Gambar 5.14 Pengaruh *Financial Holding Cost Manufacture – Raw Material* Terhadap Total Biaya Sistem Rantai Pasokan

5.2.4. Pengujian Terhadap Permintaan *Drop-Shipper* (Q_{ds})

Model matematis yang dikembangkan dalam penelitian ini juga mempertimbangkan *drop-shipper* sebagai pemain di level paling bawah. Perbedaan permintaan *drop-shipper* yang sebenarnya dengan info permintaan yang telah diberikan sebelumnya sering kali membuat biaya pada distributor meningkat karena peningkatan stok barang. Sehingga pada model ini ditentukan suatu kontrak perjanjian kuantitas pemesanan untuk *drop-shipper*. Pada umumnya, dengan kontrak tersebut distributor menjadi pihak yang lebih diuntungkan karena sebagai pihak yang menetapkan kontrak. Namun, tidak jarang kejadian distributor tidak bisa memenuhi permintaan

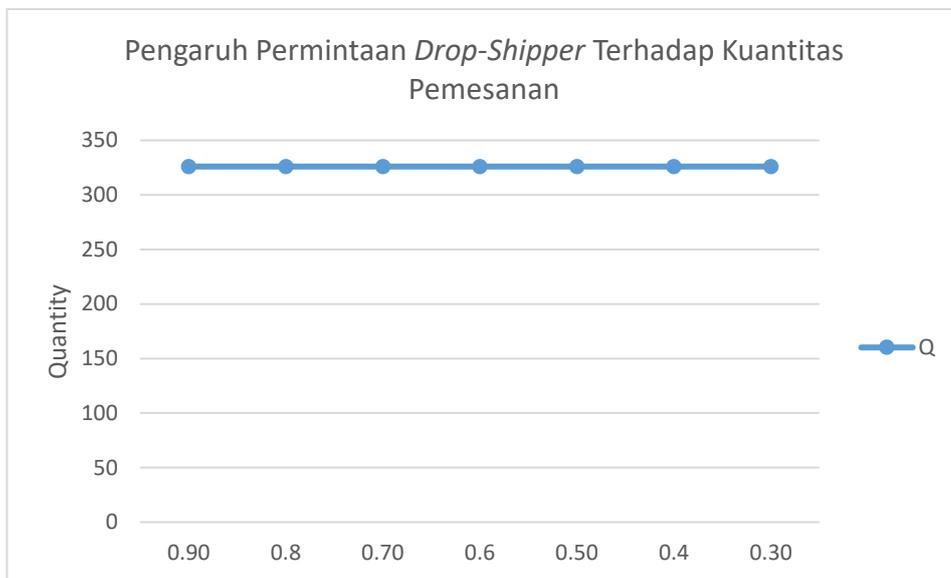
drop-shipper juga terjadi, sehingga pada keadaan seperti itu *drop-shipper* juga bisa diuntungkan oleh kontrak tersebut. Pada sub-bab ini akan dilakukan pengujian terhadap permintaan *drop-shipper* dan pengaruhnya terhadap variabel keputusan dan biaya yang terjadi. Pada kasus ini *drop-shipper* melakukan pemesanan dibawah jumlah dalam kontrak yang telah disetujui, sehingga *drop-shipper* harus menanggung beban pinalti. Pengujian dilakukan dengan memberikan variasi pada jumlah permintaan yang dilakukan *drop-shipper*. Hasil pegujian variasi permintaan *drop-shipper* secara detail dapat dilihat pada Tabel 5.7. Seluruh notasi yang digunakan dapat dilihat pada Lampiran 1.

Tabel 5. 7 Pengaruh Permintaan Drop-Shipper Terhadap Keputusan Dalam Rantai Pasokan

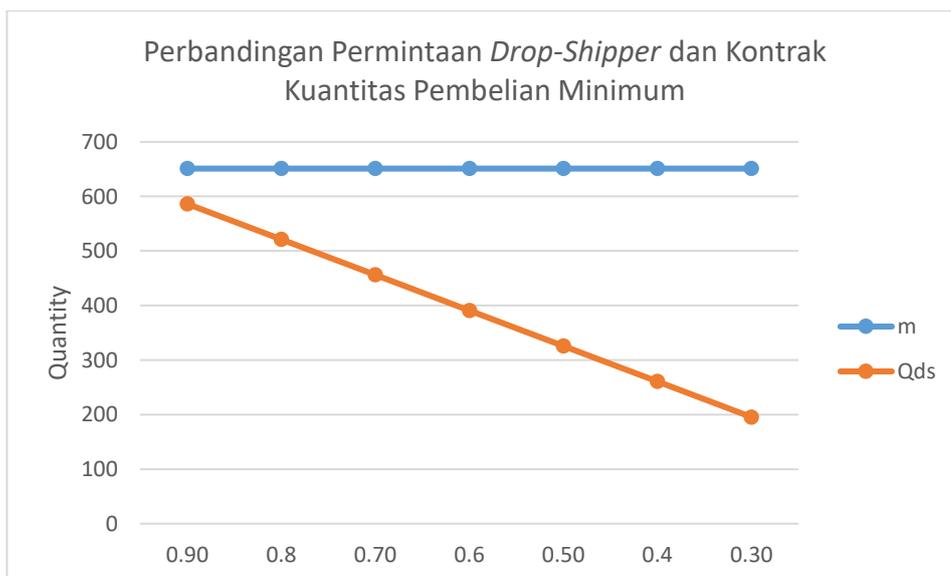
Probabilitas Permintaan	Q	m	Qds	SC	MC	DC	DsC	TSC
0.90	326	651	586	94,233	224,662	233,316	243,218	795,429
0.8	326	651	521	94,233	224,662	248,661	233,244	800,800
0.70	326	651	456	94,233	224,662	264,006	223,270	806,171
0.6	326	651	391	94,233	224,662	279,351	213,296	811,542
0.50	326	651	326	94,233	224,662	294,696	203,321	816,912
0.4	326	651	261	94,233	224,662	310,041	193,347	822,283
0.30	326	651	195	94,233	224,662	325,386	183,373	827,654

Informasi permintaan pertama yang diberikan *drop-shipper* menjadi acuan bagi semua pemain dalam rantai pasokan, sehingga meghasilkan besarnya kuantitas pembelian minimum yang menjadi acuan dalam kontrak. Dengan begitu, *drop-shipper* akan menanggung beban pinalti saat melakukan pembelian dibawah kuantitas pada kontrak dalam satu periode waktu yang disepakati. Hasil percobaan pada Tabel 5.6 menyimpulkan bahwa distributor tidak merubah kuantitas minimum dalam kontrak walaupun *drop-shipper* melakukan pemesanan jauh lebih sedikit dari kesepakatan. Terlihat saat permintaan *drop-shipper* menurun dari semula 586 menjadi 521, distributor tidak merubah kontrak yang telah disetujui yaitu sebesar 651. Hal tersebut mendukung pendapat Gan et al. (2010) yang mengatakan bahwa *supplier* (pada kasus ini adalah distributor) memiliki kekuatan negosiasi yang lebih dalam pengambilan profit dalam merancang kontrak untuk *drop-shipper*. Untuk menggambarkan pengaruh penurunan permintaan *drop-shipper* terhadap kontrak pinalti dengan distributor dapat dilihat pada Gambar 5.6. Jika pada kondisi tersebut distributor akan tetap bertahan pada kontrak yang telah disetujui, akan berbeda saat dalam kondisi distributor yang tidak dapat memenuhi permintaan *drop-shipper* sesuai kontrak yang disetujui. Dapat dilihat pada Tabel 5.6 permintaan *drop-shipper* yang tidak sesuai dengan kontrak akan meningkatkan total biaya sistem rantai pasokan secara keseluruhan. Walaupun total biaya yang dikeluarkan *drop-shipper* menurun, hal tersebut dikarenakan harga produk yang lebih mahal

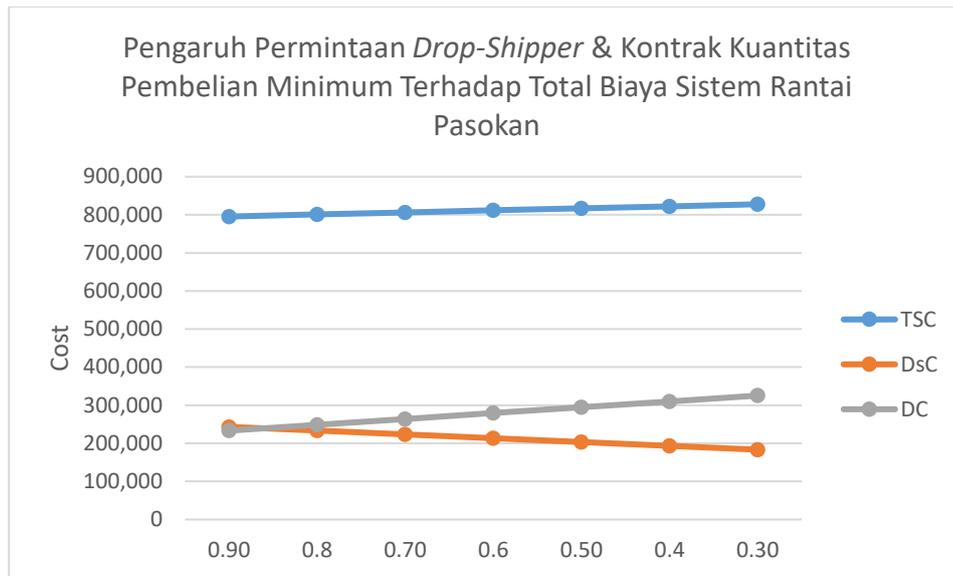
dibandingkan biaya pinalti yang harus dibayarkan oleh *drop-shipper* kepada distributor. Sehingga, total biaya yang terjadi pada *drop-shipper* terlihat berkurang walaupun order yang terjadi lebih kecil daripada kontrak yang telah disetujui. Begitu juga pada distributor, walaupun distributor tidak merubah kuantitas minimum dalam kontrak pinalti dan akan mendapatkan kompensasi dari *drop-shipper* namun total biaya yang dikeluarkan distributor terlihat meningkat. Hal tersebut juga dikarenakan beban pinalti yang diberikan oleh *drop-shipper* lebih rendah dari pada biaya pembelian suatu produk distributor kepada manufaktur. Namun jika dilihat pada total biaya sistem secara keseluruhan akan meningkat karena ada pemain yang harus membayar beban pinalti, yaitu *drop-shipper*. Sehingga, jika diakumulasikan akan menghasilkan biaya yang lebih tinggi.



Gambar 5. 15 Pengaruh Permintaan *Drop-Shipper* Terhadap Kuantitas Pemesanan



Gambar 5. 16 Perbandingan Permintaan *Drop-Shipper* dan Kontrak Kuantitas Pembelian Minimum



Gambar 5. 17 Pengaruh Permintaan *Drop-Shipper* dan Kontrak Kuantitas Pembelian Minimum Pada Total Biaya Sistem Rantai Pasokan

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB VI

ANALISA DAN PEMBAHASAN

6.1. Analisa Metode Pencarian Solusi

Telah dilakukan perhitungan numerik pada bab sebelumnya dengan bantuan *Solver* pada *software Excel* dan manual menggunakan *software Maple*. Pada uji numerik tersebut juga telah berhasil didapatkan hasil yang diharapkan. Pengujian numerik dilakukan dengan menggunakan nilai parameter numerik yang merujuk pada penelitian terdahulu. Dimana seluruh parameter numerik yang digunakan telah dijelaskan pada sub bab 5.1. Kemudian parameter numerik tersebut digunakan untuk pencarian solusi dengan model yang telah dikembangkan pada bab 3. Dengan begitu didapatkan hasil kombinasi variabel keputusan yang optimal atau memiliki biaya rantai pasokan paling minimum. Alasan perhitungan numerik dilakukan dengan bantuan dua *software* yaitu *Excel Solver* dan *Maple* adalah karena, kedua cara perhitungan tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Walaupun hasil akhir yang diperoleh relatif sama, perhitungan menggunakan *software Maple* memberikan gambaran cara pencarian solusi secara detail namun memiliki waktu komputasi yang relatif panjang. Sedangkan perhitungan dengan *Excel Solver* menghasilkan waktu komputasi yang relatif lebih singkat. Namun, dengan *Excel Solver* langkah-langkah perhitungan tidak dapat ditunjukkan secara jelas.

Sehingga, pada uji numerik dalam penelitian ini diberikan contoh perhitungan dengan *Excel Solver* dan *software Maple*. Contoh perhitungan dengan *software Maple* ditampilkan dengan tujuan menunjukkan langkah-langkah perhitungan secara detail. Kemudian, karena hasil perhitungan menggunakan *software Maple* maupun *Excel Solver* memiliki hasil yang relatif sama, sehingga akan digunakan *Excel Solver* pada perhitungan selanjutnya dan analisa sensitivitas dalam penelitian ini. Sebagai contoh nilai fungsi tujuan total biaya rantai pasokan dari percobaan perhitungan menggunakan *tools Excel Solver* maupun *software Maple* rata-rata hanya memiliki perbedaan sebesar 0.067%. Penggunaan *tools Excel Solver* dalam perhitungan selanjutnya juga dipilih dengan pertimbangan waktu komputasi yang jauh lebih singkat jika dibandingkan dengan perhitungan menggunakan *software Maple*.

Setelah dilakukan perhitungan numerik untuk setiap skenario kasus yang ada, diketahui bahwa terdapat perbedaan kombinasi variabel keputusan optimal antara masing-masing skenario kasus. Dapat dilihat pada hasil seluruh perhitungan yang telah dilakukan, terdapat perbedaan yang cukup signifikan pada nilai optimal variabel keputusan t_s , t_m , τ_m , τ_d , Q , dan m antara satu kasus dengan yang lainnya. Hasil perhitungan untuk masing-masing skenario kasus dapat dilihat pada Tabel 6.1.

Tabel 6. 1 Hasil Perhitungan Setiap Skenario Kasus

Skenario	0.0.0	1.1.1*	1.1.2	1.2.1	1.2.2	2.1.1	2.1.2	2.2.1	2.2.2
Q	296	326	326	311	311	326	326	311	311
t_s	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
τ_m	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
t_m	0.00	0.09	0.09	0.06	0.06	0.09	0.09	0.06	0.06
τ_d	0.00	0.09	0.09	0.07	0.07	0.09	0.09	0.07	0.07
m	592	651	782	621	745	651	782	621	745
TSC	796,773	795,429	810,314	801,038	815,922	795,691	810,575	801,299	816,183

Hasil perhitungan yang ada pada Tabel 6.1 menunjukkan hasil yang berbeda dari setiap skenario kasus. Solusi optimal setiap skenario kasus memiliki nilai t_s , t_m , τ_m , τ_d , Q , dan m yang berbeda. Nilai optimal variabel t_s , t_m , τ_m , τ_d , Q , dan m yang berbeda antara satu kasus dengan yang lainnya terjadi karena adanya karakteristik yang berbeda pada masing-masing skenario kasus. Namun, pada dasarnya seluruh model pada masing-masing skenario kasus memiliki tujuan yang sama dalam menghasilkan solusi. Tujuan yang dimaksud adalah minimasi total biaya rantai pasokan secara keseluruhan. Sedangkan perbedaan nilai t_s dan t_m antara masing-masing skenario kasus terjadi akibat diberikannya batasan yang harus dipenuhi dalam pencarian variabel keputusan dengan tujuan menghasilkan total biaya rantai pasokan yang minimal. Kombinasi nilai t_s , t_m akan menghasilkan nilai τ_m dan τ_d , juga nilai Q dan m .

6.2. Analisa Hasil Perhitungan Numerik

Perhitungan numerik yang dilakukan dengan bantuan dua jenis *software*, yaitu dengan *Excel Solver* dan secara manual dengan *software Maple* telah dijelaskan pada sub-bab sebelumnya. Perhitungan menggunakan *Excel Solver* dipilih dalam pengerjaan analisa dengan pertimbangan waktu komputasi yang lebih cepat. Dari hasil perhitungan baik secara manual dengan *software Maple* maupun dengan *Excel Solver* didapatkan solusi yang relatif sama. Solusi optimal sistem rantai pasokan terjadi pada saat nilai $t_s = 0.01$, $t_m = 0.09$, $\tau_m = 0.01$, $\tau_d = 0.09$, $Q = 326$, dan $m = 651$ dengan total biaya yang dikeluarkan sebesar \$795.429. Solusi optimal yang diperoleh tersebut terjadi pada kasus 1.1.1 ($0 \leq t_s = \tau_m \leq \frac{n_2 Q}{Pn_1}$ dan $0 \leq t_m = \tau_d \leq \frac{Q}{D}$ dan $m = Q > Q_{ds}$). Dimana pada eselon 1 *supplier* memberi *delay in payment* selama periode waktu t_s kepada manufaktur untuk menyelesaikan pembayaran tanpa beban bunga. Manufaktur melakukan pembayaran pada periode waktu τ_m , waktu pembayaran tersebut tepat pada akhir periode *delay in payment* yang diberikan oleh *supplier* t_s . Sehingga pada kasus ini manufaktur tidak akan memberikan kompensasi kepada *supplier* karena melakukan pembayaran tidak melebihi batas

periode *delay in payment* yang diberikan *supplier*. Pada eselon 2, manufaktur memberi *delay in payment* selama periode waktu t_m kepada distributor untuk menyelesaikan pembayaran tanpa beban bunga. Distributor melakukan pembayaran pada periode waktu τ_d , waktu pembayaran tersebut tepat pada akhir periode *delay in payment* yang diberikan oleh manufaktur t_m . Sehingga pada kasus ini distributor tidak akan memberikan kompensasi kepada manufaktur karena melakukan pembayaran tidak melebihi batas periode *delay in payment* yang diberikan manufaktur. Pada eselon 3, dalam satu siklus umum $T = \frac{n_2 Q}{D}$ permintaan distributor sama dengan komitmen kuantitas yang telah disetujui *drop-shipper* sebelumnya m . Namun permintaan *drop-shipper* Q_{ds} kurang dari komitmen yang telah disetujui sebelumnya. Sehingga pada kasus ini *drop-shipper* harus memberikan kompensasi w kepada distributor karena melakukan pemesanan dengan jumlah dibawah kontrak pinalti kuantitas yang telah disetujui sebelumnya..

Dari solusi optimal yang diperoleh terlihat bahwa *supplier* hanya memberikan manufaktur periode penundaan pembayaran selama periode waktu 0.01 tahun. Periode penundaan pembayaran yang sangat singkat diberikan oleh *supplier* kepada manufaktur terjadi karena prosentase pengembalian investasi *supplier* yang sangat rendah yaitu sebesar 1%. Berbeda dengan manufaktur yang memberikan periode penundaan pembayaran selama periode waktu 0.09 tahun kepada distributor. Periode penundaan pembayaran yang relatif panjang tersebut terjadi karena prosentase pengembalian investasi manufaktur yang cukup tinggi dibandingkan pemain lainnya, yaitu sebesar 8%. Keputusan optimal yang dipengaruhi oleh panjangnya waktu penundaan pembayaran yang diberikan oleh manufaktur kepada distributor adalah kuantitas pemesanan (Q). Semakin panjang periode waktu penundaan pembayaran yang diberikan oleh manufaktur akan semakin meningkatkan kuantitas pemesanan yang ada. Sebagai contoh, hal tersebut telah dibuktikan dalam percobaan perhitungan pada bab sebelumnya. Pada hasil percobaan tersebut diketahui saat terjadi peningkatan periode waktu penundaan pembayaran yang diberikan oleh manufaktur kepada distributor sebesar 22.22% menyebabkan peningkatan kuantitas pemesanan sebesar 7.06%.

Periode waktu penundaan pembayaran dikatakan dapat menjadi media dalam koordinasi antar pemain. Dengan penundaan pembayaran yang lebih panjang akan meningkatkan kuantitas pemesanan, sehingga persediaan akan berpindah dari hulu ke hilir. Sebagai contoh, persediaan yang berpindah dari gudang produk jadi manufaktur ke distributor. Manufaktur dapat diuntungkan dengan jumlah pembelian yang lebih banyak sedangkan distributor juga dapat diuntungkan dengan bunga investasi bebas resiko yang lebih banyak juga. Pada kontrak kuantitas pemesanan dengan *drop-shipper* (m), distributor memiliki peran lebih dalam penentuan kuantitas pemesanan tersebut. Sehingga kuantitas pemesanan tersebut menyesuaikan dengan kuantitas pemesanan

distributor kepada manufaktur. *Drop-shipper* bisa jadi harus mengeluarkan biaya tambahan karena pemesanan yang berada dibawah kontrak kuantitas. Namun dengan begitu *drop-shipper* juga akan mendapatkan kompensasi apabila distributor tidak bisa memenuhi permintaan *drop-shipper* yang masih pada batasan kontrak yang ada. Sehingga kontrak pinalti kuantitas ini juga dapat dikatakan dapat menjadi media koordinasi antar pemain dalam rantai pasokan. Setelah melakukan pengamatan pada hasil solusi optimal yang telah didapatkan. Dapat disimpulkan bahwa pemberian periode waktu penundaan pembayaran dan perancangan kontrak pinalti dapat menjadi media koordinasi yang baik diantara para pemain didalam sistem rantai pasokan yang sedang diteliti.

6.3. Analisa Pengaruh Prosentase Pengembalian Investasi Distributor Terhadap Sistem Rantai Pasokan

Telah dijelaskan sebelumnya bahwa periode penundaan pembayaran oleh *supplier* kepada manufaktur maupun manufaktur kepada distributor menjadi media koordinasi rantai pasokan pada penelitian ini. Secara umum juga telah diketahui bahwa lamanya waktu penundaan pembayaran yang diberikan oleh suatu pemain kepada pemain satu level dibawahnya akan meningkatkan kuantitas order pemain tersebut. Karena pada sistem rantai pasokan yang diteliti dalam penelitian ini distributor merupakan pemain yang berhubungan langsung dengan *drop-shipper*, yaitu sebagai pemain yang berhubungan langsung dengan pelanggan. Selain itu, distributor juga memiliki hak untuk menentukan kontrak pinalti untuk *drop-shipper*. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa distributor memegang peranan penting dalam penentuan kuantitas pemesanan. Oleh karena itu pada penelitian ini juga telah dilakukan analisa terhadap parameter prosentase pengembalian investasi distributor. Tabel 6.2 menampilkan hasil dari pengujian parameter prosentase pengembalian investasi distributor.

Tabel 6. 2 Pengaruh ROI Distributor Terhadap Total Biaya

k_d	SC	MC	DC	DsC	TSC
0.04	94,233	224,662	233,316	243,218	795,429
0.06	94,094	225,547	231,548	243,218	794,407
0.08	93,939	226,193	229,908	243,218	793,258
0.1	93,774	227,049	227,969	243,218	792,010
0.12	93,595	228,228	225,593	243,218	790,634
0.14	93,403	229,929	222,538	243,218	789,088
0.16	93,196	232,519	218,369	243,218	787,302

Dapat dilihat pada Tabel 6.2, semakin tinggi prosentase pengembalian investasi distributor maka akan membuat penurunan total biaya rantai pasokan. Sehingga, dengan kata lain peningkatan prosentase pengembalian investasi distributor akan membuat peningkatan total keuntungan sistem rantai pasokan. Jika dilihat pada Tabel 6.2, saat terjadi peningkatan prosentase pengembalian investasi distributor sebesar 50% dari 0.04 menjadi 0.06. Akan berakibat penurunan total biaya rantai pasokan sebesar 0.13%, dari \$795,429 menjadi 794,407. Setelah melakukan analisa, dapat disimpulkan penurunan total biaya rantai pasokan tersebut terjadi akibat beberapa kejadian yang berhubungan langsung dengan peningkatan prosentase pengembalian investasi distributor. Saat prosentase pengembalian investasi distributor meningkat maka akan membuat kuantitas pemesanan yang semakin tinggi juga. Sebagai contoh pada Tabel 6.3, saat terjadi peningkatan prosentase pengembalian investasi distributor sebesar 50% dari 0.04 menjadi 0.06. Akan meningkatkan kuantitas pemesanan sebesar 7.06% dari 326 unit menjadi 349 unit.

Tabel 6. 3 Pengaruh ROI Distributor Terhadap Kuantitas Pemesanan

k_d	Q
0.04	326
0.06	349
0.08	379
0.1	418
0.12	470
0.14	542
0.16	650

Peningkatan kuantitas pemesanan tersebut secara tidak langsung akan meningkatkan periode waktu penundaan pembayaran yang diberikan oleh manufaktur kepada distributor. Sebagai contoh jika dilihat pada Tabel 6.3 dan Tabel 6.4, saat kuantitas pemesanan meningkat sebesar 7.06% dari 326 unit menjadi 349 unit. Maka akan menyebabkan peningkatan periode waktu yang diberikan oleh manufaktur kepada distributor sebesar 22% dari 0.09 menjadi 0.11. Sehingga, dengan meningkatnya prosentase pengembalian investasi distributor akan mengakibatkan meningkatnya keuntungan dari berbagai pemain dalam sistem rantai pasokan tersebut.

Tabel 6. 4 Pengaruh ROI Distributor Terhadap Periode Delay in Payment dan Pembayaran

k_d	t_s	τ_m	t_m	τ_d
0.04	0.01	0.01	0.09	0.09
0.06	0.01	0.01	0.11	0.11
0.08	0.01	0.01	0.12	0.12
0.1	0.01	0.01	0.14	0.14
0.12	0.01	0.01	0.15	0.15
0.14	0.01	0.01	0.18	0.18
0.16	0.01	0.01	0.21	0.21

Beberapa variabel yang telah dijelaskan sebelumnya akan saling berhubungan satu dan lainnya. Jika dilihat dari perspektif manufaktur sebagai pemberi periode penundaan pembayaran, semakin tinggi periode penundaan pembayaran yang diberikan kepada distributor akan memicu distributor untuk membeli dalam jumlah yang lebih banyak. Hal tersebut mendukung pendapat Aljazzar et al. (2015) yang mengatakan bahwa kebijakan periode penundaan pembayaran untuk pembeli akan menarik pembeli tersebut untuk melakukan pembelian pada lot yang lebih besar. Jika dilihat dari perspektif distributor jika manufaktur memberikan periode penundaan pembayaran yang lebih lama memang akan meningkatkan kuantitas pemesanan distributor, namun hal tersebut juga akan dipengaruhi oleh prosentase pengembalian investasi distributor. Semakin tinggi prosentase pengembalian investasi distributor akan semakin menguntungkan jika distributor melakukan order dalam jumlah yang lebih besar. Hal tersebut didukung oleh pendapat Goyal (1985) yang mengatakan bahwa pembeli akan mendapatkan keuntungan dengan melakukan investasi bebas resiko selama periode penundaan pembayaran yang diberikan penjual. Karena distributor diasumsikan akan melakukan investasi pendapatan mereka sampai dengan periode penundaan pembayaran berakhir. Sehingga beberapa hal tersebut dapat meningkatkan keuntungan masing-masing pemain dalam rantai pasokan, juga keuntungan terintegrasi. Sebagai contoh, dapat dilihat kembali pada Tabel 6.1, saat tidak adanya periode waktu penundaan pembayaran dan kontrak pinalti, justru total biaya yang dikeluarkan lebih tinggi daripada kondisi optimal yang terjadi.

6.4. Analisa Pengaruh Prosentase Pengembalian Investasi Setiap Pemain Terhadap Sistem Rantai Pasokan

Pada sub bab ini akan dilakukan analisa pengaruh prosentase pengembalian investasi untuk setiap pemain terhadap solusi optimal rantai pasokan. Sebelumnya telah dilakukan analisa terhadap prosentase pengembalian investasi distributor yang menghasilkan kesimpulan bahwa

prosentase pengembalian investasi distributor berpengaruh besar terhadap total biaya rantai pasokan. Setelah mengamati lebih jauh dengan melakukan pengujian prosentase pengembalian investasi *supplier*, maufaktur dan distributor dengan berbagai kasus pada sub bab sebelumnya, didapatkan hasil yang dapat menyimpulkan berbagai hubungan. Pada Tabel 6.5 memperlihatkan bahwa dengan adanya skenario berbeda pada besarnya prosentase pengembalian investasi ketiga pemain berbeda dalam sistem rantai pasokan akan menghasilkan solusi yang cukup signifikan.

Tabel 6. 5 Pengaruh Prosentase Pengembalian Investasi Terhadap Total Biaya

No.	Skenario	TSC
1	kd > km > ks 0.09 > 0.06 > 0.03	792,945*
2	km > kd > ks 0.09 > 0.06 > 0.03	794,256
3	ks > km > kd 0.09 > 0.06 > 0.03	795,939
4	ks > kd > km 0.09 > 0.06 > 0.03	795,002
5	ks = km = kd 0.06 = 0.06 = 0.06	794,670

Dari hasil percobaan pada Tabel 6.5 dapat diketahui bahwa total biaya rantai pasokan paling minimal diperoleh saat distributor memiliki prosentase pengembalian investasi paling tinggi diantara pemain lainnya. Dapat dilihat pada Tabel 6.5, saat prosentase pengembalian investasi distributor berada diantara pemain lainnya, lebih rendah daripada manufaktur dan lebih tinggi daripada *supplier*. Hal tersebut akan membuat peningkatan total biaya sistem rantai pasokan sebesar 0.17% dari \$792,945 menjadi \$794,256. Selanjutnya telah dilakukan pengamatan lanjutan, dapat dilihat pada Tabel 6.5 saat prosentase pengembalian investasi distributor berada diantara pemain lainnya, lebih rendah daripada *supplier* namun lebih tinggi daripada manufaktur. Hal tersebut juga akan mengakibatkan peningkatan total biaya sistem rantai pasokan sebesar 0.26% dari \$792,945 menjadi 795,002. Dari beberapa percobaan tersebut dapat disimpulkan bahwa kondisi terbaik dapat tercapai apabila prosentase pengembalian investasi pemain semakin besar dari hulu ke hilir. Hasil percobaan labih lanjut yang dilakukan untuk melihat hubungan skenario kejadian tersebut dengan besarnya kuantitas pemesanan dapat dilihat pada Tabel 6.6.

Tabel 6. 6 Pengaruh Prosentase Pengembalian Investasi Terhadap Kuantitas Pemesanan

No.	Skenario	Q
1	kd > km > ks 0.09 > 0.06 > 0.03	387
2	km > kd > ks 0.09 > 0.06 > 0.03	353
3	ks > km > kd 0.09 > 0.06 > 0.03	313
4	ks > kd > km 0.09 > 0.06 > 0.03	331
5	ks = km = kd 0.06 = 0.06 = 0.06	331

Dapat dilihat pada Tabel 6.6, nilai kuantitas pemesanan terbesar terjadi saat distributor memiliki prosentase pengembalian investasi terbesar diikuti oleh manufaktur dan *supplier*. Sedangkan nilai kuantitas pemesanan terkecil terjadi saat *supplier* memiliki prosentase pengembalian investasi terbesar diikuti oleh manufaktur dan distributor. Dari hasil percobaan tersebut dapat disimpulkan kembali bahwa kondisi terbaik dapat tercapai apabila prosentase pengembalian investasi pemain semakin besar dari hulu ke hilir.

Dari beberapa rangkaian percobaan tersebut dapat disimpulkan bahwa pemegang peranan utama dalam kuantitas pemesana adalah para pemain yang berada di sisi hilir. Contohnya adalah distributor yang berperan langsung dalam membuat kontrak kuantitas pemesanan dengan *drop-shipper*. Sehingga total biaya paling minimum dari percobaan tersebut terjadi saat prosentase pengembalian investasi distributor lebih tinggi daripada manufaktur dan manufaktur lebih tinggi daripada *supplier*. Dapat dilihat pada Tabel 6.5 bahwa total keuntungan terbesar terjadi saat distributor memiliki prosentase pengembalian investasi terbesar dibandingkan pemain lainnya. Dari percobaan yang telah dilakukan dapat disimpulkan hal tersebut terjadi karena kuantitas pemesanan dan periode penundaan pembayaran yang meningkat. Sehingga masing-masing pemain dalam sistem rantai pasokan tersebut dapat memperoleh keuntungan lebih. Sedangkan total biaya tertinggi terjadi saat *supplier* memiliki prosentase pengembalian investasi tertinggi. Kuantitas pemesanan menjadi jauh berkurang karena prosentase pengembalian investasi distributor rendah, sehingga kuantitas pemesanan akan berkurang. Saat manufaktur memiliki prosentase pengembalian investasi tertinggi memberikan hasil yang lebih baik jika dibandingkan dengan *supplier* yang dengan prosentase pengembalian investasi tertinggi. Percobaan ini menyimpulkan bahwa prosentase pengembalian investasi seluruh pemain penting dalam penentuan solusi akhir, namun prosentase pengembali investasi distributor menjadi yang terpenting karena sebagai pemegang persediaan yang berada di level paling hilir. Begitu juga sebaliknya untuk *supplier* yang berada di level paling hulu justru jika prosentase pengembalian

investasi yang tinggi tidak berpengaruh besar kepada fungsi tujuan yang diharapkan, yaitu minimasi total biaya.

6.5. Analisa Pengaruh *Financial Holding Cost Manufacturer - Raw Material Terhadap Sistem Rantai Pasokan*

Parameter lainnya yang dianggap memiliki pengaruh besar terhadap solusi optimal dalam model yang diteliti adalah *financial holding cost*. Pada manufaktur – gudang bahan baku, biaya ini terjadi setelah manufaktur selesai melakukan pembayaran kepada *supplier*. Sebaliknya, pada *supplier* biaya ini terjadi saat sampai dengan manufaktur melakukan pembayaran. Sehingga besar atau kecilnya *financial holding cost* yang ditanggung oleh salah satu pemain pasti akan mempengaruhi solusi optimal yang terjadi. Sebagai contoh, jika *financial holding cost* pada *supplier* tinggi maka *supplier* tersebut akan mengeluarkan biaya yang semakin besar jika memberikan periode waktu penundaan pembayaran yang semakin lama. Dengan kondisi seperti itu, seharusnya *supplier* akan mengurangi waktu penundaan pembayaran yang diberikan kepada manufaktur dengan tujuan memperoleh keuntungan yang lebih. Jika dilihat dari sisi manufaktur, biaya yang dikeluarkan oleh manufaktur akan berkurang jika dapat menunda pembayaran selama mungkin. Sehingga jika *financial holding cost* pada manufaktur tinggi maka manufaktur akan menunda pembayaran selama-lamanya. Dengan begitu manufaktur dapat memperoleh keuntungan dari investasi yang dilakukan selama periode penundaan pembayaran yang diberikan oleh *supplier*. Karena jika pembayaran terlalu cepat dilakukan, manufaktur akan menanggung beban biaya yang lebih besar setelahnya. Telah dilakukan percobaan dengan melakukan peningkatan *financial holding cost* manufaktur – gudang bahan baku. Hasil percobaan dengan menggunakan skenario kasus 1.1.1 dapat dilihat pada Tabel 6.7, Tabel 6.8, dan Tabel 6.9.

Tabel 6. 7 Pengaruh *Financial Holding Cost Manufacture – Raw Material Terhadap Total Biaya*

$h_{m,w}$	<i>SC</i>	<i>MC</i>	<i>DC</i>	<i>DsC</i>	<i>TSC</i>
3	94,233	224,662	233,316	243,218	795,429
5	94,276	224,804	233,401	243,218	795,699
7	94,339	225,012	233,524	243,218	796,093
10	94,535	225,199	233,686	243,218	796,638
15	94,877	225,174	233,799	243,218	797,068
23	95,094	225,162	233,872	243,218	797,347
34	95,235	225,157	233,919	243,218	797,529

Melalui hasil perhitungan yang terdapat pada Tabel 6.8 dan Tabel 6.9 dapat dilihat bahwa, tingkat *financial holding cost* yang berbeda-beda pada manufaktur – gudang bahan baku akan menghasilkan solusi optimal yang berbeda juga. Jika dilihat pada Tabel 6.7, peningkatan *financial holding cost* manufaktur – gudang bahan baku secara bertahap akan menyebabkan peningkatan total biaya sistem rantai pasokan. Peningkatan *financial holding cost* manufaktur – gudang bahan baku sebesar 67% dari \$3 menjadi \$7 akan menyebabkan peningkatan total biaya sistem rantai pasokan sebesar 0.03% dari \$795,429 menjadi \$796,093. Peningkatan total biaya sistem rantai pasokan ini terus meningkat sebanding dengan peningkatan *financial holding cost* manufaktur – gudang bahan baku tersebut. Peningkatan total biaya sistem rantai pasokan tersebut terjadi karena beberapa kejadian yang saling berhubungan.

Tabel 6. 8 Pengaruh *Financial Holding Cost Manufacture – Raw Material* Terhadap Periode Delay in Payment dan Pembayaran

$h_{m,w}$	ts	τm	tm	τd
3	0.01	0.01	0.09	0.09
5	0.01	0.01	0.09	0.09
7	0.01	0.01	0.09	0.09
10	0.02	0.02	0.08	0.08
15	0.06	0.06	0.08	0.08
23	0.08	0.08	0.08	0.08
34	0.09	0.09	0.08	0.08

Jika dilihat pada Tabel 6.8, semakin tinggi *financial holding cost* manufaktur – gudang bahan baku akan membuat periode penundaan yang diberikan manufaktur kepada distributor semakin pendek. Sebagai contoh dapat dilihat pada Tabel 6.8, saat terjadi peningkatan *financial holding cost* manufaktur – gudang bahan baku dari \$7 menjadi \$10 yaitu sebesar 43%. Hal tersebut akan menyebabkan penurunan periode waktu penundaan pembayaran yang diberikan oleh manufaktur kepada distributor dari 0.09 tahun menjadi 0.08 tahun yaitu sebesar 11%. Penurunan periode waktu penundaan pembayaran tersebut dilakukan oleh manufaktur untuk meningkatkan keuntungan mereka. Pada sisi distributor, jika dilihat pada Tabel 6.9, penurunan periode penundaan pembayaran sebesar 11% akan membuat penurunan jumlah kuantitas pemesanan dari 310 menjadi 298 yaitu sebesar 4%. Hal tersebut yang mengakibatkan peningkatan total biaya sistem rantai pasokan. Dengan penurunan kuantitas pemesanan sebesar 4% menyebabkan peningkatan total biaya sistem rantai pasokan sebesar 0.07%.

Tabel 5. 8 Pengaruh *Financial Holding Cost Manufacture – Raw Material Terhadap Kuantitas Pemesanan*

$h_{m,w}$	Q
3	326
5	319
7	310
10	298
15	291
23	286
34	283

Pada manufaktur, penurunan periode waktu penundaan pembayaran kepada distributor terjadi karena manufaktur akan menanggung beban biaya yang lebih besar apabila memberikan periode penundaan pembayaran yang lebih panjang kepada distributor. Hal tersebut terjadi karena manufaktur telah menanggung beban yang lebih besar dengan adanya peningkatan *finansial holding cost* manufaktur – gudang bahan . Namun jika dilihat dari persepektif *supplier*, *supplier* ternyata justru akan menambah waktu penundaan pembayaran yang diberikan kepada manufaktur. Sebagai contoh Pada Tabel 6.8, saat terjadi peningkatan *finansial holding cost* manufaktur – gudang bahan baku dari \$7 menjadi \$10 yaitu sebesar 43%. Hal tersebut justru akan menyebabkan peningkatan periode waktu penundaan pembayaran yang diberikan oleh *supplier* kepada manufaktur dari 0.01 tahun menjadi 0.02 tahun yaitu sebesar 100%. Seluruh hal tersebut terjadi sebagai bentuk koordinasi dalam menurunkan total biaya sistem rantai pasokan secara keseluruhan. Dari hasil percobaan tersebut dapat disimpulkan bahwa, *supplier* telah berusaha membuat kuantitas pemesanan lebih stabil dengan memberikan waktu penundaan pembayaran yang lebih tinggi. Namun, kuantitas pemesanan tetap terus berkurang karena biaya yang ditanggung oleh manufaktur masih terus meningkat.

Dengan penambahan periode waktu penundaan pembayaran yang diberikan oleh *supplier* kepada manufaktur juga akan menyebabkan biaya yang ditanggung oleh manufaktur menjadi tidak terlalu besar walaupun kuantitas pemesanan akan semakin menurun. Kuantitas pemesanan terus menurun karena periode penundaan pembayaran yang lebih singkat diberikan oleh manufaktur kepada distributor. Biaya yang dikeluarkan oleh *supplier* terus meningkat searah dengan peningkatan *finansial holding cost* manufaktur – gudang bahan baku yang terus meningkat. Biaya yang dikeluarkan manufaktur awalnya meningkat namun setelahnya terjadi penurunan. Hal tersebut terjadi karena *supplier* terus memberikan tambahan batasan waktu penyelesaian pembayaran untuk manufaktur, sedangkan dilain sisi pada saat bersamaan manufaktur mengurangi waktu penundaan pembayaran yang diberikan pada distributor.

Dari hasil perhitungan tersebut dapat menggambarkan hasil koordinasi yang baik antara pemain-pemain dalam sistem rantai pasokan yang diteliti. Sehingga dapat disimpulkan kembali bahwa periode waktu penundaan pembayaran yang diberikan oleh pemain-pemain dalam sistem rantai pasokan tersebut dapat menjadi media koordinasi yang baik. Dengan begitu akan tercipta rantai pasokan yang terintegrasi diantara seluruh pemain didalamnya. Hal tersebut mendukung pendapat Jaber dan Osman (2006) yang mengatakan bahwa kebijakan penundaan pembayaran adalah salah satu pendekatan koordinasi antara pemain dalam rantai pasokan.

6.6. Analisa Sensitivitas Variabel Keputusan

Pada penelitian ini telah berhasil dibangun model integrasi rantai pasokan dengan pertimbangan periode waktu penundaan pembayaran dan kontrak pinalti bagi *drop-shipper* sebagai media koordinasi. Model dibangun kedalam delapan skenario kasus yang merepresentasikan sistem nyata yang sedang diteliti. Perhitungan numerik untuk seluruh skenario kasus telah dilakukan dalam sub bab sebelumnya. Setelah dilakukan perhitungan numerik dan sensitivitas diketahui terdapat beberapa variabel yang dinilai sensitiv terhadap perubahan solusi optimal. Beberapa variabel sensitiv yang saling berkaitan dalam menentukan variabel keputusan yang berpengaruh terhadap total biaya sistem rantai pasokan secara keseluruhan. Variabel yang dimaksud adalah variabel-variabel keputusan yang telah didapatkan melalui perhitungan numerik. Beberapa variabel tersebut antara lain adalah periode waktu penundaan pembayaran yang diberikan oleh *supplier* kepada manufaktur, periode waktu penundaan pembayaran yang diberikan oleh manufaktur kepada distributor, periode waktu pembayaran yang dilakukan oleh manufaktur kepada *supplier*, periode waktu pembayaran yang dilakukan distributor kepada manufaktur, dan, kuantitas pemesanan, dan kontrak pinalti untuk *drop-shipper*.

Dari beberapa percobaan yang telah dilakukan, periode waktu penundaan pembayaran yang diberikan oleh bagi *supplier* dan manufaktur dipengaruhi secara langsung oleh prosentase pengembalian investai pemain-pemain tersebut. Periode waktu penundaan pembayaran tersebut juga dipengaruhi oleh kuantitas pemesanan dan total biaya pemain yang berhubungan langsung dengan *supplier* dan manufaktur selaku pemain yang memberikan periode waktu penundaan pembayaran. Dari hasil beberapa percobaan yang telah dilakukan, diketahui bahwa peningkatan prosentase pengembalian investasi pembeli akan meningkatkan periode waktu penundaan pembayaran yang diberikan oleh penjual. Sebagai contoh, saat terjadi peningkatan 50% prosentase pengembalian distributor dari yang sebelumnya 0.04 menjadi 0.06. Manufaktur akan meningkatkan 22% periode waktu penundaan pembayaran yang diberikan kepada distributor dari yang sebelumnya 0.09 tahun menjadi 0.11 tahun. Hal tersebut juga disebabkan oleh peningkatan

7% kuantitas pemesanan dari yang sebelumnya 326 unit menjadi 349 unit. perubahan solusi optimal yang saling berkaitan tersebut akan menurunkan 0.13% total biaya sistem rantai pasokan dari yang sebelumnya \$795,429 menjadi \$794,407.

Prosentase pengembalian investasi distributor mempengaruhi sensitivitas solusi optimal lebih tinggi dibandingkan prosentase pengembalian investasi manufaktur dan *supplier*. Dari hasil beberapa percobaan yang telah dilakukan, diketahui bahwa tingginya prosentase pengembalian investasi distributor memiliki peranan yang lebih besar terhadap kuantitas pemesanan dan penurunan total biaya sistem rantai pasokan. Sebagai contoh, saat distributor memiliki prosentase pengembalian investasi 0.03, manufaktur 0.06, dan *supplier* 0.09 akan menghasilkan total biaya sistem rantai pasokan sebesar \$795,939. Berbeda saat distributor memiliki prosentase pengembalian investasi tertinggi sebesar 0.09, manufaktur 0.06, dan *supplier* 0.03. Dengan kondisi tersebut akan terjadi penurunan 0.38% total biaya sistem rantai pasokan menjadi \$792,945. Penurunan biaya sistem rantai pasokan tersebut sebegini besar dipengaruhi oleh kuantitas pemesanan yang terus meningkat bersamaan dengan peningkatan prosentase pengembalian investasi distributor.

Dengan hasil percobaan tersebut, dapat disimpulkan bahwa prosentase pengembalian investasi seluruh pemain memiliki pengaruh yang besar terhadap solusi akhir dan total sistem rantai pasokan. Namun prosentase pengembalian investasi distributor merupakan salah satu yang paling besar pengaruhnya. Hal tersebut secara lebih jelas telah dijelaskan pada sub bab sebelumnya. Dimana saat distributor memiliki prosentase pengembalian investasi yang tinggi, maka akan diberikan periode waktu penundaan pembayaran yang lebih panjang dari manufaktur. Hal tersebut terjadi tentunya dengan pertimbangan lainnya, yaitu kuantitas pemesanan yang lebih tinggi juga. Dengan begitu, penjual juga akan menjadi diuntungkan karena kuantitas pemesanan yang meningkat. Sedangkan pembeli juga diuntungkan dengan melakukan investasi bebas resiko atas pinjaman mereka yang diberikan oleh penjual. Hal tersebut didukung oleh pendapat Goyal (1985) yang mengatakan bahwa pembeli akan mendapatkan keuntungan dengan melakukan investasi bebas resiko selama periode penundaan pembayaran yang diberikan penjual.

Dari percobaan yang telah dilakukan sebelumnya, periode pembayaran yang dilakukan oleh manufaktur kepada *supplier* dan distributor kepada manufaktur terlihat sangat dipengaruhi oleh *financial holding cost* pemain-pemain tersebut. Analisa yang telah dilakukan pada bab sebelumnya menjelaskan bahwa *financial holding cost* suatu pemain berpengaruh besar terhadap solusi optimal periode pembayaran pemain tersebut. Dari percobaan yang telah dilakukan, jika dilihat dari perspektif penjual dapat disimpulkan saat *financial holding cost* suatu pemain tinggi maka pemain tersebut tidak akan memberikan periode waktu penundaan pembayaran yang

panjang untuk pemain dibawahnya. Sebaliknya jika dilihat dari perspektif pembeli, saat suatu pemain memiliki financial holding cost yang tinggi maka pemain tersebut akan menginginkan periode penundaan pembayaran yang lebih panjang dari pemain satu level diatasnya. Hal tersebut terjadi untuk menurunkan total biaya pada pemain yang memiliki beban biaya besar. Sehingga harus ada titik optimal yang terjadi. Walaupun dengan begitu akan meningkatkan biaya yang terjadi pada pemain lainnya, tetapi hal tersebut akan menstabilkan total biaya rantai pasokan secara keseluruhan. Sebagai contoh, saat terjadi peningkatan 43% *financial holding cost* manufaktur dari \$7 menjadi \$10. Hal tersebut akan memperpanjang 100% periode pembayaran manufaktur dari 0.01 tahun menjadi 0.02 tahun. *Supplier* akan memberikan perpanjangan periode waktu penundaan pembayaran dengan tujuan meringankan beban manufaktur. Tujuan utama dari perpanjangan waktu pengembalian investasi supplier kepada manufaktur adalah untuk mendapatkan kuantitas permintaan yang stabil. Pada saat bersamaan manufaktur justru memberikan periode penundaan pembayaran yang lebih pendek kepada distributor. Hal tersebut terjadi untuk menurunkan biaya rantai pasok secara keseluruhan walaupun beberapa pemain menjadi dirugikan dengan terjadinya peningkatan biaya. Dengan begitu dapat disimpulkan bahwa periode penundaan pembayaran dapat menjadi media koordinasi dalam sistem rantai pasokan. Hal tersebut juga mendukung pendapat Jaber dan Osman (2006) yang mengatakan bahwa kebijakan penundaan pembayaran adalah salah satu pendekatan koordinasi antara pemain dalam rantai pasokan.

Periode waktu penundaan pembayaran optimal yang diberikan oleh *supplier* maupun manufaktur kepada pemain satu level dibawahnya berpengaruh terhadap kuantitas pemesanan yang terjadi. Menurut percobaan yang telah dilakukan, semakin tinggi periode waktu penundaan pembayaran yang diberikan akan menghasilkan kuantitas pemesanan yang lebih tinggi. Sebagai contoh, saat terjadi peningkatan 33% periode waktu penundaan pembayaran yang diberikan oleh manufaktur kepada distributor dari 0.09 tahun menjadi 0.12 tahun. Hal tersebut akan menyebabkan peningkatan 16% kuantitas pemesanan dari yang sebelumnya 326 unit menjadi 379 unit. Dengan lebih panjangnya waktu penundaan pembayaran maka pembeli sebagai pemain yang mendapat keringanan akan melakukan pemesanan diatas kuantitas pemesanan optimal yang sebenarnya. Hal tersebut terjadi karena, dengan adanya keringan tersebut akan menghasilkan keuntungan tertentu pada pembeli. Sebagai contoh saat distributor mendapat periode waktu penundaan pembayaran dari manufaktur, maka distributor dapat menginvestasikan pendapatan mereka sehingga memperoleh keuntungan lebih. Hal tersebut mendukung pendapat Aljazzar et al. (2015) yang mengatakan bahwa dengan penjual memberikan kebijakan tersebut akan menarik pembeli untuk

membeli pada lot yang lebih besar dari jumlah pemesanan ekonomis mereka. Dengan meningkatnya kuantitas order pembeli, maka persediaan akan berpindah kepada pembeli.

Tingginya kuantitas pemesanan bukan hanya dipengaruhi oleh periode waktu penundaan pembayaran, terdapat variabel-variabel lain yang juga mempengaruhi keputusan tersebut. Salah satunya adalah tingkat permintaan. Diasumsikan distributor mendapat informasi permintaan dari *drop-shipper* sebagai pemain yang berhubungan langsung dengan pelanggan. Sehingga kuantitas pemesanan optimal akan digunakan dalam menyusun kontrak penalti kuantitas untuk *drop-shipper*. Dengan adanya kontrak penalti tersebut akan memastikan *supply* dan *demand* dari kedua pemain. Saat distributor tidak dapat memenuhi permintaan *drop-shipper* yang sesuai dengan kontrak maka distributor harus memberikan kompensasi kepada *drop-shipper*. Begitu juga sebaliknya, jika *drop-shipper* tidak melakukan pemesanan sebanyak kuantitas pemesanan yang telah disetujui dengan distributor maka *drop-shipper* harus memberikan kompensasi kepada distributor. Sebagai contoh, saat permintaan *drop-shipper* hanya memenuhi 80% kuantitas kontrak yang semestinya akan membuat peningkatan 0.68% total biaya sistem rantai pasokan secara keseluruhan. Peningkatan biaya tersebut terjadi karena *drop-shipper* harus menanggung beban penalti kepada distributor.

Besarnya kontrak penalti akan menyesuaikan kepada kuantitas pemesanan yang diperoleh berdasarkan beberapa variabel yang saling berhubungan. Variabel-variabel yang berhubungan dengan kuantitas pemesanan telah dijelaskan sebelumnya, yaitu periode waktu penundaan pembayaran oleh penjual dan periode waktu pembayaran oleh pembeli. Selain itu, kuantitas pemesanan juga secara langsung dipengaruhi oleh informasi permintaan pasar yang didapatkan dari *drop-shipper* selaku pemain yang berhubungan langsung dengan pelanggan. Sehingga seluruh variabel yang telah dijelaskan pada sub bab ini dapat dinyatakan sebagai variabel kritis yang harus dicari nilai optimalnya dengan tujuan mendapatkan total biaya sistem rantai pasokan secara keseluruhan yang paling minimal.

6.7. Analisa Model Yang Telah Dikembangkan

Model yang telah dikembangkan pada penelitian ini adalah gambaran dari permasalahan sistem nyata yang terjadi. Dimana dalam suatu sistem rantai pasokan tidak jarang seorang penjual akan memberikan periode waktu penundaan pembayaran kepada pembeli dengan berbagai alasan. Melalui studi literatur yang telah dilakukan oleh penulis, beberapa peneliti mengatakan bahwa pemberian penundaan pembayaran adalah salah satu media koordinasi antar pemain dalam sistem rantai pasokan. Di sisi lainnya, penulis melihat pada keunikan tren perdagangan era sekarang ini. Dimana seorang penjual bisa saja tidak memiliki persediaan dalam memenuhi permintaan

pelanggannya. Sehingga penjual tersebut hanya bergantung kepada persediaan *supplier* mereka, pada umumnya penjual dengan kondisi tersebut dikenal dengan sebutan *drop-shipper*. Dikarenakan tidak memiliki persediaan dan akan melakukan pemesanan pada *supplier* setelah mereka mendapatkan pesanan dari pelanggan, maka keberhasilan pemenuhan permintaan akan bergantung kepada *supplier*. Di lain sisi permintaan yang tidak stabil akan menyulitkan *supplier* dalam melakukan peramalan permintaan, sehingga perlu dirancang suatu media koordinasi antar dua pemain dengan kondisi yang berbeda tersebut. Menurut studi literatur yang telah dilakukan sebelumnya, kontrak diantara *supplier* dan *drop-shipper* dapat menjadi media koordinasi yang menguntungkan antara kedua pemain. Sehingga, model yang dikembangkan bertujuan untuk mengintegrasikan sistem rantai pasokan dengan kebijakan periode waktu penundaan pembayaran dan kontrak pinalti pada *drop-shipper*.

Sistem rantai pasokan yang akan diteliti pada penelitian ini beranggotakan empat pemain, secara berurutan dari hulu ke hilir yaitu *supplier*, manufaktur, distributor, dan *drop-shipper*. Model integrasi yang diusulkan bertujuan untuk meminimalkan total biaya dalam sistem rantai pasokan tersebut. Media koordinasi yang digunakan adalah periode waktu penundaan pembayaran pada eselon satu dan dua, juga kontrak pinalti *drop-shipper* pada eselon 3, tidak jarang masing-masing pemain akan memiliki keuntungan juga kerugian sesuai dengan kondisi yang terjadi. Namun hal tersebut terjadi dengan tujuan menurunkan total biaya rantai pasokan secara keseluruhan. Pada integrasi yang baik tidak jarang salah satu pemain akan rela menderita sedikit kerugian untuk mendapatkan keuntungan dari sisi lainnya.

Melalui percobaan yang telah dilakukan, penulis akan mendeskripsikan keuntungan dan kerugian masing-masing pemain dengan model integrasi yang diusulkan. Pada *supplier*, menurut percobaan yang dilakukan saat terjadi peningkatan biaya pemain satu level dibawahnya (manufaktur). *Supplier* akan mencoba untuk memperpanjang periode waktu penundaan pembayaran yang diberikan kepada manufaktur. Dengan begitu manufaktur tidak akan menurunkan permintaan secara signifikan. Hal tersebut menjadi keuntungan untuk *supplier*, walaupun *supplier* juga menderita kerugian karena memberikan periode waktu penundaan pembayaran yang lebih panjang. Namun berbeda saat *supplier* memiliki peningkatan biaya yang tinggi, *supplier* akan mencoba memperpendek periode waktu penundaan pembayaran tersebut.

Pada manufaktur, menurut percobaan yang dilakukan saat terjadi peningkatan biaya pemain satu level dibawahnya (distributor). Manufaktur juga akan memberikan periode waktu penundaan pembayaran yang lebih panjang dengan keuntungan mendapatkan stabilitas permintaan. Saat manufaktur memiliki peningkatan biaya yang tinggi, manufaktur akan

memperpendek waktu penundaan pembayaran yang diberikan pada distributor. Dilain sisi *supplier* akan berusaha memberikan waktu penundaan pembayaran yang lebih panjang kepada manufaktur.

Pada distributor, menurut percobaan yang dilakukan saat terjadi peningkatan biaya pemain satu level di atasnya (manufaktur). Distributor akan berusaha memberikan permintaan lebih banyak, dengan begitu dapat akan menguntungkan bagi manufaktur. Dilain sisi distributor juga diuntungkan dengan periode waktu penundaan pembayaran yang diberikan oleh manufaktur.

Saat *drop-shipper* pada eselon tiga tidak dapat melakukan pemesanan sesuai kontrak yang telah disetujui maka harus memberikan kompensasi kepada distributor. Walaupun hal tersebut merugikan bagi *drop-shipper* namun dengan begitu *drop-shipper* mendapatkan kepastian pasokan dari distributor. Sehingga saat distributor tidak dapat memenuhi permintaan *drop-shipper* yang sesuai dengan kontrak, maka distributor harus memberi kompensasi kepada *drop-shipper*. Dengan pembahasan singkat tersebut dapat disimpulkan bahwa periode waktu penundaan pembayaran dan kontrak penalti permintaan dapat menjadi media kolaborasi pada suatu sistem rantai pasokan.

Model yang telah dikembangkan memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu. Pada model yang dikembangkan dalam penelitian ini telah mampu mengakomodir koordinasi antara beberapa pemain dalam sistem rantai pasokan tiga eselon atau dengan kata lain empat level pemain. Dengan begitu dapat dilakukan pengambilan keputusan yang terintegrasi antara seluruh pemain dalam rantai pasokan dengan tujuan minimasi total biaya rantai pasokan secara keseluruhan. Model yang dikembangkan dalam penelitian ini juga mengkombinasikan lebih dari satu media koordinasi antar pemain dalam satu sistem rantai pasokan. Pada penelitian terdahulu, sebagian besar peneliti menggunakan satu media koordinasi yang sama dalam mengkoordinasikan rantai pasokan dua eselon. Namun, model yang dikembangkan dalam penelitian ini juga disadari masih memiliki kekurangan yang harus diperbaiki pada penelitian-penelitian selanjutnya. Model yang dikembangkan dalam penelitian ini mengasumsikan pola permintaan deterministik, walaupun dalam kenyataannya pola permintaan seperti ini sangat jarang ditemui. Sehingga untuk dapat lebih merepresentasikan sistem nyata diharapkan penelitian ini dapat dikembangkan untuk pola permintaan probabilistik. Pada penelitian ini, model dikembangkan kedalam delapan skenario kasus yang mewakili sistem nyata menurut penulis. Skenario kasus tersebut dapat dikembangkan kembali dalam variasi kejadian lainnya yang mungkin terjadi. Kekurangan-kekurangan dalam penelitian ini diharapkan dapat menjadi ide untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini penulis akan mengambil kesimpulan atas seluruh hasil pengolahan data dan analisa yang telah dilakukan pada bab sebelumnya. Kesimpulan pada bab ini bertujuan untuk menjawab seluruh tujuan penelitian yang juga telah dijabarkan pada bab sebelumnya. Selain kesimpulan, pada bab ini penulis juga akan memberikan saran untuk penelitian selanjutnya. Sehingga harapannya penelitian ini dapat dikembangkan lagi pada penelitian yang akan datang dan dapat menghasilkan lebih banyak manfaat lainnya.

7.1. Kesimpulan

Berdasarkan model yang telah dikembangkan serta perhitungan numerik dan analisa yang telah dilakukan oleh penulis, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Model yang dihasilkan pada penelitian ini mampu mengakomodasi sistem rantai pasokan tiga eselon yang terintegrasi. Pada eselon satu dan dua, koordinasi antar pemain dilakukan dengan pertimbangan periode waktu penundaan pembayaran atau *permissible delay in payment*. Sedangkan pada eselon tiga yang salah satu pemainnya merupakan *drop-shipper*, koordinasi antar pemain dilakukan dengan pertimbangan kontrak pinalti. Penulis membentuk model ke dalam delapan skenario kasus yang mungkin terjadi pada sistem rantai pasokan yang sedang diteliti. Perhitungan numerik yang dilakukan pada model berhasil menghasilkan satu skenario terbaik dengan total biaya paling minimal.
2. Koordinasi antar pemain dalam rantai pasokan dengan pertimbangan periode waktu penundaan pembayaran berhasil mengintegrasikan rantai pasokan dengan cukup baik. Hal tersebut dapat terlihat dari total biaya sistem rantai pasokan secara keseluruhan yang lebih rendah jika mempertimbangkan periode waktu penundaan pembayaran daripada tidak mempertimbangkan periode waktu penundaan pembayaran. Dari data yang digunakan, diperoleh hasil periode waktu penundaan pembayaran optimal pada sistem rantai pasokan yang sedang diteliti. *Supplier* memberikan 0.01 tahun periode waktu penundaan pembayaran kepada manufaktur dan manufaktur memberikan 0.09 tahun periode waktu penundaan pembayaran kepada distributor. Menurut analisa yang telah dilakukan, panjang atau singkatnya periode waktu penundaan pembayaran dipengaruhi secara signifikan oleh prosentase pengembalian investasi (*return of investment* - ROI) pemain-pemain yang terlibat. Jika pembeli memiliki prosentase pengembalian investasi yang cukup tinggi dapat memaksa penjual memberikan periode waktu penundaan pembayaran yang lebih lama.

Kondisi tersebut menjadi layak untuk penjual dengan keuntungan jumlah kuantitas pemesanan yang lebih tinggi dari pembeli. Hal tersebut didukung oleh hasil analisa sensitivitas, saat ROI distributor 0.04 akan menghasilkan periode penundaan pembayaran 0.09 tahun dari manufaktur dengan ukuran pemesanan 326 unit. sedangkan saat ROI distributor 0.08 akan menghasilkan periode penundaan pembayaran 0.12 tahun dari manufaktur dengan ukuran lot pemesanan 379 satuan unit.

3. Dengan diberikannya periode waktu penundaan pembayaran oleh *supplier* dan manufaktur, maka pemain satu level dibawahnya akan memiliki keuntungan lebih dengan menginvestasikan pendapatan mereka sampai dengan pembayaran dilakukan. Perhitungan numerik yang telah dilakukan menghasilkan kondisi optimal dengan total biaya paling minimum. Dimana manufaktur melakukan pembayaran tepat pada akhir periode waktu yang diberikan oleh *supplier*, yaitu pada 0.01 tahun. Begitu juga pada distributor, pembayaran dilakukan tepat pada akhir periode waktu yang diberikan oleh manufaktur, yaitu pada 0.09 tahun. Menurut analisa yang telah dilakukan, panjang atau singkatnya periode waktu pembayaran oleh pembeli dipengaruhi secara signifikan oleh *financial holding cost* pemain-pemain yang terlibat. Jika pembeli memiliki *financial holding cost* yang lebih tinggi maka pembeli akan berusaha menunda pembayaran selama mungkin. Hal tersebut didukung oleh hasil analisa sensitivitas, saat *supplier* memberikan waktu penundaan pembayaran selama 0.01 tahun maka manufaktur akan membayar di akhir periode tersebut. Selanjutnya saat *supplier* meningkatkan waktu penundaan pembayaran menjadi 0.09 tahun, manufaktur juga tetap akan melakukan pembayaran di akhir periode tersebut. Disisi lain jika penjual memiliki *financial holding cost* yang tinggi maka penjual akan berusaha mempersingkat periode waktu penundaan pembayaran yang akan diberikan kepada pembeli. Hal tersebut didukung oleh hasil analisa sensitivitas, saat *financial holding cost* manufaktur \$3 akan menghasilkan periode penundaan pembayaran 0.09 tahun. Namun saat *financial holding cost* manufaktur meningkat menjadi \$10 maka manufaktur akan menurunkan periode waktu penundaan pembayaran sebesar 0.08 tahun. Dengan adanya koordinasi antara para pemain dalam sistem rantai pasokan terintegrasi yang diteliti. Dapat diambil kesimpulan sangat memungkinkan penjual memberi periode penundaan pembayaran yang lebih panjang jika pembeli memiliki *financial holding cost* yang tinggi. Hal tersebut didukung oleh hasil analisa sensitivitas, saat *financial holding cost* manufaktur \$3 akan menghasilkan periode penundaan pembayaran 0.01 tahun oleh *supplier*. Namun saat *financial holding cost* manufaktur meningkat menjadi \$15 maka *supplier* akan meningkatkan periode waktu penundaan pembayaran menjadi 0.06. Hal tersebut dilakukan oleh *supplier* untuk mempertahankan kuantitas pemesanan yang

tinggi dan menjaga total biaya sistem rantai pasokan tetap minimal sesuai dengan tujuan utama integrasi rantai pasokan.

4. Pada model yang telah dibangun diasumsikan bahwa tingkat permintaan diketahui dari informasi yang diberikan oleh *drop-shipper* kepada distributor. Sehingga tingkat permintaan tersebut akan digunakan dalam penentuan periode waktu penundaan pembayaran dan periode pembayaran masing-masing pemain, juga kuantitas pemesanan dan kuantitas dalam kontrak pinalti. Perhitungan numerik yang telah dilakukan berhasil mendapatkan kuantitas pemesana yang optimal. Kuantitas pemesanan yang optimal tersebut adalah sebesar 326 unit. dengan kuantitas pemesanan tersebut berhasil memperoleh total biaya paling minimal dalam sistem rantai paskan secara keseluruhan. Kuantitas pemesanan distributor berpengaruh terhadap kuantitas pemesanan maupun produksi pemain pada level di atasnya. Kuantitas pemesanan optimal tersebut dipengaruhi secara signifikan oleh periode waktu penundaan pembayaran yang diberikan oleh penjual. Semakin panjang periode waktu penundaan pembayaran yang diberikan oleh penjual akan memaksa pembeli untuk melakukan pemesanan diatas kuantitas optimal pembeli tersebut. Karena, pembeli akan memperoleh keuntungan lebih dengan mendapatkan periode waktu penundaan pembayaran yang lebih panjang. Kuantitas pemesanan yang berdasarkan informasi tingkat permintaan *drop-shipper* tersebut menjadi acuan distributor dalam menentukan kuantitas dalam rancangan kontra pinalti. Kuantitas dalam kontrak pinalti yang harus disetujui oleh *drop-shipper* adalah sebesar 651 unit selama satu periode panjang siklus umum n_2Q/D . Menurut analisa yang telah dilakukan sebelumnya, menyimpulkan bahwa manufaktur akan bertahan pada kuantitas sesuai kontrak walaupun permintaan *drop-shipper* terus menurun. Hal tersebut harus dilakukan oleh distributor untuk mempertahankan keuntungan mereka. Dimana *drop-shipper* harus menanggung biaya yang semakin meningkat karena persediaan yang berlebih. Hal tersebut didukung oleh hasil analisa sensitivitas. Saat distributor telah menetapkan kontrak kuantitas pemesanan sebanyak 651 unit, dan drop shipper tidak dapat melakukan permintaan sebanyak kontrak tersebut. Distributor tetap bertahan di angka tersebut, hal tersebut dilakukan distributor untuk menjaga keuntungan pemain-pemain lainnya didalam rantai pasokan.

7.2. Saran

Model yang telah dikembangkan dalam penelitian ini masih memungkinkan untuk dikembangkan kembali dikemudian hari. Adapun saran yang dapat penulis berikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. Dalam pengaplikasian periode waktu penundaan pembayaran perlu dipertimbangkan kompensasi apabila pembeli melakukan pembayaran lebih cepat daripada akhir periode waktu penundaan pembayaran yang diberikan. Sehingga model pada penelitian ini layak untuk dikembangkan dengan pertimbangan tersebut.
2. Dalam penelitian ini diasumsikan permintaan diketahui secara diskrit. Sedangkan dalam kondisi nyata tipe permintaan seperti itu hampir tidak pernah ditemui. Sehingga model pada penelitian ini dapat dikembangkan untuk tipe permintaan probabilistik.
3. Dalam sistem nyata tidak jarang penjual akan memberikan diskon kepada pembeli. Diskon akan diberikan saat pembeli melakukan pembelian dengan kuantitas tertentu. Model yang telah dibangun dalam penelitian ini dapat ditambahkan pertimbangan diskon yang diberikan oleh penjual kepada pembeli jika melakukan pembelian dengan jumlah tertentu.
4. Dalam kenyataannya sistem persediaan antara satu pemain dan pemain lainnya dapat berbeda. Pada penelitian ini seluruh pemain yang memiliki persediaan menggunakan sistem persediaan yang sama. Dalam penelitian selanjutnya dapat melakukan kombinasi sistem persediaan masing-masing pemain dalam sistem rantai pasokan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aljazzar, S. M., Jaber, M. Y., & Goyal, S. K. (2015). Coordination of a two-level supply chain (manufacturer–retailer) with permissible delay in payments. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*, 3(3), 176-188.
- Aljazzar, S. M., Jaber, M. Y., & Moussawi-Haidar, L. (2016). Coordination of a three-level supply chain (supplier–manufacturer–retailer) with permissible delay in payments. *Applied Mathematical Modelling*, 40(21–22), 9594-9614.
- Chang, M.-H., Sandborn, P., Pecht, M., Yung, W. K. C., & Wang, W. (2015). A return on investment analysis of applying health monitoring to LED lighting systems. *Microelectronics Reliability*, 55(3–4), 527-537.
- Chiang, W. K., & Feng, Y. (2010). Retailer or e-tailer? Strategic pricing and economic-lot-size decisions in a competitive supply chain with drop-shipping. *Journal of the Operational Research Society*, 61(11), 1645-1653.
- Chung, K.-J., Goyal, S. K., & Huang, Y.-F. (2005). The optimal inventory policies under permissible delay in payments depending on the ordering quantity. *International Journal of Production Economics*, 95(2), 203-213.
- Edirisinghe, C., & Atkins, D. (2017). Lower bounding inventory allocations for risk pooling in two-echelon supply chains. *International Journal of Production Economics*, 187, 159-167.
- Gan, X., Sethi, S. P., & Zhou, J. (2010). Commitment-penalty contracts in drop-shipping supply chains with asymmetric demand information. *European Journal of Operational Research*, 204(3), 449-462.
- Glock, C. H. (2012). The joint economic lot size problem: A review. *International Journal of Production Economics*, 135(2), 671-686.
- Goyal, S. K. (1985). Economic Order Quantity under Conditions of Permissible Delay in Payments. *The Journal of the Operational Research Society*, 36(4), 335-338.
- Goyal, S. K., Teng, J.-T., & Chang, C.-T. (2007). Optimal ordering policies when the supplier provides a progressive interest scheme. *European Journal of Operational Research*, 179(2), 404-413.
- Heydari, J., Mahmoodi, M., & Taleizadeh, A. A. (2016). Lead time aggregation: A three-echelon supply chain model. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 89, 215-233.
- Hill, R. M. (1997). The single-vendor single-buyer integrated production-inventory model with a generalised policy. *European Journal of Operational Research*, 97(3), 493-499.

- Hu, B., & Feng, Y. (2017). Optimization and coordination of supply chain with revenue sharing contracts and service requirement under supply and demand uncertainty. *International Journal of Production Economics*, 183, Part A, 185-193.
- Hu, F., & Liu, D. (2010). Optimal replenishment policy for the EPQ model with permissible delay in payments and allowable shortages. *Applied Mathematical Modelling*, 34(10), 3108-3117.
- Huang, Y.-F. (2004). Optimal retailer's replenishment policy for the EPQ model under the supplier's trade credit policy. *Production Planning & Control*, 15(1), 27-33.
- Iyer, G., Narasimhan, C., & Niraj, R. (2007). Information and Inventory in Distribution Channels. *Management Science*, 53(10), 1551-1561.
- Jaber, M. Y., Bonney, M., & Guiffrida, A. L. (2010). Coordinating a three-level supply chain with learning-based continuous improvement. *International Journal of Production Economics*, 127(1), 27-38.
- Jaber, M. Y., & Osman, I. H. (2006). Coordinating a two-level supply chain with delay in payments and profit sharing. *Computers & Industrial Engineering*, 50(4), 385-400.
- Khouja, M., & Stylianou, A. C. (2009). A inventory model with a drop-shipping option for e-business. *Omega*, 37(4), 896-908.
- Marchi, B., Ries, J. M., Zanoni, S., & Glock, C. H. (2016). A joint economic lot size model with financial collaboration and uncertain investment opportunity. *International Journal of Production Economics*, 176, 170-182.
- Moussawi-Haidar, L., Dbouk, W., Jaber, M. Y., & Osman, I. H. (2014). Coordinating a three-level supply chain with delay in payments and a discounted interest rate. *Computers & Industrial Engineering*, 69, 29-42.
- Nurshanti, I. (2011). *Kebijakan Persediaan Terintegrasi Pada Sistem Dual Sales Channel Mempertimbangkan Penundaan Pembayaran*. (Master), Sepuluh Nopember Institute of Technology, Surabaya.
- Rabinovich, E., Rungtusanatham, M., & Laseter, T. M. (2008). Physical distribution service performance and Internet retailer margins: The drop-shipping context. *Journal of Operations Management*, 26(6), 767-780.
- Seuring, S. (2004). Integrated chain management and supply chain management comparative analysis and illustrative cases. *Journal of Cleaner Production*, 12(8-10), 1059-1071.
- Stadtler, H. (2005). Supply chain management and advanced planning—basics, overview and challenges. *European Journal of Operational Research*, 163(3), 575-588.

- Ye, F., Li, Y., & Yang, Q. (2016). Designing coordination contract for biofuel supply chain in China. *Resources, Conservation and Recycling*.
- Yu, D. Z., Cheong, T., & Sun, D. (2017). Impact of supply chain power and drop-shipping on a manufacturer's optimal distribution channel strategy. *European Journal of Operational Research*, 259(2), 554-563.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

Lampiran 1 : Notasi

Berikut adalah notasi yang digunakan dalam pengembangan model matematis dalam penelitian ini, yaitu sebagai berikut :

- i : Pemain rantai pasok (s : *supplier*, m : *manufacturer*, d : *distributor*, dan ds : *drop-shipper*).
- j : Jenis tingkat persediaan barang (w : *raw material*, f : *finished goods*).
- $A_{i,j}$: Biaya *setup* / pemesanan yang dikeluarkan pemain ke- i terhadap barang ke- j .
- $A_{s,f}$: Biaya *setup* yang dikeluarkan *supplier* selama satu siklus produksi produk.
- $A_{m,w}$: Biaya pemesanan yang dikeluarkan manufaktur per satu kali memesan bahan baku.
- $A_{m,f}$: Biaya *setup* yang dikeluarkan manufaktur selama satu siklus produksi produk.
- $A_{d,f}$: Biaya pemesanan yang dikeluarkan distributor per satu kali memesan produk jadi.
- $A_{ds,f}$: Biaya pemesanan yang dikeluarkan *drop-shipper* per satu kali memesan produk jadi.
- $C_{i,j}$: Biaya produksi / pembelian per unit yang dikeluarkan pemain ke- i terhadap barang ke- j .
- $C_{s,f}$: Biaya produksi yang dikeluarkan *supplier* terhadap satu unit produk jadi.
- $C_{m,w}$: Biaya pembelian yang dikeluarkan manufaktur terhadap satu unit bahan baku.
- $C_{m,f}$: Biaya produksi yang dikeluarkan manufaktur terhadap satu unit produk jadi.
- $C_{d,f}$: Biaya pembelian yang dikeluarkan distributor terhadap satu unit produk jadi.
- $C_{ds,f}$: Biaya pembelian yang dikeluarkan *drop-shipper* terhadap satu unit produk jadi.
- $h_{i,j}$: *Financial holding cost per item* yang dikeluarkan pemain ke- i terhadap barang ke- j .
- $h_{s,f}$: *Financial holding cost* yang dikeluarkan *supplier* terhadap satu unit produk jadi.
- $h_{m,w}$: *Financial holding cost* yang dikeluarkan manufaktur terhadap satu unit bahan baku.
- $h_{m,f}$: *Financial holding cost* yang dikeluarkan manufaktur terhadap satu unit produk jadi.
- $h_{d,f}$: *Financial holding cost* yang dikeluarkan distributor terhadap satu unit produk jadi.
- $S_{i,j}$: *Physical (storage) holding cost per item* yang dikeluarkan pemain ke- i terhadap barang ke- j .
- $S_{s,f}$: *Physical (storage) holding cost* yang dikeluarkan *supplier* terhadap satu unit produk jadi.
- $S_{m,w}$: *Physical (storage) holding cost* yang dikeluarkan manufaktur terhadap satu unit bahan baku.
- $S_{m,f}$: *Physical (storage) holding cost* yang dikeluarkan manufaktur terhadap satu unit produk jadi.

- $S_{d,f}$: *Physical (storage) holding cost* yang dikeluarkan distributor terhadap satu unit produk jadi.
- D : Permintaan tahunan distributor $D < P$.
- P : Tingkat produksi tahunan manufaktur.
- α : Jumlah bahan baku yang dibutuhkan untuk memproduksi satu produk jadi.
- n_1 : Jumlah pengiriman oleh *supplier* kepada manufaktur per siklus bahan baku manufaktur.
- n_2 : Jumlah pengiriman oleh manufaktur kepada distributor per siklus distributor.
- k_i : Prosentase pengembalian investasi (ROI) untuk pemain ke-i.
- k_s : Prosentase pengembalian investasi (ROI) *supplier*.
- k_m : Prosentase pengembalian investasi (ROI) manufaktur.
- k_d : Prosentase pengembalian investasi (ROI) distributor.
- v : Kompensasi *Shortage penalty* yang harus diberikan oleh distributor kepada *drop-shipper* per unit produk.
- w : Kompensasi *Order quantity penalty* yang harus diberikan oleh *drop-shipper* kepada distributor per unit produk.
- e : Suku bunga.
- T : Panjang siklus umum $= \frac{n_2 Q}{D}$.
- T_s : Panjang siklus *supplier* $= \frac{n_2 Q}{P}$.
- T_w : Panjang siklus bahan baku manufaktur $= \frac{n_2 Q}{n_1 P}$.
- T_m : Panjang siklus produk jadi manufaktur $= \frac{n_2 Q}{D}$.
- T_d : Panjang siklus distributor $= \frac{Q}{D}$.
- Q_{ds} : Kuantitas pemesanan *drop-shipper*.
- t_i : Periode waktu *delay in payments* yang ditawarkan oleh pemain ke-i.
- t_s : Periode waktu *delay in payments* yang ditawarkan oleh *supplier* kepada manufaktur.
- t_m : Periode waktu *delay in payments* yang ditawarkan oleh manufaktur kepada distributor.
- τ_i : Waktu pembayaran yang dilakukan oleh pemain ke-i.
- τ_m : Waktu pembayaran yang dilakukan oleh manufaktur kepada *supplier*.
- τ_d : Waktu pembayaran yang dilakukan oleh distributor kepada manufaktur.
- Q : Kuantitas pemesanan distributor.
- m : Komitmen pembelian minimum *drop-shipper*.
- SC : Total biaya tahunan *supplier*.
- MC : Total biaya tahunan manufaktur.

DC : Total biaya tahunan.distributor.

DsC : Total biaya tahunan.*drop-shipper*.

TSC : Total biaya tahunan sistem rantai pasokan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Lampiran 2 : Hasil Perhitungan *Maple*

Skenario Kasus 1.1.1

Cost component

$$\begin{aligned}
 &Asf \cdot D / (n2 \cdot Q) + Csf \cdot \alpha \cdot D + (1/2) \cdot n1 \cdot (n1 - 1) \cdot ((hsf + Ssf) \cdot \alpha \cdot n2 \cdot Q \\
 &\cdot D / (P \cdot n1^2)) + hsf \cdot \tau; m \cdot \alpha \cdot D + (Cmw - Csf) \cdot e^{(ks \cdot ts)} \cdot \alpha \cdot D + n1 \\
 &\cdot Amw \cdot D / (n2 \cdot Q) + Cmw \cdot \alpha \cdot n2 \cdot Q \cdot D \cdot (1 / (n2 \cdot Q)) + hmw \cdot \alpha^2 \cdot n2^2 \cdot Q^2 \\
 &\cdot D / (2 \cdot \alpha \cdot P \cdot n1 \cdot n2 \cdot Q) - hmw \cdot \alpha \cdot n2 \cdot Q \cdot ts \cdot D \cdot (1 / (n2 \cdot Q)) + hmw \cdot n1 \\
 &\cdot \alpha \cdot P \cdot ts^2 \cdot D / (2 \cdot n2 \cdot Q) + Smw \cdot \alpha \cdot n2^2 \cdot Q^2 \cdot D / (2 \cdot P \cdot n1 \cdot n2 \cdot Q) - \\
 &Cmw \cdot \alpha \cdot n2 \cdot Q \cdot e^{(km \cdot \tau; m)} \cdot D \cdot (1 / (n2 \cdot Q)) + Amf \cdot D / (n2 \cdot Q) + Cmf \cdot D \\
 &+ (hmf + Smf) \cdot Q \cdot (2 \cdot D + (P - D) \cdot n2 - P) / (2 \cdot P) + hmf \cdot \tau; d \cdot D + (Cdf - \\
 &Cmf) \cdot e^{(km \cdot tm)} \cdot D + Adf \cdot D / Q + Cdf \cdot D + hdf \cdot (-D \cdot tm + Q)^2 / (2 \cdot Q) + (1/2) \cdot Sdf \cdot Q - \\
 &Cdf \cdot D \cdot (1 - e^{(kd \cdot tm)}) - w \cdot (m - Qds) \cdot D / (n2 \cdot Q) + (Qds \cdot Adsf \cdot D / (n2 \cdot Q) \\
 &+ Cdsf \cdot Qds \cdot D / (n2 \cdot Q) + w \cdot (m - Qds) \cdot D / (n2 \cdot Q)) \tag{1}
 \end{aligned}$$

differentiate w.r.t. Q

$$\begin{aligned}
 &-Qds \cdot Adsf \cdot D / (n2 \cdot Q^2) - Cdsf \cdot Qds \cdot D / (n2 \cdot Q^2) - n1 \cdot Amw \cdot D / (n2 \cdot Q^2) + (1/2) \\
 &\cdot hmw \cdot \alpha \cdot n2 \cdot D / (P \cdot n1) + (1/2) \cdot Smw \cdot \alpha \cdot n2 \cdot D / (P \cdot n1) + (1/2) \cdot (hmf + Smf) \\
 &\cdot (2 \cdot D + (P - D) \cdot n2 - P) / P - Amf \cdot D / (n2 \cdot Q^2) - Asf \cdot D / (n2 \cdot Q^2) + hdf \cdot (-D \cdot tm + Q) / Q - \\
 &(1/2) \cdot hdf \cdot (-D \cdot tm + Q)^2 / Q^2 - (1/2) \cdot hmw \cdot n1 \cdot \alpha \cdot P \cdot ts^2 \cdot D / (n2 \cdot Q^2) \\
 &+ (1/2) \cdot Sdf - Adf \cdot D / Q^2 + (1/2) \cdot (n1 - 1) \cdot (hsf + Ssf) \cdot \alpha \cdot n2 \cdot D / (P \cdot n1) \tag{2}
 \end{aligned}$$

solve for Q

$$\begin{aligned}
 Q = \sqrt{ &-n2 \cdot (-D \cdot Ssf \cdot \alpha \cdot n1 \cdot n2 - D \cdot \alpha \cdot hsf \cdot n1 \cdot n2 + D \cdot Smf \cdot n1 \cdot n2 - \\
 &D \cdot Smw \cdot \alpha \cdot n2 + D \cdot Ssf \cdot \alpha \cdot n2 - D \cdot \alpha \cdot hmw \cdot n2 + D \cdot \alpha \cdot hsf \cdot n2 \\
 &+ D \cdot hmf \cdot n1 \cdot n2 - P \cdot Smf \cdot n1 \cdot n2 - P \cdot hmf \cdot n1 \cdot n2 - 2 \cdot D \cdot Smf \cdot n1 - 2 \cdot D \cdot hmf \cdot n1 - \\
 &P \cdot Sdf \cdot n1 + P \cdot Smf \cdot n1 - P \cdot hdf \cdot n1 + P \cdot hmf \cdot n1) \cdot D \cdot P \cdot n1 \cdot (P \cdot \alpha \cdot hmw \cdot n1 \\
 &\cdot ts^2 + D \cdot hdf \cdot n2 \cdot tm^2 + 2 \cdot Adf \cdot n2 + 2 \cdot Adsf \cdot Qds + 2 \cdot Amw \cdot n1 + 2 \cdot Cdsf \cdot Qds \\
 &+ 2 \cdot Amf + 2 \cdot Asf) / (n2 \cdot (-D \cdot Ssf \cdot \alpha \cdot n1 \cdot n2 - D \cdot \alpha \cdot hsf \cdot n1 \cdot n2 + D \cdot Smf \\
 &\cdot n1 \cdot n2 - D \cdot Smw \cdot \alpha \cdot n2 + D \cdot Ssf \cdot \alpha \cdot n2 - D \cdot \alpha \cdot hmw \cdot n2 + D \cdot \alpha \cdot hsf \cdot n2 \\
 &+ D \cdot hmf \cdot n1 \cdot n2 - P \cdot Smf \cdot n1 \cdot n2 - P \cdot hmf \cdot n1 \cdot n2 - 2 \cdot D \cdot Smf \cdot n1 - 2 \cdot D \cdot hmf \cdot n1 - P \cdot Sdf \\
 &\cdot n1 + P \cdot Smf \cdot n1 - P \cdot hdf \cdot n1 + P \cdot hmf \cdot n1)) \tag{3}
 \end{aligned}$$

simplify symbolic

$$Q = I \cdot \sqrt{D} \cdot \sqrt{P} \cdot \sqrt{n1} \cdot \sqrt{(2 \cdot Adsf + 2 \cdot Cdsf) \cdot Qds + (P \cdot \alpha \cdot hmw \cdot ts^2 + 2 \cdot Amw) \cdot n1 + (D \cdot hdf \cdot tm^2 + 2 \cdot Adf) \cdot n2 + 2 \cdot Asf + 2 \cdot Amf} / (\sqrt{n2})$$

$$\sqrt{\left(\left(\left(\left(-hsf-Ssf\right)\alpha+hmf+Smf\right)D-P\left(hmf+Smf\right)\right)^{n2}+\left(-2hmf-2Smf\right)D+P\left(hmf-Sdf+Smf-hdf\right)\right)^{n1}-D\alpha^{n2}\left(hmw-hsf+Smw-Ssf\right)} \quad (4)$$

Input parameter

```
eval(Q = I*sqrt(D)*sqrt(P)*sqrt(n1)*sqrt((2*Adsf+2*Cdsf)*Qds
+(P*alpha*hmw*ts^2+2*Amw)*n1+ (D*hdf*tm^2+2*Adf)*n2+2*Asf+2*Amf)
/(sqrt(n2)*sqrt(((((-hsf-Ssf)*alpha+hmf+Smf)*D-P*(hmf +Smf))*n2
+(-2*hmf-2*Smf)*D+P*(hmf-Sdf+Smf-hdf))*n1-D*alpha*n2*(hmw-hsf+Smw-
Ssf))), [D = 3069, P = 4720, alpha = 1, Asf = 441, Amw = 206,
Amf = 175, Adf = 384, Adsf = 2.5, Csf = 20, Cmw = 30, Cmf = 50,
Cdf = 70, Cdsf = 80, hsf = 3, hmw = 3, hmf = 12, hdf = 13.3,
Ssf = 3, Smw = 7.5, Smf = 9, Sdf = 7.7, n1 = 1, n2 = 2,
ks = 0.1e-1, km = 0.8e-1, kd = 0.4e-1, v = 30, e = .1, Qds = 1])
Q = 0.9755489385e-3*sqrt(3069)*sqrt(4720)*sqrt(3345.0+14160
*ts^2+81635.4*tm^2)*sqrt(2) \quad (5)
```

simplify symbolic

$$Q = 5.250897029\sqrt{3345.0+14160\cdot ts^2+81635.4\cdot tm^2} \quad (6)$$

Differentiate (1) w.r.t. ts

$$\left(Cmw-Csf\right)e^{\left(ks\cdot ts\right)}\cdot ks\cdot \ln\left(e\right)\cdot \alpha^D+hmw\cdot n1\cdot \alpha^P\cdot ts^D/\left(n2\cdot Q\right)-hmw\cdot \alpha^D \quad (7)$$

solve for ts

$$ts = \left(ks\cdot \ln\left(e\right)\cdot n2\cdot Q-LambertW\left(ks^2\cdot \ln\left(e\right)^2\cdot Q\cdot n2\cdot \left(Cmw-Csf\right)\cdot \exp\left(ks\cdot \ln\left(e\right)\cdot n2\cdot Q/\left(P\cdot n1\right)\right)/\left(P\cdot hmw\cdot n1\right)\cdot P\cdot n1\right)/\left(ks\cdot \ln\left(e\right)\cdot P\cdot n1\right) \quad (8)$$

Input parameter

```
eval(ts = (ks*ln(e)*n2*Q-LambertW(ks^2*ln(e)^2*Q*n2*(Cmw-
Csf)*exp(ks*ln(e)*n2*Q /(P*n1)))/(P*hmw*n1))*P*n1)/(ks*ln(e)*P*n1),
[D = 3069, P = 4720, alpha = 1, Asf = 441, Amw = 206, Amf = 175,
Adf = 384, Adsf = 2.5, Csf = 20, Cmw = 30, Cmf = 50, Cdf = 70,
Cdsf = 80, hsf = 3, hmw = 3, hmf = 12, hdf = 13.3, Ssf = 3,
Smw = 7.5, Smf = 9, Sdf = 7.7, n1 = 1, n2 = 2, ks = 0.1e-1,
km = 0.8e-1, kd = 0.4e-1, v = 30, e = .1, Qds = 1])
ts = 0.4237288136e-3*Q+43.42944819*LambertW(7.488556653*10^(-
7)*Q*exp(-0.9756716496e-5*Q)) \quad (9)
```

Differentiate (1) w.r.t. tm

$$-hdf*(-D*tm+Q)*D/Q+(Cdf-Cmf)*e^(km*tm)*km*\ln(e)*D+Cdf*D*e^(kd*tm)*kd*\ln(e) \quad (10)$$

Solve for tm

$$tm = \text{RootOf}(e^(km*_Z)*km*\ln(e)*Q*Cdf+Cdf*e^(kd*_Z)*kd*\ln(e)*Q-e^(km*_Z)*km*\ln(e)*Q *Cmf+D*hdf*_Z-Q*hdf) \quad (11)$$

Input parameter

eval(tm = RootOf(e^(km*_Z)*km*\ln(e)*Q*Cdf+Cdf*e^(kd*_Z)*kd*\ln(e)*Q-e^(km*_Z)*km*\ln(e)*Q*Cmf+D*hdf*_Z-Q*hdf), [D = 3069, P = 4720, alpha = 1, Asf = 441, Amw = 206, Amf = 175, Adf = 384, Adsfs = 2.5, Csf = 20, Cmw = 30, Cmf = 50, Cdf = 70, Cdsf = 80, hsf = 3, hmw = 3, hmf = 12, hdf = 13.3, Ssf = 3, Smw = 7.5, Smf = 9, Sdf = 7.7, n1 = 1, n2 = 2, ks = .1, km = 0.8e-1, kd = 0.4e-1, v = 30, e = 0.1e-1, Qds = 1])

$$tm = \text{RootOf}(7.36827230*0.1e-1^(0.8e-1*_Z)*Q+12.89447652*0.1e-1^(0.4e-1*_Z)*Q-40817.7*_Z+13.3*Q) \quad (12)$$

Dari persamaan nilai Q, keluarkan variabel t_s ke sisi kiri.

$$-Q+5.250897029*\text{sqrt}(3345.0+14160.*ts^2+81635.4*tm^2) = 0$$

Solve fot ts

$$ts = 5.379764147*10^(-14)*\text{sqrt}(8.850000000*10^20*Q^2-1.991997547*10^27*tm^2-8.162184292*10^25) \quad (13)$$

subtitution (13) to (9)

$$-5.379764147*10^(-14)*\text{sqrt}(8.850000000*10^20*Q^2-1.991997547*10^27*tm^2-8.162184292*10^25)+0.4237288136e-3*Q+43.42944819*\text{LambertW}(7.488556653*10^(-7)*Q*\exp(-0.9756716496e-5*Q)) = 0 \quad (14)$$

subtitution (13) to (12)

$$-tm+\text{RootOf}(7.36827230*0.1e-1^(0.8e-1*_Z)*Q+12.89447652*0.1e-1^(0.4e-1*_Z)*Q-40817.7 *_Z+13.3*Q) = 0 \quad (15)$$

Solve (14) for tm

$$tm = 2.952189858*10^(-27)*\text{sqrt}(-4.701419770*10^51-3.753745140*10^55*\text{LambertW}(7.488556653*10^(-7)*Q*\exp(-0.9756716496e-5*Q))^2-7.324845427*10^50* Q*\text{LambertW}(7.488556653*10^(-7)*Q*\exp(-0.9756716496e-5*Q))+4.740269554*10^46*Q^2) \quad (16)$$

subtitution (16) to (15)

$$\begin{aligned}
& -2.952189858*10^{(-27)}*\text{sqrt}(-4.701419770*10^{51}-3.753745140*10^{55} \\
& * \text{LambertW}(7.488556653*10^{(-7)}*Q*\text{exp}(-0.9756716496e-5*Q))^2- \\
& 7.324845427*10^{50}*Q*\text{LambertW}(7.488556653*10^{(-7)}*Q \\
& *\text{exp}(-0.9756716496e-5*Q))+4.740269554*10^{46}*Q^2) \\
& +\text{RootOf}(7.36827230*0.1e-1^{(0.8e-1*_Z)*Q+12.89447652} \\
& *0.1e-1^{(0.4e-1*_Z)*Q-40817.7*_Z+13.3*Q}) = 0 \tag{17}
\end{aligned}$$

Solve for Q

$$Q = 325.6745525$$

subtitution (Q) to (16)

$$\begin{aligned}
& \text{eval}(tm = 2.952189858*10^{(-27)}*\text{sqrt}(-4.701419770*10^{51}- \\
& 3.753745140*10^{55}* \text{LambertW}(7.488556653*10^{(-7)}*Q \\
& *\text{exp}(-0.9756716496e-5*Q))^2-7.324845427*10^{50}*Q \\
& * \text{LambertW}(7.488556653*10^{(-7)}*Q*\text{exp}(-0.9756716496e- \\
& 5*Q))+4.740269554*10^{46}*Q^2), [Q = 325.6745525]) \tag{18}
\end{aligned}$$

$$tm = 0.8715763930e-1$$

subtitution (Q & tm) to (13)

$$\begin{aligned}
& \text{eval}(ts = 5.379764147*10^{(-14)}*\text{sqrt}(8.850000000*10^{20}*Q^2- \\
& 1.991997547*10^{27}*tm^2-8.162184292*10^{25}), [Q = 325.6745525, \\
& tm = 0.8715763930e-1]) \tag{19}
\end{aligned}$$

$$ts = 0.1486722132e-1$$

total cost calculation

$$\begin{aligned}
& \text{eval}(\text{Asf}*D/(n2*Q)+\text{Csf}*\alpha*D+(1/2)*n1*(n1-1)*((\text{hsf}+\text{Ssf})*\alpha \\
& *n2*Q*D/(P*n1^2)) +\text{hsf}*\tau; m^*\alpha*D+(\text{Cmw}-\text{Csf})*e^{(ks*ts)} \\
& *\alpha*D+n1*\text{Amw}*D/(n2*Q)+\text{Cmw}*\alpha *n2*Q*D*(1/(n2*Q))+\text{hmw} \\
& *\alpha^2*n2^2*Q^2*D/(2*\alpha*P*n1*n2*Q)-\text{hmw} *\alpha*n2*Q*ts \\
& *D*(1/(n2*Q))+\text{hmw}*n1*\alpha*P*ts^2*D/(2*n2*Q)+\text{Smw}*\alpha*n2^2*Q^2 \\
& *D/(2*P*n1*n2*Q)-\text{Cmw}*\alpha*n2*Q*e^{(km*\tau; m^*)}*D*(1/(n2*Q)) \\
& +\text{Amf}*D/(n2*Q)+\text{Cmf}*D +(\text{hmf}+\text{Smf})*Q*(2*D+(P-D)*n2-P)/(2*P)+\text{hmf} \\
& *\tau; d^*D+(\text{Cdf}-\text{Cmf})*e^{(km*tm)}*D+\text{Adf}*D/Q +\text{Cdf}*D+\text{hdf}*(- \\
& D*tm+Q)^2/(2*Q)+(1/2)*\text{Sdf}*Q-\text{Cdf}*D*(1-e^{(kd*tm)})-w*(m-Qds)*D/(n2*Q) \\
& +(Qds*\text{Ads f}*D/(n2*Q)+\text{Cdsf}*Qds*D/(n2*Q)+w*(m-Qds)*D/(n2*Q)), \\
& [D = 3069, P = 4720, \alpha = 1, \text{Asf} = 441, \text{Amw} = 206, \text{Amf} = 175, \\
& \text{Adf} = 384, \text{Ads f} = 2.5, \text{Csf} = 20, \text{Cmw} = 30, \text{Cmf} = 50, \text{Cdf} = 70,
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&Cdsf = 80, \quad hsf = 3, \quad hmw = 3, \quad hmf = 12, \quad hdf = 13.3, \quad Ssf = 3, \\
&Smw = 7.5, \quad Smf = 9, \quad Sdf = 7.7, \quad n1 = 1, \quad n2 = 2, \quad ks = 0.1e-1, \\
&km = 0.8e-1, \quad kd = 0.4e-1, \quad v = 30, \quad w = 50, \quad e = .1, \\
&Q = 325.6745525, \quad Qds = 586, \quad m = 651, \quad ts = 0.1486722132e-1, \\
&`τm` = 0.1486722132e-1, \quad tm = 0.8715763930e-1, \\
&`τd` = 0.8715763930e-1]) \tag{20} \\
&TSC = 7.943409794*10^5
\end{aligned}$$

Skenario Kasus 1.2.1

Cost component

$$\begin{aligned}
 &Asf*D/(n2*Q)+Csf*\alpha*D+(1/2)*n1*(n1-1)*((hsf+Ssf)*\alpha*n2*Q \\
 &*D/(P*n1^2))+hsf*\tau;m*\alpha*D+(Cmw-Csf)*e^{(ks*ts)*\alpha*D} \\
 &+n1*Amw*D/(n2*Q)+Cmw*\alpha*n2*Q*D*(1/(n2*Q))+hmw*\alpha^2*n2^2 \\
 &*Q^2*D/(2*\alpha*P*n1*n2*Q)-hmw*\alpha*n2*Q*ts*D*(1/(n2*Q))+hmw \\
 &*n1*\alpha*P*ts^2*D/(2*n2*Q)+Smw*\alpha*n2^2*Q^2*D/(2*P*n1*n2*Q) \\
 &-Cmw*\alpha*n2*Q*e^{(km*\tau;m)*D*(1/(n2*Q))+Amf*D/(n2*Q)+Cmf*D} \\
 &+(hmf+Smf)*Q*(2*D+(P-D)*n2-P)/(2*P)+hmf*\tau;d*D+(Cdf-Cmf) \\
 &*e^{(km*tm)*D-Cdf*e^{(km*(\tau;d-tm))*D+(Adf*D/Q+Cdf*D+hdf} \\
 &*(-D*tm+Q)^2/(2*Q)+(1/2)*Sdf*Q+Cdf*e^{(km*(\tau;d-tm))*D-Cdf*D} \\
 &*(1-e^{(kd*tm)})-w*(m-Qds)*D/(n2*Q))+Qds*Adsf*D/(n2*Q)+Cdsf*Qds \\
 &*D/(n2*Q) +w*(m-Qds)*D/(n2*Q)
 \end{aligned} \tag{1}$$

differentiate w.r.t. Q

$$\begin{aligned}
 &-Asf*D/(n2*Q^2)-Amf*D/(n2*Q^2)+(1/2)*(hmf+Smf)*(2*D+(P-D)*n2 \\
 &-P)/P-Qds*Adsf*D/(n2*Q^2)-Cdsf*Qds*D/(n2*Q^2)+(1/2)*Sdf-n1 \\
 &*Amw*D/(n2*Q^2)+hdf*(-D*tm+Q)/Q-(1/2)*hdf*(-D*tm+Q)^2/Q^2-Adf \\
 &*D/Q^2-(1/2)*hmw*n1*\alpha*P*ts^2*D/(n2*Q^2)+(1/2)*(n1-1)*(hsf \\
 &+Ssf)*\alpha*n2*D/(n1*P)+(1/2)*hmw*\alpha*n2*D/(n1*P)+(1/2)*Smw \\
 &*\alpha*n2*D/(n1*P)
 \end{aligned} \tag{2}$$

solve for Q

$$\begin{aligned}
 Q = \sqrt{(-n2*(-D*Ssf*\alpha*n1*n2-D*\alpha*hsf*n1*n2+D*Smf*n1*n2- \\
 D*Smw*\alpha*n2+D*Ssf*\alpha*n2-D*\alpha*hmw*n2+D*\alpha*hsf*n2 \\
 +D*hmf*n1*n2-P*Smf*n1*n2-P*hmf*n1*n2-2*D*Smf*n1-2*D*hmf*n1- \\
 P*Sdf*n1+P*Smf*n1-P*hdf*n1+P*hmf*n1)*D*P*n1*(P*\alpha*hmw*n1 \\
 *ts^2+D*hdf*n2*tm^2+2*Adf*n2+2*Adsf*Qds+2*Amw*n1+2*Cdsf*Qds \\
 +2*Amf+2*Asf)))/(n2*(-D*Ssf*\alpha*n1*n2-D*\alpha*hsf*n1*n2+D \\
 *Smf*n1*n2-D*Smw*\alpha*n2+D*Ssf*\alpha*n2-D*\alpha*hmw*n2+D \\
 *\alpha*hsf*n2+D*hmf*n1*n2-P*Smf*n1*n2-P*hmf*n1*n2-2*D*Smf \\
 *n1-2*D*hmf*n1-P*Sdf*n1+P*Smf*n1-P*hdf*n1+P*hmf*n1))}
 \end{aligned} \tag{3}$$

simplify symbolic

$$Q = I*\sqrt{D}*\sqrt{P}*\sqrt{n1}*\sqrt{(2*Adsf+2*Cdsf)*Qds+(P*\alpha*hmw*ts^2+2*Amw)*n1+(D*hdf*tm^2+2*Adf)*n2+2*Asf+2*Amf)}$$

$$\frac{1}{(\sqrt{n_2}) \sqrt{\left(\left(\left((-h_{sf} - S_{sf}) \alpha + h_{mf} + S_{mf} \right) D - P (h_{mf} + S_{mf}) \right) n_2 + (-2 h_{mf} - 2 S_{mf}) D + P (h_{mf} - S_{df} + S_{mf} - h_{df}) \right) n_1 - D \alpha n_2 (h_{mw} - h_{sf} + S_{mw} - S_{sf}) \right)}} \quad (4)$$

Input parameter

$$\text{eval}(Q = I \sqrt{D} \sqrt{P} \sqrt{n_1} \sqrt{(2 A_{dsf} + 2 C_{dsf}) Q_{ds} + (P \alpha h_{mw} t_s^2 + 2 A_{mw}) n_1 + (D h_{df} t_m^2 + 2 A_{df}) n_2 + 2 A_{sf} + 2 A_{mf}}) / (\sqrt{n_2}) \sqrt{\left(\left(\left((-h_{sf} - S_{sf}) \alpha + h_{mf} + S_{mf} \right) D - P (h_{mf} + S_{mf}) \right) n_2 + (-2 h_{mf} - 2 S_{mf}) D + P (h_{mf} - S_{df} + S_{mf} - h_{df}) \right) n_1 - D \alpha n_2 (h_{mw} - h_{sf} + S_{mw} - S_{sf}) \right)}, [D = 3069, P = 4720, \alpha = 1, A_{sf} = 441, A_{mw} = 206, A_{mf} = 175, A_{df} = 384, A_{dsf} = 2.5, C_{sf} = 20, C_{mw} = 30, C_{mf} = 50, C_{df} = 70, C_{dsf} = 80, h_{sf} = 3, h_{mw} = 3, h_{mf} = 12, h_{df} = 13.3, S_{sf} = 3, S_{mw} = 7.5, S_{mf} = 9, S_{df} = 7.7, n_1 = 1, n_2 = 2, k_s = 0.1e-1, k_m = 0.8e-1, k_d = 0.4e-1, v = 30, w = 50, e = .1, Q_{ds} = 1])$$

$$Q = 0.9755489385e-3 \sqrt{2} \sqrt{3069} \sqrt{4720} \sqrt{3345.0 + 14160 t_s^2 + 81635.4 t_m^2} \quad (5)$$

simplify symbolic

$$Q = 5.250897029 \sqrt{3345.0 + 14160 t_s^2 + 81635.4 t_m^2} \quad (6)$$

Differentiate (1) w.r.t. ts

$$\frac{(C_{mw} - C_{sf}) e^{(k_s t_s)} k_s \ln(e) \alpha^D h_{mw} n_1 \alpha^P t_s^D}{(n_2 Q) - h_{mw} \alpha^D} \quad (7)$$

solve for ts

$$t_s = \frac{(k_s \ln(e) n_2 Q - \text{LambertW}(k_s^2 \ln(e)^2 Q n_2 (C_{mw} - C_{sf})) \exp(k_s \ln(e) n_2 Q / (P n_1)) / (P h_{mw} n_1)) P n_1}{(k_s \ln(e) P n_1)} \quad (8)$$

Input parameter

$$\text{eval}(t_s = (k_s \ln(e) n_2 Q - \text{LambertW}(k_s^2 \ln(e)^2 Q n_2 (C_{mw} - C_{sf})) \exp(k_s \ln(e) n_2 Q / (P n_1)) / (P h_{mw} n_1)) P n_1 / (k_s \ln(e) P n_1), [D = 3069, P = 4720, \alpha = 1, A_{sf} = 441, A_{mw} = 206, A_{mf} = 175, A_{df} = 384, A_{dsf} = 2.5, C_{sf} = 20, C_{mw} = 30, C_{mf} = 50, C_{df} = 70, C_{dsf} = 80, h_{sf} = 3, h_{mw} = 3, h_{mf} = 12, h_{df} = 13.3, S_{sf} = 3, S_{mw} = 7.5, S_{mf} = 9, S_{df} = 7.7, n_1 = 1, n_2 = 2, k_s = 0.1e-1, k_m = 0.8e-1, k_d = 0.4e-1, v = 30, w = 50, e = .1, Q_{ds} = 1])$$

$$t_s = 0.4237288136e-3*Q+43.42944819*LambertW(7.488556653*10^{(-7)} *Q*exp(-0.9756716496e-5*Q)) \quad (9)$$

Differentiate (1) w.r.t. tm

$$-hdf*(-D*tm+Q)*D/Q+(Cdf-Cmf)*e^{(km*tm)}*km*\ln(e)*D+Cdf*D*e^{(kd*tm)}*kd*\ln(e) \quad (10)$$

Solve for tm

$$tm = \text{RootOf}(e^{(km*_Z)}*km*\ln(e)*Q*Cdf+Cdf*e^{(kd*_Z)}*kd*\ln(e)*Q-e^{(km*_Z)}*km*\ln(e)*Q*Cmf+D*hdf*_Z-Q*hdf) \quad (11)$$

Input parameter

eval(tm = RootOf(e^{(km*_Z)}*km*\ln(e)*Q*Cdf+Cdf*e^{(kd*_Z)}*kd*\ln(e)*Q-e^{(km*_Z)}*km*\ln(e)*Q*Cmf+D*hdf*_Z-Q*hdf), [D = 3069, P = 4720, alpha = 1, Asf = 441, Amw = 206, Amf = 175, Adf = 384, Adsf = 2.5, Csf = 20, Cmw = 30, Cmf = 50, Cdf = 70, Cdsf = 80, hsf = 3, hmw = 3, hmf = 12, hdf = 13.3, Ssf = 3, Smw = 7.5, Smf = 9, Sdf = 7.7, n1 = 1, n2 = 2, ks = 0.1e-1, km = 0.8e-1, kd = 0.4e-1, v = 30, w = 50, e = .1, Qds = 1])

$$tm = \text{RootOf}(3.684136150*.1^{(0.8e-1*_Z)}*Q+6.447238260*.1^{(0.4e-1*_Z)}*Q-40817.7*_Z+13.3*Q) \quad (12)$$

Dari persamaan nilai Q, keluarkan variabel t_s ke sisi kiri.

$$-Q+5.250897029*\text{sqrt}(3345.0+14160.*ts^2+81635.4*tm^2) = 0$$

Solve fot t_s

$$t_s = 5.379764147*10^{(-14)}*\text{sqrt}(8.850000000*10^{20}*Q^2-1.991997547*10^{27}*tm^2-8.162184292*10^{25}) \quad (13)$$

subtitution (13) to (9)

$$-5.379764147*10^{(-14)}*\text{sqrt}(8.850000000*10^{20}*Q^2-1.991997547*10^{27}*tm^2-8.162184292*10^{25})+0.4237288136e-3*Q+43.42944819*LambertW(7.488556653*10^{(-7)}*Q*exp(-0.9756716496e-5*Q)) = 0 \quad (14)$$

subtitution (13) to (12)

$$-tm+\text{RootOf}(3.684136150*.1^{(0.8e-1*_Z)}*Q+6.447238260*.1^{(0.4e-1*_Z)}*Q-40817.7*_Z+13.3*Q) = 0 \quad (15)$$

Solve (14) for tm

$$tm = 2.952189858*10^{(-27)}*\text{sqrt}(-4.701419770*10^{51}-3.753745140*10^{55}*LambertW(7.488556653*10^{(-7)}*Q*exp(-0.9756716496e-5*Q)))$$

$$^{2-7.324845427*10^{50}*Q*LambertW(7.488556653*10^{(-7)*Q} *exp(-0.9756716496e-5*Q))+4.740269554*10^{46}*Q^2) \quad (16)$$

subtitution (16) to (15)

$$-2.952189858*10^{(-27)*sqrt(-4.701419770*10^{51}-3.753745140*10^{55}*LambertW(7.488556653*10^{(-7)*Q}*exp(-0.9756716496e-5*Q)) ^{2-7.324845427*10^{50}*Q*LambertW(7.488556653*10^{(-7)*Q} *exp(-0.9756716496e-5*Q))+4.740269554*10^{46}*Q^2)} +RootOf(3.684136150*.1^{(0.8e-1*_Z)*Q}+6.447238260*.1 ^{(0.4e-1*_Z)*Q}-40817.7*_Z+13.3*Q) = 0 \quad (17)$$

Solve for Q

$$Q = 310.4785221$$

subtitution (Q) to (16)

$$eval(tm = 2.952189858*10^{(-27)*sqrt(-4.701419770*10^{51}- 3.753745140*10^{55}*LambertW(7.488556653*10^{(-7)*Q} *exp(-0.9756716496e-5*Q))^{2-7.324845427*10^{50}*Q} *LambertW(7.488556653*10^{(-7)*Q}*exp(-0.9756716496e-5*Q)) +4.740269554*10^{46}*Q^2), [Q = 310.4785221]) \quad (18)$$

$$tm = 0.5835590633e-1$$

subtitution (Q & tm) to (13)

$$eval(ts = 5.379764147*10^{(-14)*sqrt(8.850000000*10^{20}*Q^2- 1.991997547*10^{27}*tm^2-8.162184292*10^{25}), [Q = 310.4785221, tm = 0.5835590633e-1]) \quad (19)$$

$$ts = 0.1463106290e-1$$

total cost calculation

$$eval(Asf*D/(n2*Q)+Csf*alpha*D+(1/2)*n1*(n1- 1)*((hsf+Ssf)*alpha*n2*Q*D/(P*n1^2))+hsf*`τm`*alpha*D+(Cmw- Csf)*e^(ks*ts)*alpha*D+n1*Amw*D/(n2*Q)+Cmw*alpha*n2*Q*D*(1/(n2*Q)) +hmw*alpha^2*n2^2*Q^2*D/(2*alpha*P*n1*n2*Q)-hmw*alpha*n2*Q*ts*D *(1/(n2*Q))+hmw*n1*alpha*P*ts^2*D/(2*n2*Q)+Smw*alpha*n2^2*Q^2 *D/(2*P*n1*n2*Q)-Cmw*alpha*n2*Q*e^(km*`τm`)*D*(1/(n2*Q)) +Amf*D/(n2*Q)+Cmf*D+(hmf+Smf)*Q*(2*D+(P-D)*n2-P)/(2*P)+hmf *`τd`*D+(Cdf-Cmf)*e^(km*tm)*D-Cdf*e^(km*(`τd`-tm))*D +(Adf*D/Q+Cdf*D+hdf*(-D*tm+Q)^2/(2*Q)+(1/2)*Sdf*Q+Cdf*e^(km$$

$$\begin{aligned}
& *(\tau; d - tm)) * D - Cdf * D * (1 - e^{(kd * tm)}) - w * (m - Qds) * D / (n2 * Q) + Qds * Adsf \\
& * D / (n2 * Q) + Cdsf * Qds * D / (n2 * Q) + w * (m - Qds) * D / (n2 * Q), [D = 3069, \\
& P = 4720, \alpha = 1, Asf = 441, Amw = 206, Amf = 175, Adf = 384, \\
& Adsf = 2.5, Csf = 20, Cmw = 30, Cmf = 50, Cdf = 70, Cdsf = 80, \\
& hsf = 3, hmw = 3, hmf = 12, hdf = 13.3, Ssf = 3, Smw = 7.5, \\
& Smf = 9, Sdf = 7.7, n1 = 1, n2 = 2, ks = 0.1e-1, km = 0.8e-1, \\
& kd = 0.4e-1, v = 30, w = 50, e = .1, Q = 310.4785221, Qds = 586, \\
& m = 621, ts = 0.1463106290e-1, \tau; m = 0.1463106290e-1, \\
& tm = 0.5835590633e-1, \tau; d = 0.6835590633e-1] \tag{20} \\
& TSC = 8.024266175 * 10^5
\end{aligned}$$

Skenario Kasus 1.2.2

Cost component

$$\begin{aligned}
 &Asf*D/(n2*Q)+Csf*\alpha*D+(1/2)*n1*(n1-1)*((hsf+Ssf)*\alpha*n2 \\
 &*Q *D/(P*n1^2))+hsf*\tau;m*\alpha*D+(Cmw-Csf)*e^(ks*ts)*\alpha \\
 &*D+n1*Amw*D/(n2*Q)+Cmw*\alpha*n2*Q*D*(1/(n2*Q))+hmw*\alpha^2 \\
 &*n2^2*Q^2*D/(2*\alpha*P*n1*n2*Q)-hmw*\alpha*n2*Q*ts*D*(1/(n2*Q)) \\
 &+hmw*n1*\alpha*P*ts^2*D/(2*n2*Q)+Smw*\alpha*n2^2*Q^2*D/(2*P*n1 \\
 &*n2*Q)-Cmw*\alpha*n2*Q*e^(km*\tau;m)*D*(1/(n2*Q))+Amf*D/(n2*Q) \\
 &+Cmf*D+(hmf+Smf)*Q*(2*D+(P-D)*n2-P)/(2*P)+hmf*\tau;d*D+(Cdf \\
 &-Cmf)*e^(km*tm)*D-Cdf*e^(km*(\tau;d-tm))*D+(Adf*D/Q+Cdf*D \\
 &+hdf*(-D*tm+Q)^2/(2*Q)+(1/2)*Sdf*Q+Cdf*e^(km*(\tau;d-tm)) \\
 &*D+v*(-Q*n2+Qds)*D/(n2*Q)-Cdf*D*(1-e^(kd*tm))+Qds*Adsf*D \\
 &/n2*Q+Cdsf*Qds*D/n2*Q-v*(-Q*n2+Qds)*D/n2*Q
 \end{aligned} \tag{1}$$

differentiate w.r.t. Q

$$\begin{aligned}
 &-Asf*D/(n2*Q^2)-Amf*D/(n2*Q^2)+(1/2)*(hmf+Smf)*(2*D+(P-D)*n2-P) \\
 &/P-(1/2)*hmw*n1*\alpha*P*ts^2*D/(n2*Q^2)+hdf*(-D*tm+Q)/Q-(1/2) \\
 &*hdf*(-D*tm+Q)^2/Q^2-Qds*Adsf*D/(n2*Q^2)-Cdsf*Qds*D/(n2*Q^2) \\
 &-n1*Amw*D/(n2*Q^2)+(1/2)*Sdf-Adf*D/Q^2+(1/2)*(n1-1)*(hsf+Ssf) \\
 &*\alpha*n2*D/(P*n1)+(1/2)*hmw*\alpha*n2*D/(P*n1)+(1/2)*Smw*\alpha \\
 &*n2*D/(P*n1)
 \end{aligned} \tag{2}$$

solve for Q

$$\begin{aligned}
 Q = \sqrt{ &-n2*(-D*Ssf*\alpha*n1*n2-D*\alpha*hsf*n1*n2+D*Smf*n1 \\
 &*n2-D*Smw*\alpha*n2+D*Ssf*\alpha*n2-D*\alpha*hmw*n2+D*\alpha*hsf \\
 &*n2 +D*hmf*n1*n2-P*Smf*n1*n2-P*hmf*n1*n2-2*D*Smf*n1-2*D*hmf*n1 \\
 &-P*Sdf*n1+P*Smf*n1-P*hdf*n1+P*hmf*n1)*D*P*n1*(P*\alpha*hmw*n1*ts \\
 &^2+D*hdf*n2*tm^2+2*Adf*n2+2*Adsf*Qds+2*Amw*n1+2*Cdsf*Qds+2*Amf \\
 &+2*Asf))/n2*(-D*Ssf*\alpha*n1*n2-D*\alpha*hsf*n1*n2+D*Smf*n1*n2 \\
 &-D*Smw*\alpha*n2+D*Ssf*\alpha*n2-D*\alpha*hmw*n2+D*\alpha*hsf*n2+D \\
 &*hmf*n1*n2-P*Smf*n1*n2-P*hmf*n1*n2-2*D*Smf*n1-2*D*hmf*n1-P*Sdf \\
 &*n1+P*Smf*n1-P*hdf*n1+P*hmf*n1)
 \end{aligned} \tag{3}$$

simplify symbolic

$$\begin{aligned}
 Q = I*\sqrt{D}*\sqrt{P}*\sqrt{n1}*\sqrt{(2*Adsf+2*Cdsf)*Qds+(P \\
 *\alpha*hmw*ts^2+2*Amw)*n1+(D*hdf*tm^2+2*Adf)*n2+2*Asf+2*Amf}
 \end{aligned}$$

$$\frac{1}{(\sqrt{n_2})\sqrt{\left(\left(\left(-h_{sf}-S_{sf}\right)\alpha+h_{mf}+S_{mf}\right)D-P\left(h_{mf}+S_{mf}\right)\right)^{n_2}+(-2h_{mf}-2S_{mf})^2D+P\left(h_{mf}-S_{df}+S_{mf}-h_{df}\right)^{n_1}-D\alpha^{n_2}\left(h_{mw}-h_{sf}+S_{mw}-S_{sf}\right)}} \quad (4)$$

Input parameter

```
eval(Q = I*sqrt(D)*sqrt(P)*sqrt(n1)*sqrt((2*Adsf+2*Cdsf)*Qds
+(P*alpha*hmw*ts^2+2*Amw)*n1+(D*hdf*tm^2+2*Adf)*n2+2*Asf+2*Amf)
/((sqrt(n2)*sqrt(((((-hsf-Ssf)*alpha+hmf+Smf)*D-P*(hmf+Smf))^n2
+(-2*hmf-2*Smf)*D+P*(hmf-Sdf+Smf-hdf))^n1-D*alpha*n2*(hmw-hsf+Smw
-Ssf))), [D = 3069, P = 4720, alpha = 1, Asf = 441, Amw = 206,
Amf = 175, Adf = 384, Adsf = 2.5, Csf = 20, Cmw = 30, Cmf = 50,
Cdf = 70, Cdsf = 80, hsf = 3, hmw = 3, hmf = 12, hdf = 13.3,
Ssf = 3, Smw = 7.5, Smf = 9, Sdf = 7.7, n1 = 1, n2 = 2,
ks = 0.1e-1, km = 0.8e-1, kd = 0.4e-1, v = 30, e = .1, Qds = 1])
Q = 0.9755489385e-3*sqrt(2)*sqrt(3069)*sqrt(4720)*sqrt(3345.0
+14160*ts^2+81635.4*tm^2) \quad (5)
```

simplify symbolic

$$Q = 0.9755489385e-3\sqrt{2}\sqrt{3069}\sqrt{4720}\sqrt{3345.0+14160ts^2+81635.4tm^2} \quad (6)$$

Differentiate (1) w.r.t. ts

$$(C_{mw}-C_{sf})e^{(k_s*ts)}k_s*\ln(e)*\alpha^D+h_{mw}*n_1*\alpha^P*ts^D/(n_2*Q)-h_{mw}*\alpha^D \quad (7)$$

solve for ts

$$ts = -(-k_s*\ln(e)*n_2*Q+LambertW(k_s^2*\ln(e)^2*Q*n_2*(C_{mw}-C_{sf})*\exp(k_s*\ln(e)*n_2*Q/(P*n_1))/(P*h_{mw}*n_1))^P*n_1)/(k_s*\ln(e)*P*n_1) \quad (8)$$

Input parameter

```
eval(ts = -(-ks*ln(e)*n2*Q+LambertW(ks^2*ln(e)^2*Q*n2*(Cmw-
Csf)*exp(ks*ln(e)*n2*Q/(P*n1))/(P*hmw*n1))^P*n1)/(ks*ln(e)*P
*n1), [D = 3069, P = 4720, alpha = 1, Asf = 441, Amw = 206,
Amf = 175, Adf = 384, Adsf = 2.5, Csf = 20, Cmw = 30, Cmf = 50,
Cdf = 70, Cdsf = 80, hsf = 3, hmw = 3, hmf = 12, hdf = 13.3,
Ssf = 3, Smw = 7.5, Smf = 9, Sdf = 7.7, n1 = 1, n2 = 2,
ks = 0.1e-1, km = 0.8e-1, kd = 0.4e-1, v = 30, e = .1, Qds = 1])
ts = 0.4237288136e-3*Q+43.42944819*LambertW(7.488556653*10
```

$$^{(-7)} * Q * \exp(-0.9756716496e-5 * Q) \quad (9)$$

Differentiate (1) w.r.t. tm

$$-hdf * (-D * tm + Q) * D / Q + Cdf * D * e^{(kd * tm)} * kd * \ln(e) + (Cdf - Cmf) * e^{(km * tm)} * km * \ln(e) * D \quad (10)$$

Solve for tm

$$tm = \text{RootOf}(Cdf * e^{(kd * _Z)} * kd * \ln(e) * Q + e^{(km * _Z)} * km * \ln(e) * Q * Cdf - e^{(km * _Z)} * km * \ln(e) * Q * Cmf + D * hdf * _Z - Q * hdf) \quad (11)$$

Input parameter

eval(tm = RootOf(Cdf * e^{(kd * _Z)} * kd * \ln(e) * Q + e^{(km * _Z)} * km * \ln(e) * Q * Cdf - e^{(km * _Z)} * km * \ln(e) * Q * Cmf + D * hdf * _Z - Q * hdf), [D = 3069, P = 4720, alpha = 1, Asf = 441, Amw = 206, Amf = 175, Adf = 384, Ads = 2.5, Csf = 20, Cmw = 30, Cmf = 50, Cdf = 70, Cds = 80, hsf = 3, hmw = 3, hmf = 12, hdf = 13.3, Ssf = 3, Smw = 7.5, Smf = 9, Sdf = 7.7, n1 = 1, n2 = 2, ks = 0.1e-1, km = 0.8e-1, kd = 0.4e-1, v = 30, e = .1, Qds = 1])

$$tm = \text{RootOf}(6.447238260 * .1^{(0.4e-1 * _Z)} * Q + 3.684136150 * .1^{(0.8e-1 * _Z)} * Q - 40817.7 * _Z + 13.3 * Q) \quad (12)$$

Dari persamaan nilai Q, keluarkan variabel t_s ke sisi kiri.

$$-Q + 0.9755489385e-3 * \sqrt{2} * \sqrt{3069} * \sqrt{4720} * \sqrt{3345.0 + 14160 * ts^2 + 81635.4 * tm^2} = 0$$

Solve fot ts

$$[ts = 1.415278952 * 10^{(-15)} * \sqrt{1.278750000 * 10^{24} * Q^2 - 2.878267645 * 10^{30} * tm^2 - 1.179366460 * 10^{29}}] \quad (13)$$

subtitution (13) to (9)

$$-1.415278952 * 10^{(-15)} * \sqrt{1.278750000 * 10^{24} * Q^2 - 2.878267645 * 10^{30} * tm^2 - 1.179366460 * 10^{29}} + 0.4237288136e-3 * Q + 43.42944819 * \text{LambertW}(7.488556653 * 10^{(-7)} * Q * \exp(-0.9756716496e-5 * Q)) = 0 \quad (14)$$

subtitution (13) to (12)

$$-tm + \text{RootOf}(6.447238260 * .1^{(0.4e-1 * _Z)} * Q + 3.684136150 * .1^{(0.8e-1 * _Z)} * Q - 40817.7 * _Z + 13.3 * Q) = 0 \quad (15)$$

Solve (14) for tm

$$tm = 2.386729288 * 10^{(-25)} * \sqrt{-7.193020073 * 10^{47} - 5.743108569 * 10^{51} * \text{LambertW}(7.488556653 * 10^{(-7)} * Q * \exp(-0.9756716496e-5 * Q))}$$

$$\begin{aligned} &^2-1.120677642*10^{47}*Q*LambertW(7.488556653*10^{(-7)*Q} \\ &*exp(-0.9756716496e-5*Q))+7.252458978*10^{42}*Q^2) \end{aligned} \quad (16)$$

subtitution (16) to (15)

$$\begin{aligned} &-2.386729288*10^{(-25)*sqrt(-7.193020073*10^{47}-5.743108569*10^{51} \\ &*LambertW(7.488556653*10^{(-7)*Q}*exp(-0.9756716496e-5*Q))}^2- \\ &1.120677642*10^{47}*Q*LambertW(7.488556653*10^{(-7)*Q} \\ &*exp(-0.9756716496e-5*Q))+7.252458978*10^{42}*Q^2) \\ &+RootOf(6.447238260*.1^{(0.4e-1*_Z)*Q}+3.684136150 \\ &*.1^{(0.8e-1*_Z)*Q}-40817.7*_Z+13.3*Q) = 0 \end{aligned} \quad (17)$$

Solve for Q

$$Q = 312.1525551$$

subtitution (Q) to (16)

$$\begin{aligned} &eval(tm = 2.386729288*10^{(-25)*sqrt(-7.193020073*10^{47}- \\ &5.743108569*10^{51}*LambertW(7.488556653*10^{(-7)*Q}*exp(-0.9756716496e- \\ &5*Q))}^2-1.120677642*10^{47}*Q*LambertW(7.488556653*10^{(-7)*Q}*exp(- \\ &0.9756716496e-5*Q))+7.252458978*10^{42}*Q^2), [Q = 312.1525551]) \end{aligned} \quad (18)$$

$$tm = 0.5587476211e-1$$

subtitution (Q & tm) to (13)

$$\begin{aligned} &eval(ts = 1.415278952*10^{(-15)*sqrt(1.278750000*10^{24}*Q^2- \\ &2.878267645*10^{30}*tm^2-1.179366460*10^{29}), [Q = 312.1525551, \\ &tm = 0.5587476211e-1]) \end{aligned} \quad (19)$$

$$ts = 0.1572672653e-1$$

total cost calculation

$$\begin{aligned} &eval(Asf*D/(n2*Q)+Csf*alpha*D+(1/2)*n1*(n1- \\ &1)*((hsf+Ssf)*alpha*n2*Q*D/(P*n1^2))+hsf*tau; m` *alpha*D+(Cmw- \\ &Csf)*e^(ks*ts)*alpha*D+n1*Amw*D/(n2*Q)+Cmw*alpha*n2*Q*D*(1/(n2*Q)) \\ &+hmw*alpha^2*n2^2*Q^2*D/(2*alpha*P*n1*n2*Q)-hmw*alpha*n2*Q*ts \\ &*D*(1/(n2*Q))+hmw*n1*alpha*P*ts^2*D/(2*n2*Q)+Smw*alpha*n2^2*Q^2 \\ &*D/(2*P*n1*n2*Q)-Cmw*alpha*n2*Q*e^(km*tau; m`) *D*(1/(n2*Q)) \\ &+Amf*D/(n2*Q)+Cmf*D+(hmf+Smf)*Q*(2*D+(P-D)*n2-P)/(2*P)+hmf \\ &*tau; d` *D+(Cdf-Cmf)*e^(km*tm)*D-Cdf*e^(km*(tau; d` -tm)) *D+(Adf \\ &*D/Q+Cdf*D+hdf*(-D*tm+Q)^2/(2*Q)+(1/2)*Sdf*Q+Cdf*e^(km*(tau; d` \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& -tm)) * D + v * (-Q * n2 + Qds) * D / (n2 * Q) - Cdf * D * (1 - e^{(kd * tm)}) + Qds * Adsf * D \\
& / (n2 * Q) + Cdsf * Qds * D / (n2 * Q) - v * (-Q * n2 + Qds) * D / (n2 * Q), [D = 3069, \\
& P = 4720, \alpha = 1, Asf = 441, Amw = 206, Amf = 175, Adf = 384, \\
& Adsf = 2.5, Csf = 20, Cmw = 30, Cmf = 50, Cdf = 70, Cdsf = 80, \\
& hsf = 3, hmw = 3, hmf = 12, hdf = 13.3, Ssf = 3, Smw = 7.5, \\
& Smf = 9, Sdf = 7.7, n1 = 1, n2 = 2, ks = 0.1e-1, km = 0.8e-1, \\
& kd = 0.4e-1, v = 30, w = 50, e = .1, Q = 312.1525551, Qds = 671, \\
& m = 745, ts = 0.1572672653e-1, \tau_m = 0.1572672653e-1, \\
& tm = 0.5587476211e-1, \tau_d = 0.6587476211e-1] \tag{20} \\
& TSC = 8.166669814 * 10^5
\end{aligned}$$

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Lampiran 3 : Hasil Perhitungan *Excel Solver*

Skenario Kasus 0.0.0

Parameter Dasar													
D	P	α	$A_{s,f}$	$A_{m,w}$	$A_{m,f}$	$A_{d,f}$	$A_{ds,f}$	$C_{s,f}$	$C_{m,w}$	$C_{m,f}$	$C_{d,f}$	$C_{ds,f}$	
3069.00	4720.00	1.00	441.00	206.00	175.00	384.00	2.50	20.00	30.00	50.00	70.00	80.00	
$h_{s,f}$	$h_{m,w}$	$h_{m,f}$	$h_{d,f}$	$S_{s,f}$	$S_{m,w}$	$S_{m,f}$	$S_{d,f}$	n_1	n_2	k_s	k_m	k_d	
3.00	3.00	12.00	13.30	3.00	7.50	9.00	7.70	1.00	2.00	0.01	0.08	0.04	
v	e	w	m	Qds									
30.00	0.10	50.00	592.21	532.99									

Pembatas									
ts	>	tm	<	0.125468602	tm	>	td	<	0.096483
>=					>=				
0.01					0.01				

Variabel Keputusan				
Q	ts	tm	tm	td
296.11	0.00	0.00	0.00	0.00

Total Biaya				
Supplier	Mfg R	Mfg F	Dist	Dropship
94,355	3,089	218,846	237,264	243,218
221,935				
796,773				

Skenario Kasus 1.1.1

Parameter Dasar													
D	P	α	$A_{s,f}$	$A_{m,w}$	$A_{m,f}$	$A_{d,f}$	$A_{ds,f}$	$C_{s,f}$	$C_{m,w}$	$C_{m,f}$	$C_{d,f}$	$C_{ds,f}$	
3069.00	4720.00	1.00	441.00	206.00	175.00	384.00	2.50	20.00	30.00	50.00	70.00	80.00	
$h_{s,f}$	$h_{m,w}$	$h_{m,f}$	$h_{d,f}$	$S_{s,f}$	$S_{m,w}$	$S_{m,f}$	$S_{d,f}$	n_1	n_2	k_s	k_m	k_d	
3.00	3.00	12.00	13.30	3.00	7.50	9.00	7.70	1.00	2.00	0.01	0.08	0.04	
v	e	w	m	Qds									
30.00	0.10	50.00	651.37	586.24									

Pembatas									
ts	>	tm	<	0.138003	tm	>	td	<	0.106121
>=					>=				
0.01					0.01				

Variabel Keputusan				
Q	ts	tm	tm	td
325.69	0.01	0.01	0.09	0.09

Total Biaya				
Supplier	Mfg R	Mfg F	Dist	Dropship
94,233	3,275	221,387	233,316	243,218
224,662				
795,429				

Skenario Kasus 1.1.2

Parameter Dasar													
D	P	α	$A_{s,f}$	$A_{m,w}$	$A_{m,f}$	$A_{d,f}$	$A_{ds,f}$	$C_{s,f}$	$C_{m,w}$	$C_{m,f}$	$C_{d,f}$	$C_{ds,f}$	
3069.00	4720.00	1.00	441.00	206.00	175.00	384.00	2.50	20.00	30.00	50.00	70.00	80.00	
$h_{s,f}$	$h_{m,w}$	$h_{m,f}$	$h_{d,f}$	$S_{s,f}$	$S_{m,w}$	$S_{m,f}$	$S_{d,f}$	n_1	n_2	k_s	k_m	k_d	
3.00	3.00	12.00	13.30	3.00	7.50	9.00	7.70	1.00	2.00	0.01	0.08	0.04	
v	e	w	m	Q_{ds}									
30.00	0.10	50.00	781.65	703.48									

Pembatas				
ts		τ_m		tm
0.01	>	0.01	<	0.138002722
>=				>=
0.01				0.01
				τ_d
				0.09
				<
				0.106121

Variabel Keputusan				
Q	ts	τ_m	tm	τ_d
325.69	0.01	0.01	0.09	0.09

Total Biaya				
Supplier	Mfg R	Mfg F	Dist	Dropship
94,233	3,275	221,387	225,337	266,082
	224,662			
810,314				

Skenario Kasus 1.2.1

Parameter Model													
D	P	α	$A_{s,f}$	$A_{m,w}$	$A_{m,f}$	$A_{d,f}$	$A_{ds,f}$	$C_{s,f}$	$C_{m,w}$	$C_{m,f}$	$C_{d,f}$	$C_{ds,f}$	
3069.00	4720.00	1.00	441.00	206.00	175.00	384.00	2.50	20.00	30.00	50.00	70.00	80.00	
$h_{s,f}$	$h_{m,w}$	$h_{m,f}$	$h_{d,f}$	$S_{s,f}$	$S_{m,w}$	$S_{m,f}$	$S_{d,f}$	n_1	n_2	k_s	k_m	k_d	
3.00	3.00	12.00	13.30	3.00	7.50	9.00	7.70	1.00	2.00	0.01	0.08	0.04	
v	e	w	m	Q_{ds}									
30.00	0.10	50.00	621.01	558.91									

Pembatas				
ts		τ_m		tm
0.01	>	0.01	<	0.131569474
>=				>=
0.01				0.01
				τ_d
				0.06
				<
				0.07
				<
				0.101174

Variabel Keputusan				
Q	ts	τ_m	tm	τ_d
310.50	0.01	0.01	0.06	0.07

Total Biaya				
Supplier	Mfg R	Mfg F	Dist	Dropship
94,334	3,219	11,585	448,681	243,218
	14,804			
801,038				

Skenario Kasus 1.2.2

Parameter Model												
D	P	α	$A_{s,f}$	$A_{m,w}$	$A_{m,f}$	$A_{d,f}$	$A_{ds,f}$	$C_{s,f}$	$C_{m,w}$	$C_{m,f}$	$C_{d,f}$	$C_{ds,f}$
3069.00	4720.00	1.00	441.00	206.00	175.00	384.00	2.50	20.00	30.00	50.00	70.00	80.00
$h_{s,f}$	$h_{m,w}$	$h_{m,f}$	$h_{d,f}$	$S_{s,f}$	$S_{m,w}$	$S_{m,f}$	$S_{d,f}$	n_1	n_2	k_s	k_m	k_d
3.00	3.00	12.00	13.30	3.00	7.50	9.00	7.70	1.00	2.00	0.01	0.08	0.04
v	e	w	m	Qds								
30.00	0.10	50.00	745.21	670.69								

Pembatas				
ts	τ_m	tm	τ_d	
0.01	>	0.01	<	0.131569499
>=				>=
0.01				0.01

Variabel Keputusan				
Q	ts	τ_m	tm	τ_d
310.50	0.01	0.01	0.06	0.07

Total Biaya				
Supplier	Mfg R	Mfg F	Dist	Dropship
94,334	3,219	11,585	440,702	266,082
14,804				
815,922				

Skenario Kasus 2.1.1

Parameter Model												
D	P	α	$A_{s,f}$	$A_{m,w}$	$A_{m,f}$	$A_{d,f}$	$A_{ds,f}$	$C_{s,f}$	$C_{m,w}$	$C_{m,f}$	$C_{d,f}$	$C_{ds,f}$
3069.00	4720.00	1.00	441.00	206.00	175.00	384.00	2.50	20.00	30.00	50.00	70.00	80.00
$h_{s,f}$	$h_{m,w}$	$h_{m,f}$	$h_{d,f}$	$S_{s,f}$	$S_{m,w}$	$S_{m,f}$	$S_{d,f}$	n_1	n_2	k_s	k_m	k_d
3.00	3.00	12.00	13.30	3.00	7.50	9.00	7.70	1.00	2.00	0.01	0.08	0.04
v	e	w	m	Qds								
30.00	0.10	50.00	651.37	586.24								

Pembatas				
ts	τ_m	tm	τ_d	
0.01	<	0.02	<	0.138002721
>=				>=
0.01				0.01

Variabel Keputusan				
Q	ts	τ_m	tm	τ_d
325.69	0.01	0.02	0.09	0.09

Total Biaya				
Supplier	Mfg R	Mfg F	Dist	Dropship
2,276	95,493	221,387	233,316	243,218
316,880				
795,691				

Skenario Kasus 2.1.2

Parameter Model												
D	P	α	$A_{s,f}$	$A_{m,w}$	$A_{m,f}$	$A_{d,f}$	$A_{ds,f}$	$C_{s,f}$	$C_{m,w}$	$C_{m,f}$	$C_{d,f}$	$C_{ds,f}$
3069.00	4720.00	1.00	441.00	206.00	175.00	384.00	2.50	20.00	30.00	50.00	70.00	80.00
$h_{s,f}$	$h_{m,w}$	$h_{m,f}$	$h_{d,f}$	$S_{s,f}$	$S_{m,w}$	$S_{m,f}$	$S_{d,f}$	n_1	n_2	k_s	k_m	k_d
3.00	3.00	12.00	13.30	3.00	7.50	9.00	7.70	1.00	2.00	0.01	0.08	0.04
v	e	w	m	Q_{ds}								
30.00	0.10	50.00	781.65	703.48								
Pembatas												
τ_s		τ_m		τ_m		τ_d						
0.01	<	0.02	<	0.138002725		0.09	=	0.09	<	0.106121		
>=						>=						
0.01						0.01						
Variabel Keputusan												
Q	τ_s	τ_m	τ_m	τ_d								
325.69	0.01	0.02	0.09	0.09								
Total Biaya												
Supplier	Mfg R	Mfg F	Dist	Dropship								
2,276	95,493	221,387	225,337	266,082								
	316,880											
810,575												

Skenario Kasus 2.2.1

Parameter Model												
D	P	α	$A_{s,f}$	$A_{m,w}$	$A_{m,f}$	$A_{d,f}$	$A_{ds,f}$	$C_{s,f}$	$C_{m,w}$	$C_{m,f}$	$C_{d,f}$	$C_{ds,f}$
3069.00	4720.00	1.00	441.00	206.00	175.00	384.00	2.50	20.00	30.00	50.00	70.00	80.00
$h_{s,f}$	$h_{m,w}$	$h_{m,f}$	$h_{d,f}$	$S_{s,f}$	$S_{m,w}$	$S_{m,f}$	$S_{d,f}$	n_1	n_2	k_s	k_m	k_d
3.00	3.00	12.00	13.30	3.00	7.50	9.00	7.70	1.00	2.00	0.01	0.08	0.04
v	e	w	m	Q_{ds}								
30.00	0.10	50.00	621.01	558.91								
Pembatas												
τ_s		τ_m		τ_m		τ_d						
0.01	>	0.02	<	0.131569478		0.06	<	0.07	<	0.101174		
>=						>=						
0.01						0.01						
Variabel Keputusan												
Q	τ_s	τ_m	τ_m	τ_d								
310.50	0.01	0.02	0.06	0.07								
Total Biaya												
Supplier	Mfg R	Mfg F	Dist	Dropship								
2,378	95,437	11,585	448,681	243,218								
	107,021											
801,299												

Skenario Kasus 2.2.2

Parameter Model												
D	P	α	$A_{s,f}$	$A_{m,w}$	$A_{m,f}$	$A_{d,f}$	$A_{ds,f}$	$C_{s,f}$	$C_{m,w}$	$C_{m,f}$	$C_{d,f}$	$C_{ds,f}$
3069.00	4720.00	1.00	441.00	206.00	175.00	384.00	2.50	20.00	30.00	50.00	70.00	80.00
$h_{s,f}$	$h_{m,w}$	$h_{m,f}$	$h_{d,f}$	$S_{s,f}$	$S_{m,w}$	$S_{m,f}$	$S_{d,f}$	n_1	n_2	k_s	k_m	k_d
3.00	3.00	12.00	13.30	3.00	7.50	9.00	7.70	1.00	2.00	0.01	0.08	0.04
v	e	w	m	Qds								
30.00	0.10	50.00	745.21	670.69								

Pembatas									
t_s		τ_m			t_m		τ_d		
0.01	>	0.02	<	0.131569504	0.06	<	0.07	<	0.101174
>=					>=				
0.01					0.01				

Variabel Keputusan				
Q	t_s	τ_m	t_m	τ_d
310.50	0.01	0.02	0.06	0.07

Total Biaya				
Supplier	Mfg R	Mfg F	Dist	Dropship
2,378	95,437	11,585	440,702	266,082
	107,021			
816,183				

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Lampiran 4 : Validasi Perhitungan

Kasus 1.1.1 : $0 \leq t_s = \tau_m \leq \frac{n_2 Q}{P n_1}$ dan $0 \leq t_m = \tau_d \leq \frac{Q}{D}$ dan $m = Q > Q_{ds}$

Biaya tahunan supplier

$$\psi_{s,f}^{1.1.1} = \frac{A_{s,f} D}{n_2 Q} + C_{s,f} \alpha D + \frac{n_1(n_1 - 1)}{2} (h_{s,f} + S_{s,f}) \frac{\alpha n_2 Q D}{P n_1^2} + h_{s,f} \tau_m \alpha D$$

$$+ (C_{m,w} - C_{s,f}) e^{k_s t_s} \alpha D$$

$$\psi_{s,f}^{1.1.1} = \frac{441 \times 3069}{2 \times 326} + 20 \times 1 \times 3069 + \frac{1 \times (1 - 1)}{2} (3 + 3) \frac{1 \times 2 \times 326 \times 3069}{4720 \times 1^2} + 3 \times 0.01$$

$$\times 1 \times 3069 + (30 - 20) \times 0.1^{0.01 \times 0.01} \times 1 \times 3069$$

$$\psi_{s,f}^{1.1.1} = 94,231$$

Biaya tahunan manufaktur (bahan baku)

$$\psi_{m,w}^{1.1.1} = \frac{n_1 A_{m,w} D}{n_2 Q} + \frac{C_{m,w} \alpha n_2 Q D}{n_2 Q} + \frac{h_{m,w} \alpha^2 n_2^2 Q^2 D}{2 \alpha P n_1 n_2 Q} - \frac{h_{m,w} \alpha n_2 Q t_s D}{n_2 Q} + \frac{h_{m,w} n_1 \alpha P t_s^2 D}{2 n_2 Q}$$

$$+ \frac{S_{m,w} \alpha n_2^2 Q^2 D}{2 P n_1 n_2 Q} - \frac{C_{m,w} \alpha n_2 Q e^{k_m \tau_m} D}{n_2 Q}$$

$$\psi_{m,w}^{1.1.1} = \frac{1 \times 206 \times 3069}{2 \times 326} + \frac{30 \times 1 \times 2 \times 326 \times 3069}{2 \times 326} + \frac{3 \times 1^2 \times 2^2 \times 326^2 \times 3069}{2 \times 1 \times 4720 \times 1 \times 2 \times 326}$$

$$- \frac{3 \times 1 \times 2 \times 326 \times 0.01 \times 3069}{2 \times 326} + \frac{3 \times 1 \times 1 \times 4720 \times 0.01^2 \times 3069}{2 \times 2 \times 326}$$

$$+ \frac{7.5 \times 1 \times 2^2 \times 326^2 \times 3069}{2 \times 4720 \times 1 \times 2 \times 326} - \frac{30 \times 1 \times 2 \times 326 \times 0.1^{0.08 \times 0.01} \times 3069}{2 \times 326}$$

$$\psi_{m,w}^{1.1.1} = 3,275$$

Biaya tahunan manufaktur (produk jadi)

$$\psi_{m,f}^{1.1.1} = \frac{A_{m,f} D}{n_2 Q} + C_{m,f} D + (h_{m,f} + S_{m,f}) \left(\frac{Q(2D + (P - D)n_2 - P)}{2P} \right) + h_{m,f} \tau_d D$$

$$+ (C_{d,f} - C_{m,f}) e^{k_m t_m} D$$

$$\psi_{m,f}^{1.1.1} = \frac{175 \times 3069}{2 \times 326} + 50 \times 3069$$

$$+ (12 + 9) \left(\frac{326 \times (2 \times 3069 + (4720 - 3069) \times 2 - 4720)}{2 \times 4720} \right) + 12 \times 0.09$$

$$\times 3069 + (70 - 50) \times 0.1^{0.08 \times 0.09} \times 3069$$

$$\psi_{m,f}^{1.1.1} = 221,382$$

Biaya tahunan distributor

$$\psi_{d,f}^{1.1.1} = \frac{A_{d,f}D}{Q} + C_{d,f}D + \frac{h_{d,f}(Q - Dt_m)^2}{2Q} + \frac{S_{d,f}Q}{2} - C_{d,f}D(1 - e^{k_d t_m}) - \frac{w(m - Q_{ds})D}{n_2 Q}$$

$$\begin{aligned} \psi_{d,f}^{1.1.1} &= \frac{384 \times 3069}{326} + 70 \times 3069 + \frac{13.3 \times (326 - 3069 \times 0.09)^2}{2 \times 326} + \frac{7.7 \times 326}{2} - 70 \\ &\quad \times 3069(1 - 0.1^{0.04 \times 0.09}) - \frac{50 \times (651 - 586)3069}{2 \times 326} \end{aligned}$$

$$\psi_{d,f}^{1.1.1} = 233,317$$

Biaya tahunan drop-shipper

$$\psi_{ds,f}^{1.1.1} = \frac{Q_{ds}A_{ds,f}D}{n_2 Q} + \frac{C_{ds,f}Q_{ds}D}{n_2 Q} + \frac{w(m - Q_{ds})D}{n_2 Q}$$

$$\psi_{ds,f}^{1.1.1} = \frac{586 \times 2.5 \times 3069}{2 \times 326} + \frac{80 \times 586 \times 3069}{2 \times 326} + \frac{50 \times (651 - 586) \times 3069}{2 \times 326}$$

$$\psi_{ds,f}^{1.1.1} = 243,218$$

Total biaya tahunan sistem rantai pasokan

$$\psi_{SC}^{1.1.1} = \psi_{s,f}^{1-1-1} + \psi_{m,w}^{1-1-1} + \psi_{m,f}^{1-1-1} + \psi_{d,f}^{1-1-1} + \psi_{ds,f}^{1-1-1}$$

$$\psi_{SC}^{1.1.1} = 94,231 + 3,275 + 221,382 + 233,317 + 243,218$$

$$\psi_{SC}^{1.1.1} = 795,423$$

Kasus 1.1.2 : $0 \leq t_s = \tau_m \leq \frac{n_2 Q}{P n_1}$ dan $0 \leq t_m = \tau_d \leq \frac{Q}{D}$ dan $Q < Q_{ds} \leq m$

Biaya tahunan supplier

$$\psi_{s,f}^{1.1.2} = \frac{A_{s,f} D}{n_2 Q} + C_{s,f} \alpha D + \frac{n_1 (n_1 - 1)}{2} (h_{s,f} + S_{s,f}) \frac{\alpha n_2 Q D}{P n_1^2} + h_{s,f} \tau_m \alpha D$$

$$+ (C_{m,w} - C_{s,f}) e^{k_s t_s} \alpha D$$

$$\psi_{s,f}^{1.1.2} = \frac{441 \times 3069}{2 \times 326} + 20 \times 1 \times 3069 + \frac{1 \times (1 - 1)}{2} (3 + 3) \frac{1 \times 2 \times 326 \times 3069}{4720 \times 1^2} + 3 \times 0.01$$

$$\times 1 \times 3069 + (30 - 20) \times 0.1^{0.01 \times 0.01} \times 1 \times 3069$$

$$\psi_{s,f}^{1.1.2} = 94,231$$

Biaya tahunan manufaktur (bahan baku)

$$\psi_{m,w}^{1.1.2} = \frac{n_1 A_{m,w} D}{n_2 Q} + \frac{C_{m,w} \alpha n_2 Q D}{n_2 Q} + \frac{h_{m,w} \alpha^2 n_2^2 Q^2 D}{2 \alpha P n_1 n_2 Q} - \frac{h_{m,w} \alpha n_2 Q t_s D}{n_2 Q} + \frac{h_{m,w} n_1 \alpha P t_s^2 D}{2 n_2 Q}$$

$$+ \frac{S_{m,w} \alpha n_2^2 Q^2 D}{2 P n_1 n_2 Q} - \frac{C_{m,w} \alpha n_2 Q e^{k_m \tau_m D}}{n_2 Q}$$

$$\psi_{m,w}^{1.1.2} = \frac{1 \times 206 \times 3069}{2 \times 326} + \frac{30 \times 1 \times 2 \times 326 \times 3069}{2 \times 326} + \frac{3 \times 1^2 \times 2^2 \times 326^2 \times 3069}{2 \times 1 \times 4720 \times 1 \times 2 \times 326}$$

$$- \frac{3 \times 1 \times 2 \times 326 \times 0.01 \times 3069}{2 \times 326} + \frac{3 \times 1 \times 1 \times 4720 \times 0.01^2 \times 3069}{2 \times 2 \times 326}$$

$$+ \frac{7.5 \times 1 \times 2^2 \times 326^2 \times 3069}{2 \times 4720 \times 1 \times 2 \times 326} - \frac{30 \times 1 \times 2 \times 326 \times 0.1^{0.08 \times 0.01} \times 3069}{2 \times 326}$$

$$\psi_{m,w}^{1.1.2} = 3,275$$

Biaya tahunan manufaktur (produk jadi)

$$\psi_{m,f}^{1.1.2} = \frac{A_{m,f} D}{n_2 Q} + C_{m,f} D + (h_{m,f} + S_{m,f}) \left(\frac{Q(2D + (P - D)n_2 - P)}{2P} \right) + h_{m,f} \tau_d D$$

$$+ (C_{d,f} - C_{m,f}) e^{k_m t_m D}$$

$$\psi_{m,f}^{1.1.2} = \frac{175 \times 3069}{2 \times 326} + 50 \times 3069$$

$$+ (12 + 9) \left(\frac{326 \times (2 \times 3069 + (4720 - 3069) \times 2 - 4720)}{2 \times 4720} \right) + 12 \times 0.09$$

$$\times 3069 + (70 - 50) \times 0.1^{0.08 \times 0.09} \times 3069$$

$$\psi_{m,f}^{1.1.2} = 221,382$$

Biaya tahunan distributor

$$\psi_{d,f}^{1.1.2} = \frac{A_{d,f}D}{Q} + C_{d,f}D + \frac{h_{d,f}(Q - Dt_m)^2}{2Q} + \frac{S_{d,f}Q}{2} + \frac{v(Q_{ds} - Qn_2)D}{n_2Q} - C_{d,f}D(1 - e^{kat_m})$$

$$\psi_{d,f}^{1.1.2} = \frac{384 \times 3069}{326} + 70 \times 3069 + \frac{13.3 \times (326 - 3069 \times 0.09)^2}{2 \times 326} + \frac{7.7 \times 326}{2} + \frac{30 \times (703 - 326 \times 2) \times 3069}{2 \times 326} - 70 \times 3069 \times (1 - 0.1^{0.04 \times 0.09})$$

$$\psi_{d,f}^{1.1.2} = 225,180$$

Biaya tahunan drop-shipper

$$\psi_{ds,f}^{1.1.2} = \frac{Q_{ds}A_{ds,f}D}{n_2Q} + \frac{C_{ds,f}Q_{ds}D}{n_2Q} - \frac{v(Q_{ds} - Qn_2)D}{n_2Q}$$

$$\psi_{ds,f}^{1.1.2} = \frac{703 \times 2.5 \times 3069}{2 \times 326} + \frac{80 \times 703 \times 3069}{2 \times 326} - \frac{30 \times (703 - 326 \times 2) \times 3069}{2 \times 326}$$

$$\psi_{ds,f}^{1.1.2} = 266,083$$

Total biaya tahunan sistem rantai pasokan

$$\psi_{SC}^{1.1.2} = \psi_{s,f}^{1-1-1} + \psi_{m,w}^{1-1-1} + \psi_{m,f}^{1-1-1} + \psi_{d,f}^{1-1-1} + \psi_{ds,f}^{1-1-1}$$

$$\psi_{SC}^{1.1.2} = 94,231 + 3,275 + 221,382 + 225,180 + 266,083$$

$$\psi_{SC}^{1.1.2} = 810,151$$

BIOGRAFI PENULIS



Penulis lahir di Kota Samarinda Provinsi Kalimantan Timur pada tanggal 17 Desember 1993 dengan nama lengkap Muhammad Faisal Ibrahim. Penulis merupakan anak kedua dari empat bersaudara. Penulis menempuh pendidikan dasar hingga atas di SDN 007 Samarinda, SMPN 1 Samarinda, dan SMAN 1 Samarinda. Setelah menyelesaikan pendidikan SMA pada tahun 2011, penulis melanjutkan pendidikan di Universitas Muhammadiyah Malang. Penulis melanjutkan studi pada Jurusan Teknik Industri UMM dan menyelesaikan pendidikan jenjang Sarjana Strata 1 pada tahun 2015. Selama penempuh pendidikan di Jurusan Teknik Industri UMM penulis aktif dalam berbagai kegiatan kampus baik akademik maupun non akademik. Penulis aktif sebagai anggota Himpunan Teknik Industri UMM. Selain itu penulis juga menjadi asisten Laboratorium Teknik Industri UMM dan Laboratorium Fakultas Teknik UMM sejak tahun 2012 hingga 2015. Penulis juga aktif dalam kepanitiaan Seminar Nasional maupun Internasional yang diselenggarakan oleh Jurusan Teknik Industri UMM. Setelah menyelesaikan pendidikan jenjang Sarjana penulis sempat bekerja sebagai praktisi selama kurang lebih enam bulan hingga akhirnya melanjutkan pendidikan jenjang Magister Strata 2. Penulis menempuh pendidikan jenjang Magister pada Program Pascasarjana Jurusan Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Dalam menempuh pendidikan di Program Pascasarjana ITS, penulis fokus pada konsentrasi bidang Manajemen Logistik dan Rantai Pasok. Penulis tertarik dalam bidang Manajemen Rantai Pasok, Manajemen Logistik, Manajemen Persediaan, Manajemen Distribusi, dan Manajemen Industri. Penulis dapat dihubungi melalui email faisalibrahim.ie@gmail.com.