



TUGAS AKHIR – TI 184833

***INVENTORY LOT-SIZING PROBLEM UNTUK PENGADAAN
KANTONG SEMEN DENGAN MEMPERTIMBANGKAN
MULTI-PERIOD SCENARIO DAN FAKTOR KUALITAS
UNTUK MULTI-SUPPLIER DAN MULTI-PRODUCT***

Cintaka Septania Claudia

02411640000137

Dosen Pembimbing

Niniet Indah Arvitrida, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 198407062009122007

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM DAN INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2020



FINAL PROJECT – TI 184833

**INVENTORY LOT-SIZING PROBLEM FOR PROCURING
CEMENT BAGS BY CONSIDERING MULTI-PERIOD
SCENARIO AND QUALITY FACTOR FOR MANY SUPPLIERS
WITH MULTI-PRODUCT**

Cintaka Septania Claudia

02411640000137

Supervisor

Niniet Indah Arvitrida, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 198407062009122007

DEPARTMENT OF INDUSTRIAL AND SYSTEM ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY AND SYSTEMS
ENGINEERING
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2020

LEMBAR PENGESAHAN

INVENTORY LOT-SIZING PROBLEM UNTUK PENGADAAN **KANTONG SEMEN DENGAN MEMPERTIMBANGKAN** ***MULTI-PERIOD SCENARIO*** DAN FAKTOR KUALITAS **UNTUK *MULTI-SUPPLIER* DAN *MULTI-PRODUCT***

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem dan Industri Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Penulis:

CINTAKA SEPTANIA CLAUDIA

02411640000137

Mengetahui dan menyetujui,
Dosen Pembimbing Tugas Akhir



Niniet Indah Arvitrida, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 198407062009122007

SURABAYA, AGUSTUS 2020



***INVENTORY LOT-SIZING PROBLEM* UNTUK PENGADAAN
KANTONG SEMEN DENGAN MEMPERTIMBANGKAN
MULTI-PERIOD SCENARIO DAN FAKTOR KUALITAS
UNTUK *MULTI-SUPPLIER* DAN *MULTI-PRODUCT***

Nama : Cintaka Septania Claudia
NRP : 02411640000137
Pembimbing : Niniet Indah Arvitrida, ST., MT., Ph.D.

ABSTRAK

Inventory lot-sizing problem merupakan salah satu jenis masalah dalam manajemen persediaan yang bertujuan untuk menentukan jumlah barang yang dipesan dalam memenuhi permintaan dengan tujuan meminimalkan total biaya pengadaan. Pada kasus yang terjadi pada PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk khususnya *packing plant* Tuban, terdapat permasalahan pada pengadaan kantong semen dengan merek dagang Semen Gresik karena tingginya jumlah *overstock* maupun *stockout* pada masing-masing jenis kantong. Jika penanganan dalam pengadaan kantong tidak tepat, maka dapat berpengaruh langsung dalam proses distribusi semen untuk memenuhi ketersediaan semen di pasar. Biaya yang dikeluarkan pada tahun 2019 untuk pemenuhan kebutuhan kantong mencapai Rp 343,392,538,946, stok yang disimpan pada awal tiap periode yang diakibatkan penyimpanan kantong pada periode sebelumnya juga tinggi, yaitu mencapai total 17,334,128 unit per tahunnya, faktor kualitas dari masing-masing *supplier* kantong juga mempengaruhi ketersediaan semen karena kondisi beberapa kantong yang diterima dari *supplier* tidak sesuai dengan kualitas sehingga terdapat kondisi kantong yang pecah pada saat proses *packing*. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dalam penelitian ini dirancang model matematis untuk menentukan jumlah pembelian kantong untuk memenuhi permintaan dengan batasan berupa permintaan, kualitas *supplier*, kapasitas gudang dan kapasitas *supplier*. Tujuan dari perancangan model matematis adalah untuk mendapatkan total biaya pembelian, pemesanan dan penyimpanan yang paling minimum. Model matematis untuk *inventory lot-sizing* menggunakan model matematis *mixed integer linear programming* (MILP) dengan mempertimbangkan *multi-period scenario* dan faktor kualitas untuk *multi-supplier* dan *multi-product*. Output dari hasil model matematis memberikan penghematan sebesar Rp 4,614,855,795,- dengan jumlah penghematan terbesar pada biaya penyimpanan yaitu sebesar Rp 3,838,970,867,-.

Kata Kunci: *Faktor Kualitas, Inventory Lot-Sizing Problem, Mixed Integer Linear Programming, Multi-Period Scenario, Optimization*

INVENTORY LOT-SIZING PROBLEM FOR PROCURING CEMENT BAGS BY CONSIDERING MULTI-PERIOD SCENARIO AND QUALITY FACTOR FOR MANY SUPPLIERS WITH MULTI-PRODUCT

Nama : Cintaka Septania Claudia
NRP : 02411640000137
Supervisor : Niniet Indah Arvitrida, ST., MT., Ph.D.

ABSTRACT

Inventory lot-sizing problem is type of problems in inventory management which function to determine the number of goods ordered to meet demand with the objective to minimizing total procurement costs. In the case of PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk particularly in Tuban packing plant, there are problems with the procurement of cement bags under the brand name Semen Gresik due to the high number of overstocks and stockouts. If the handling in the procurement of bags is not appropriate, it can directly influence the cement distribution process to meet the availability of cement in the market. Costs incurred in 2019 for the procurement of bags reach Rp 343,392,538,946,- the stock saved at the beginning of each period due to the storage of bags in the previous period was also high, reaching a total of 17,334,128 units per year, the quality factor of bag suppliers also affects availability of cement because the condition of some bags received from the suppliers is in imperfect condition, so that there is a condition that the bag broke during the packing process. To overcome these problems, in this study a mathematical model was designed to determine the number of bags purchased to meet demand with constraints in the form of demand, supplier quality, warehouse capacity and supplier capacity. The objective of designing a mathematical model is to get the minimum total purchase costs, order costs and holding costs. The mathematical model for inventory lot-sizing uses a mixed integer linear programming (MILP) by considering multi-period scenarios and quality factor for multi-suppliers and multi-products. The output from the mathematical model results in savings of Rp 4,614,855,795,- with the largest amount of savings in holding costs of Rp 3,838,970,867,-

Kata Kunci: *Inventory Lot-Sizing Problem, Mixed Integer Linear Programming, Multi-Period Scenario, Optimization, Quality Factor*

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan sebaik-baiknya. Laporan Tugas Akhir ini diajukan sebagai syarat menyelesaikan program studi Strata-1 di Departemen Teknik Sistem dan Industri ITS Surabaya. Laporan Tugas Akhir ini berjudul “*Inventory Lot-Sizing Problem Untuk Pengadaan Kantong Semen Dengan Mempertimbangkan Multi-Period Scenario dan Faktor Kualitas Untuk Multi-Supplier dan Multi-Product*”. Penulis juga menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak-pihak yang telah mendukung penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, oleh sebab itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan kesehatan serta kekuatan kepada penulis selama pelaksanaan dan pengerjaan Tugas Akhir ini sehingga seluruhnya dapat diselesaikan dengan baik.
2. Kedua orang tua Bapak Obrus Margunadi dan Ibu Suryaningsih, serta kedua saudara laki-laki Aditya Desta Krisnata dan Binanda Apprayoga yang telah memberikan doa, dukungan, semangat serta motivasi kepada penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Niniet Indah Arvitrida, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang senantiasa memberikan bimbingan, arahan, nasihat, semangat dan motivasi selama penyelesaian Tugas Akhir ini.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. I Nyoman Pujawan, M.Eng, Bapak Prof. Ir. Suparno, MSIE., Ph.D, Ibu Diesta Iva Maftuhah, S.T., M.T, Bapak Nurhadi Siswanto, S.T., M.S.I.E., Ph.D, Ibu Nani Kurniati, S.T., M.T., Ph.D. selaku penguji dalam seminar proposal dan sidang Tugas Akhir yang telah memberikan banyak masukan dan saran atas pengerjaan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Tri Purwono dan seluruh karyawan bagian *Outbond Inventory* PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk yang telah membantu dalam diskusi dan penyediaan data untuk penyelesaian Tugas Akhir ini.

6. Teman-teman Persekutuan PMK ITS yang senantiasa mendoakan serta memberikan dukungan dan semangat kepada penulis selama pengerjaan Tugas Akhir.
7. Teman-teman Adhigana TI-32 yang selalu mendukung dan memotivasi selama penulis menempuh studi di Departemen Teknik Sistem dan Industri.
8. Seluruh pihak yang sudah membantu dan memberi dukungan untuk penulis dalam penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan Tugas Akhir ini masih memiliki banyak kekurangan. Oleh sebab itu, penulis memohon maaf atas segala kesalahan dan kekurangan yang ada. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi seluruh pihak yang bersangkutan.

Surabaya, Agustus 2020

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	6
1.3 Tujuan.....	7
1.4 Manfaat.....	7
1.5 Ruang Lingkup	7
1.5.1 Batasan	7
1.5.2 Asumsi	8
1.6 Sistematika Penulisan.....	8
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	11
2.1 <i>Supply Chain Management</i> di Industri Manufaktur	11
2.2 Manajemen Persediaan	13
2.3 <i>Inventory Lot-Sizing Problem</i>	15
2.4 Model Matematis <i>Inventory Lot-Sizing</i> dengan <i>Multi- Time Periods Scenario</i> untuk <i>Multi-Supplier</i> dan <i>Multi-Product</i> , (Basnet & Leung, 2005) ..	18
2.5 Penelitian Terdahulu.....	19
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	23
3.1 Tahap Persiapan	24
3.1.1 Studi Literatur	24
3.1.2 Studi Lapangan.....	25
3.2 Pengumpulan dan Pengolahan Data	25
3.2.1 Perhitungan Biaya Pemesanan	26
3.2.2 Perhitungan Biaya Penyimpanan	26
3.3 Pengembangan Model	26

3.3.1	Pembuatan Model Matematis Inventory Lot-Sizing Pengadaan Kantong Semen	26
3.3.2	Verifikasi Model Matematis Inventory Lot-Sizing Pengadaan Kantong Semen	27
3.3.3	Running Model Matematis Inventory Lot-Sizing Pengadaan Kantong Semen	27
3.3.4	Uji Sensitivitas.....	27
3.4	Analisis dan Interpretasi Data.....	28
BAB 4 PERANCANGAN MODEL DAN PENGOLAHAN DATA		29
4.1	Pengumpulan Data.....	29
4.1.1	Data Permintaan dan Harga Kantong	29
4.1.2	Data Tingkat Kualitas Kantong	30
4.1.3	Data Kapasitas Masing-Masing Supplier	32
4.1.4	Data Pemesanan Kantong Semen <i>Existing</i>	32
4.1.5	Data Inventory Kantong pada Awal Bulan.....	33
4.2	Pengolahan Data	34
4.2.1	Perhitungan Biaya Pemesanan	34
4.2.2	Perhitungan Biaya Penyimpanan.....	36
4.2.3	Perhitungan Total Biaya Pembelian, Pemesanan dan Penyimpanan <i>Existing</i>	41
4.3	Perancangan Model Matematis.....	42
4.3.1	Parameter	42
4.3.2	Variabel Keputusan	43
4.3.3	Fungsi Tujuan.....	43
4.3.4	Fungsi Batasan.....	44
4.4	Verifikasi Model Matematis	45
BAB 5 IMPLEMENTASI DAN ANALISIS MODEL		47
5.1	<i>Running</i> Model Matematis.....	47
5.1.1	Hasil Model Inventory Lot-Sizing.....	47
5.1.2	Hasil Inventory Awal Running Model	49
5.1.3	Hasil Total Biaya Pembelian, Penyimpanan dan Pemesanan Model	50
5.2	Uji Sensitivitas.....	51
5.4	Analisis Hasil <i>Running</i> Model Matematis	54
5.6	Analisis Hasil Perbandingan <i>Running</i> Model dengan <i>Existing</i>	57

5.7 Analisis Sensitivitas	60
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN	67
6.1 Kesimpulan.....	67
6.2 Saran	68
DAFTAR PUSTAKA	69
LAMPIRAN A.....	71
LAMPIRAN B	77
LAMPIRAN C	79
LAMPIRAN D.....	85
LAMPIRAN E.....	87
BIOGRAFI PENULIS	89

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Kondisi Industri Semen Nasional Tahun 2015-2017	2
Gambar 1. 2 Permintaan Kantong Semen Gresik Tahun 2019	3
Gambar 1. 3 <i>Inventory</i> Awal Kantong Semen Gresik Tahun 2019	4
Gambar 1. 4 <i>Inventory</i> Awal Bulan Kantong Semen Gresik di Gudang Tahun 2019	4
Gambar 1. 5 Perbandingan Jumlah Permintaan dengan Jumlah Order Kantong Tahun 2019	5
Gambar 1. 6 Jumlah Kantong Pecah di PP Tuban pada Tahun 2019	5
Gambar 3. 1 Metodologi Penelitian.....	23
Gambar 3. 2 Metodologi Penelitian (Lanjutan)	24
Gambar 5. 1 Perbandingan Order Optimal dari <i>Supplier</i> 1 dengan Permintaan ...	55
Gambar 5. 2 Perbandingan Order Optimal dari <i>Supplier</i> 1 dan 2 dengan Permintaan	56
Gambar 5. 3 Perbedaan Jumlah Order <i>Existing</i> dengan Hasil <i>Running</i> Model	57
Gambar 5. 4 Perbandingan Persediaan Hasil <i>Running</i> Model dengan <i>Existing</i> ...	58
Gambar 5. 5 Perbandingan Jumlah Pemesanan Hasil <i>Running</i> Model dengan <i>Existing</i>	59
Gambar 5. 6 Perbandingan Total Biaya <i>Existing</i> dengan Hasil <i>Running</i> Model..	60
Gambar 5. 7 Grafik Sensitivitas Permintaan Terhadap Kondisi <i>Overstock</i>	61
Gambar 5. 8 Grafik Sensitivitas Permintaan Terhadap Kondisi <i>Stockout</i>	62
Gambar 5. 9 Grafik Sensitivitas Permintaan Terhadap <i>Total Cost</i>	63
Gambar 5. 10 Grafik Sensitivitas Permintaan Terhadap <i>Fulfillment Rate</i>	63
Gambar 5. 11 Grafik Sensitivitas Permintaan Terhadap Jumlah Order yang Disarankan.....	64

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Biaya Pembelian Kantong Semen di <i>Packing Plant</i> Tuban Tahun 2019	2
Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu dan Posisi Penelitian.....	21
Tabel 4. 1 Data Permintaan dan Harga Kantong untuk Pabrik Tuban Tahun 2019.....	29
Tabel 4. 2 Data Permintaan dan Harga Kantong untuk Pabrik Tuban Tahun 2019	30
Tabel 4. 3 Data Tingkat Kualitas Kantong dari <i>Supplier</i> 1	30
Tabel 4. 4 Data Tingkat Kualitas Kantong dari <i>Supplier</i> 2.....	31
Tabel 4. 5 Data Tingkat Kualitas Kantong dari <i>Supplier</i> 3.....	31
Tabel 4. 6 Data Kapasitas Masing-Masing <i>Supplier</i>	32
Tabel 4. 7 Data Pemesanan Kantong Semen <i>Existing</i>	32
Tabel 4. 8 Data Pemesanan Kantong Semen <i>Existing</i> (Lanjutan)	33
Tabel 4. 9 <i>Inventory</i> Awal Kantong di Gudang Tuban.....	33
Tabel 4. 10 <i>Inventory</i> Awal Kantong di Gudang Tuban (Lanjutan)	34
Tabel 4. 11 Biaya Tenaga Kerja untuk Inspeksi	35
Tabel 4. 12 Biaya untuk Meletakkan Kantong Setelah Kantong Diterima.....	35
Tabel 4. 13 Total Biaya Pemesanan Kantong	36
Tabel 4. 14 Komponen <i>Cost of Equity</i>	37
Tabel 4. 15 Hasil Perhitungan Depresiasi Aset di Gudang Kantong Semen	39
Tabel 4. 16 Hasil Perhitungan Biaya <i>Handling Items</i> dengan <i>Hoist Crane</i>	39
Tabel 4. 17 Hasil Perhitungan Biaya <i>Handling Items</i> dengan <i>Truck</i>	39
Tabel 4. 18 Hasil Perhitungan Biaya <i>Handling Items</i> dengan <i>Truck</i> (Lanjutan) ..	40
Tabel 4. 19 Hasil Perhitungan Persentase Biaya Penyimpanan	40
Tabel 4. 20 Hasil Perhitungan Biaya Penyimpanan Masing-Masing Kantong.....	41
Tabel 4. 21 Total Biaya <i>Existing</i>	42
Tabel 5. 1 Hasil Model <i>Supplier</i> 1	47
Tabel 5. 2 Hasil Model <i>Supplier</i> 1 (Lanjutan)	48
Tabel 5. 3 Hasil Model <i>Supplier</i> 2	48
Tabel 5. 4 Hasil Model <i>Supplier</i> 3	49
Tabel 5. 5 <i>Inventory</i> Awal Hasil <i>Running Model</i>	49
Tabel 5. 6 <i>Inventory</i> Awal Hasil <i>Running Model</i> (Lanjutan)	50

Tabel 5. 7 Total Biaya Hasil <i>Running Model</i>	50
Tabel 5. 8 Total Biaya Hasil <i>Running Model</i> (Lanjutan)	51
Tabel 5. 9 Uji Sensitivitas Terhadap Parameter Permintaan Kantong Kraft 2 Ply 40kg	51
Tabel 5. 10 Uji Sensitivitas Terhadap Parameter Permintaan Kantong Kraft 2 Ply 50kg	52
Tabel 5. 11 Uji Sensitivitas Terhadap Parameter Permintaan Kantong Woven 1 Ply 40kg.....	52
Tabel 5. 12 Uji Sensitivitas Terhadap Parameter Permintaan Kantong Woven 1 Ply 40kg (Lanjutan).....	53
Tabel 5. 13 Uji Sensitivitas Terhadap Parameter Permintaan Kantong Woven 1 Ply 50kg.....	53

BAB 1

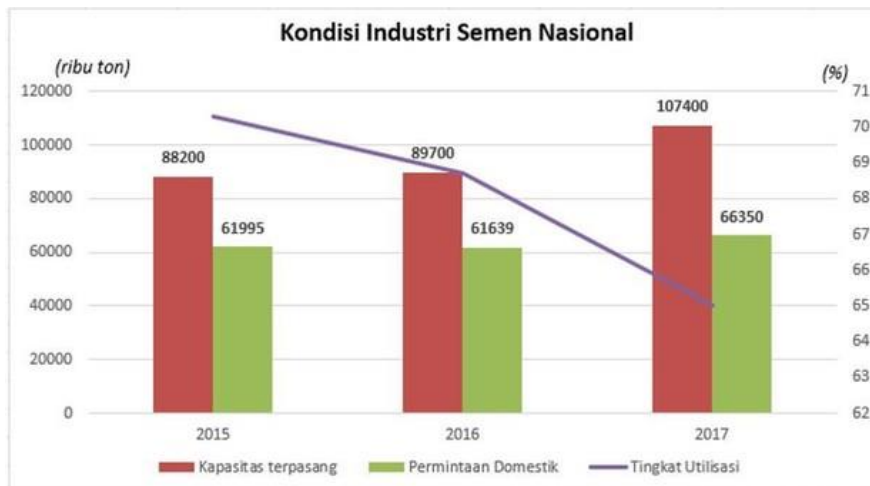
PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai gambaran umum penelitian yang meliputi latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup penelitian, serta sistematika penulisan.

1.1 Latar Belakang

Inventory lot-sizing problem merupakan salah satu masalah manajemen persediaan yang bertujuan untuk menentukan jumlah barang yang dipesan dalam memenuhi permintaan dengan tujuan meminimalkan total biaya pengadaan. Terdapat 4 (empat) keputusan yang dapat diambil dalam *problem* tersebut, yaitu produk apa yang dipesan, jumlah berapa yang harus dipesan, dengan *supplier* yang mana dan diperiode ke berapa. *Problem* ini digunakan untuk proses pengadaan material dengan kondisi *multi-period*, *multi-product* dan *multi-supplier* untuk mencari jumlah order yang optimal dengan tujuan meminimalkan biaya yang dikeluarkan dalam melakukan order tersebut. Berdasarkan penjelasan tersebut maka solusinya dapat diselesaikan menggunakan optimasi. *Problem* ini sesuai dengan kondisi pengadaan kantong semen yang ada di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk saat ini, khususnya di *packing plant* (selanjutnya di sebut PP) Tuban.

PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk merupakan *holding company* yang memiliki berbagai macam merek dagang untuk semen, salah satunya adalah Semen Gresik. Semen Gresik dihasilkan oleh salah satu *operating company* (OpCo) dari PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk yaitu PT. Semen Gresik (PTSG). PTSG bertugas untuk mengelola pabrik Tuban dan pabrik Rembang mulai dari pengadaan, produksi, pengepakan sampai dengan pendistribusian semen. Dengan kondisi pasar yang sangat dinamis dan kompetitif, seperti yang terlihat pada Gambar 1. 1 yang menunjukkan kondisi *oversupply* pada industri semen sehingga membuat PTSG perlu mempertahankan ketersediaan produk akhir di pasar agar tidak mudah digantikan oleh kompetitor.



Sumber: PT. Semen Indonesia Tbk, diolah

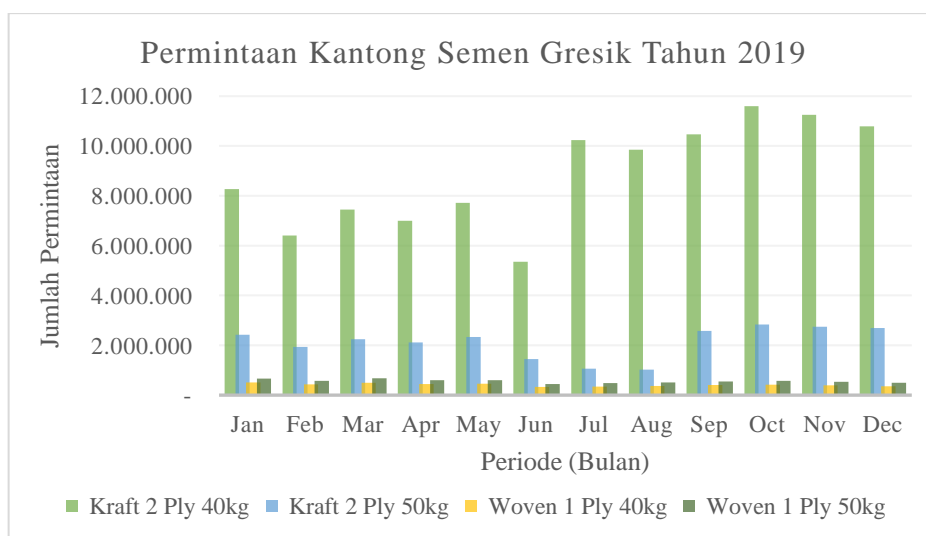
Gambar 1. 1 Kondisi Industri Semen Nasional Tahun 2015-2017
 Sumber: Raditya Hanung Prakoswa (CNBC Indonesia, 2018)

Kantong sangat berperan dalam menunjang ketersediaan produk akhir, karena jika kapasitas semen hasil produk meningkat tetapi tidak diikuti dengan ketersediaan kantong yang memadai akan menyebabkan ketersediaan *finished goods* semen di pasar yang tidak optimal. Pentingnya pengaturan pengadaan kemasan kantong semen untuk menghindari *stockout* maupun *overstock* adalah karena peran dan fungsi kemasan dalam manajemen rantai pasok, yaitu menunjang ketersediaan *finished goods* produk, melindungi produk dalam proses distribusi, meningkatkan nilai konsumen, penjualan dan juga keuntungan (Magasura, 2018). Oleh karena itu perlu penanganan khusus dalam pengadaan kantong sehingga biaya yang dikeluarkan minimum. Pada Tabel 1. 1 dapat dilihat biaya pembelian kantong yang dikeluarkan oleh PTSG untuk PP Tuban dalam satu tahun belakang yaitu tahun 2019 mencapai angka Rp 330,213,459,000,-

Tabel 1. 1 Biaya Pembelian Kantong Semen di *Packing Plant* Tuban Tahun 2019

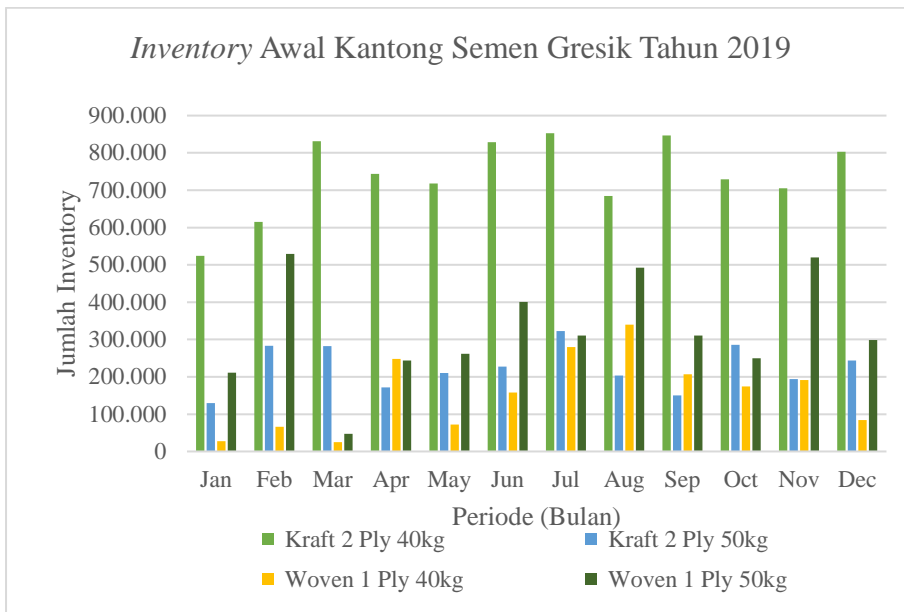
Jenis Kantong	Volume (Tahun)	Harga (Rp)/lbr	Total	Total Keseluruhan
Kraft 2 Ply 40kg	106,834,790	2,300	Rp 245,720,017,000	Rp 330,213,459,000
Kraft 2 Ply 50kg	25,512,061	2,500	Rp 58,677,740,300	
Woven 1 Ply 40kg	5,182,977	2,100	Rp 10,884,251,700	
Woven 1 Ply 50kg	6,636,200	2,250	Rp 14,931,450,000	

Jenis kantong untuk produk semen *bag* PCC (*Portland Composite Cement*) memiliki 4 (empat) jenis, yaitu jenis kantong Kraft 2 Ply 40 kg, Kraft 2 Ply 50 kg, Woven 1 Ply 40 kg, dan Woven 1 Ply 50 kg. Jenis kraft merupakan jenis kantong semen yang banyak diminati oleh konsumen dengan bahan dasar kertas berwarna coklat, sedangkan woven adalah jenis kantong dengan bahan dasar anyaman *polypropylene*. Untuk jenis kantong kraft banyak diminati oleh konsumen di area Pulau Jawa, sedangkan woven banyak diminati oleh konsumen di luar Pulau Jawa (Kalimantan, Bali, Nusa Tenggara, Maluku, Papua Barat, dan Papua). Pada Gambar 1. 3 dapat dilihat perbedaan permintaan antara empat jenis kantong yang ada di PP Tuban.

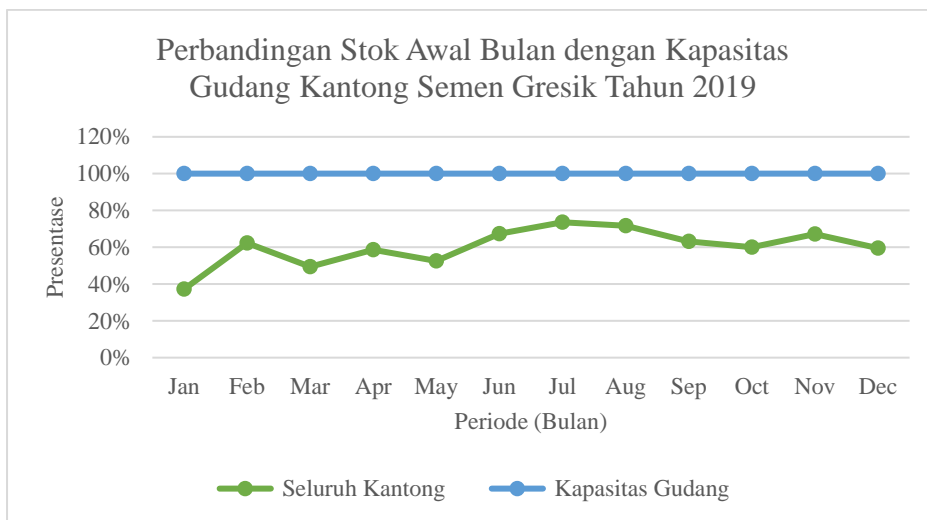


Gambar 1. 2 Permintaan Kantong Semen Gresik Tahun 2019

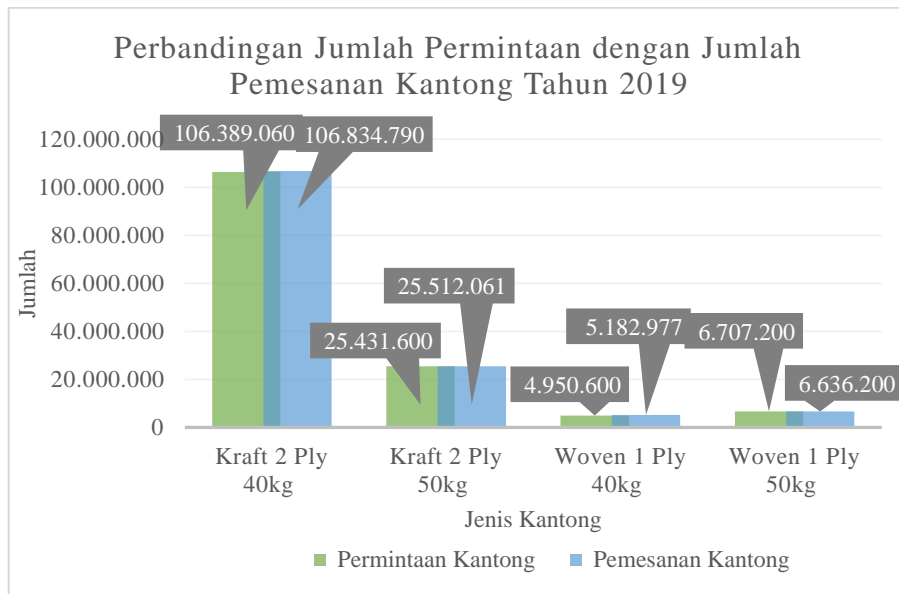
Hingga saat ini, PTSG masih kesulitan dalam melakukan perencanaan pengadaan kantongnya. Dapat dilihat pada Gambar 1. 3 dan 1. 4 kondisi *inventory* awal tiap bulan di gudang sangat besar, yaitu mencapai rata-rata 62% dari kapasitas gudang sebesar 2,400,000 untuk seluruh jenis kantong. Untuk keadaan *stockout* dan *overstock* dapat dilihat pada Gambar 1. 5 dimana pada jenis kantong Kraft 2 Ply 40kg, Kraft 2 Ply 50kg dan Woven 1 Ply 40kg terjadi kelebihan jumlah pesanan dibandingkan dengan permintaan (*overstock*) dan pada jenis kantong Woven 1 Ply 50kg terjadi kekurangan jumlah pesanan dibandingkan dengan permintaannya (*stockout*).



Gambar 1. 3 *Inventory Awal Kantong Semen Gresik Tahun 2019*

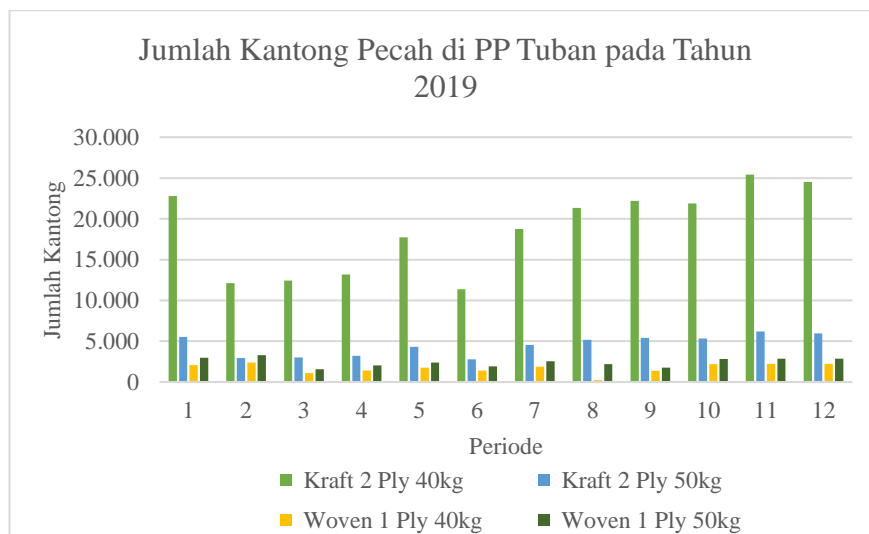


Gambar 1. 4 *Inventory Awal Bulan Kantong Semen Gresik di Gudang Tahun 2019*



Gambar 1. 5 Perbandingan Jumlah Permintaan dengan Jumlah Order Kantong Tahun 2019

Permasalahan lainnya yaitu adanya kantong yang pecah pada saat proses *packing*. Kondisi ini timbul karena perusahaan menerima kantong dari *supplier* yang tidak sesuai dengan kualitas atau adanya kerusakan pada saat pengiriman, yang mana kantong mengalami cacat atau robek sehingga pecah saat semen dimasukkan ke dalam kantong. Berdasarkan penjelasan tersebut, data yang menunjukkan jumlah kantong pecah sepanjang tahun 2019 untuk masing-masing jenis kantong dapat dilihat pada gambar 1. 6.



Gambar 1. 6 Jumlah Kantong Pecah di PP Tuban pada Tahun 2019

Kondisi yang ada pada PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk saat ini adalah terdapat 6 (enam) *supplier* yang memasok kantong jenis woven maupun kraft ke semua PP yang dimiliki oleh PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk, yaitu PP Banyuwangi, PP Ciwandan, PP Tanjung Priok, PP Pontianak, PP Banjarmasin, PP Celukan Bawang, PP Tuban, PP Gresik, dan PP Rembang. Untuk PTSG di PP Tuban dengan merek dagang Semen Gresik, kantong semen diproduksi oleh 3 (tiga) *supplier*, yaitu *supplier* 1 yang memproduksi jenis kantong Kraft 2 Ply 40kg dan 50kg, dan *supplier* 2 dan 3 yang memproduksi jenis kantong Woven 1 Ply 40kg dan 50kg.

Penelitian ini berfokus pada penentuan jumlah optimal order kantong dengan merek dagang Semen Gresik yang dapat disediakan oleh masing-masing *supplier* untuk PP Tuban dengan jenis item yang berbeda-beda sesuai dengan permintaan. Fungsi tujuan dari masalah ini adalah meminimalkan biaya pembelian dan biaya persediaan berupa biaya pemesanan dan biaya penyimpanan, dan untuk fungsi kendalanya yaitu terkait permintaan dari masing-masing produk, kualitas dari masing-masing *supplier* kapasitas gudang PP, dan kapasitas *supplier*. Dalam menentukan jumlah optimal order menggunakan metode optimasi *mixed integer linear programming* (MILP) yang sering digunakan untuk menyelesaikan *inventory lot-sizing problem* dengan *single objective*.

1.2 Perumusan Masalah

Inventory lot-sizing diimplementasikan untuk meminimalkan terjadinya *overstock* dan *stockout* persediaan kantong yang dapat meningkatkan biaya pembelian dan persediaan. Hal ini dikarenakan pengoptimalan jumlah order dengan menentukan produk mana yang dipesan, dalam jumlah berapa, dengan *supplier* yang mana, di periode ke berapa yang sesuai dengan permintaan. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan untuk pengoptimalan jumlah order kantong semen dengan kondisi *multi-supplier* dan *multi-product* yang sesuai permintaan agar dapat dicapai total biaya pembelian dan persediaan yang minimum dengan mempertimbangkan *multi-period scenario* dan faktor kualitas untuk *inventory lot-sizing problem* menggunakan *mixed integer linear programming*.

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk memilih metode yang sesuai dalam penentuan jumlah order kantong yang optimal pada setiap periode untuk memenuhi beberapa fungsi tujuan dan fungsi batasan yang ada.
2. Untuk melakukan analisis terhadap jumlah *stockout/overstock*, *fulfillment rate*, total biaya dan order yang disarankan akibat dari perubahan variabel yaitu permintaan.

1.4 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari penelitian tugas akhir yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Dapat menjadi saran dalam melakukan pengadaan kantong dengan metode *inventory lot-sizing* yang sesuai dengan permintaan PP lainnya yang dimiliki oleh PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk.
2. Dapat menjadi rujukan perusahaan untuk melakukan pengadaan kantong menggunakan *inventory lot-sizing problem* dengan *mixed integer linear programming*.

1.5 Ruang Lingkup

Dalam ruang lingkup penelitian tugas akhir akan dijelaskan mengenai batasan dan asumsi yang digunakan dalam pengerjaan penelitian:

1.5.1 Batasan

Batasan yang digunakan dari penelitian tugas akhir yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. *Inventory lot-sizing* melibatkan *multiple supplier* sebanyak 3 (tiga) *supplier* dengan *single customer*.
2. Produk kantong yang diamati adalah merek dagang Semen Gresik.
3. Jenis Kantong yang diamati ada 4 (empat) yaitu Kraft 2 Ply 40 kg, Kraft 2 Ply 50 kg, Woven 1 Ply 40 kg, dan Woven 1 Ply 50 kg.

4. *Packing plant* yang diamati adalah Pabrik Tuban.
5. Perencanaan order didasarkan data permintaan satu tahun terakhir, yaitu Januari 2019 hingga Desember 2019.

1.5.2 *Asumsi*

Asumsi yang digunakan dari penelitian tugas akhir yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Harga terpilih adalah harga terendah dari hasil tender yang dilakukan PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk.
2. Biaya penyimpanan yang dihitung adalah biaya/unit/tahun untuk masing-masing jenis kantong.
3. Data historis permintaan tahun 2019 sebagai data rencana produksi untuk *input* model matematis.

1.6 **Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan berisi tentang kerangka penulisan laporan yang terdiri dari:

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab ini berisi mengenai hal yang menjadi latar belakang permasalahan yang dijadikan topik penelitian, perumusan masalah yang harus diselesaikan, tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup penelitian, serta sistematika penulisan laporan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Berisi pemaparan teori yang disajikan landasan dalam penelitian yang dilakukan. Tinjauan pustaka dibutuhkan untuk menyusun kerangka konseptual dalam pengembangan, pengolahan, ataupun analisis data. Dasar teori diperoleh berdasarkan studi literatur seperti buku, jurnal, dan penelitian sebelumnya yang dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Adapun tinjauan pustaka yang dipaparkan yaitu *supply chain management*, manajemen persediaan, *inventory lot-sizing problem*, dan penelitian terdahulu.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Berisi langkah-langkah dalam pelaksanaan penelitian. Metodologi ini berguna sebagai acuan dalam melaksanakan penelitian sehingga penelitian berjalan secara terurut dan sistematis dan sesuai dengan tujuan. Adapun langkah dalam pelaksanaan penelitian terdiri dari identifikasi permasalahan, tinjauan pustaka, pengumpulan dan pengolahan data, analisis dan interpretasi, serta kesimpulan dan saran.

BAB 4 PERANCANGAN MODEL DAN PENGOLAHAN DATA

Berisi langkah-langkah dalam pengumpulan dan pengolahan data penelitian yang selanjutnya menjadi *input* data ke dalam model matematis dan simulasi. Tahapan pengolahan data berisi perhitungan biaya pemesanan dan biaya penyimpanan kantong semen. Selanjutnya merancang model matematis untuk *inventory lot-sizing* dengan *mixed integer linear programming* (MILP).

BAB 5 IMPLEMENTASI DAN ANALISIS MODEL

Berisi implementasi hasil *running* model matematis yang selanjutnya di analisis dan interpretasi terkait data hasil *running* model dan hasil analisa sensitivitas yang sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai dari pelaksanaan penelitian tugas akhir ini.

BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan dari hasil penelitian yang dilakukan, rekomendasi perbaikan kepada perusahaan dan pengembangan penelitian selanjutnya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai landasan teori yang digunakan dalam penelitian, meliputi *Supply Chain Management*, Manajemen Persediaan, *Inventory Lot-Sizing Problem*, Model Matematis milik Basnet & Leung (2005) dan posisi penelitian terhadap penelitian terdahulu.

2.1 *Supply Chain Management* di Industri Manufaktur

Supply chain management adalah metode yang mencakup perencanaan dan pengelolaan mulai dari pengadaan, konversi material, kegiatan logistik, dan juga koordinasi dan kolaborasi dengan mitra pemasok, perantara, penyedia layanan pihak ketiga dan konsumen yang tujuannya untuk mengintegrasikan manajemen *supply* dan *demand* di dalam dan antara perusahaan (CSCMP, 2020). Tujuan dari *supply chain* itu sendiri adalah memaksimalkan keseluruhan nilai yang dibuat dalam kegiatan *supply chain*. Tidak hanya nilai pada produk akhir, tetapi keseluruhan nilai yang didapatkan dalam seluruh kegiatan *supply chain* mulai dari hulu ke hilir.

Supply chain management juga memiliki fungsi, yang pertama yaitu menyelaraskan aliran antara pihak-pihak yang ada pada *supply chain*. Terdapat 3 (tiga) macam aliran yang dikelola oleh *supply chain*, yaitu aliran barang dari hulu (*upstream*) ke hilir (*downstream*), aliran uang dan sejenisnya dari hilir ke hulu, dan aliran informasi yang bisa terjadi dari hulu ke hilir ataupun sebaliknya (Pujawan & Mahendrawathi, 2017). Fungsi yang kedua yaitu mengintegrasikan fungsi dengan menghubungkan kegiatan logistik, pembelian dan operasi untuk memastikan bahwa mereka fokus pada tujuan yang menguntungkan keseluruhan kinerja. Yang ketiga yaitu mengkoordinasi proses dengan cara merencanakan, sumber, membuat, mengirim dan mengembalikan produk dan layanan perusahaan untuk dapat meningkatkan keuntungan. Yang keempat merancang sistem yang kompleks, karena jika terjadi gangguan kecil terhadap sebuah *supply chain* maka akan memiliki dampak yang besar dalam proses aliran barang, uang, maupun informasi.

Hal inilah yang membuat *supply chain* perlu dilakukan dengan semangat kolaborasi dan koordinasi karena kuatnya sebuah *supply chain* tergantung pada kekuatan seluruh elemen yang ada di dalamnya, atau istilah lain yaitu “*a supply chain is as strong as its weakest link*”. Yang kelima adalah mengelola sumber daya seperti orang, proses dan teknologi untuk memenuhi kebutuhan pelanggan.

Supply chain management mencakup lingkup pekerjaan dan tanggung jawab yang luas mulai dari aliran barang, uang dan informasi. Dalam sebuah perusahaan manufaktur kegiatan utama yang termasuk dalam *supply chain management* yang pertama adalah kegiatan merancang produk baru (*product development*) dengan melakukan riset pasar, merancang produk baru dan melibatkan *supplier* dalam perancangan produk. Yang kedua kegiatan pengadaan dengan memilih *supplier*, mengevaluasi kinerja *supplier*, melakukan pembelian bahan baku dan komponen, memonitor *supply risk*, membina dan memelihara hubungan dengan *supplier*. Dalam kegiatan pengadaan kantong yang diamati kegiatannya dalam penelitian ini termasuk dalam kegiatan pengadaan yang bertujuan untuk mengoptimalkan biaya dan meminimalkan risiko persediaan dalam kegiatan pengadaan kantong. Yang ketiga kegiatan perencanaan dan pengendalian dengan melakukan *demand planning*, peramalan permintaan, perencanaan kapasitas perencanaan produksi dan persediaan. Yang keempat kegiatan operasi/produksi dengan melakukan eksekusi produksi dan pengendalian kualitas. Yang kelima pengiriman/distribusi dengan melakukan perencanaan jaringan distribusi, penjadwalan pengiriman, mencari dan memelihara hubungan dengan perusahaan jasa pengiriman, memonitor *service level* di tiap pusat distribusi.

Kegiatan yang terakhir yaitu melakukan pengembalian dengan merancang saluran pengembalian produk, penjadwalan pengambilan, proses *disposal*, penentuan harga produk, *refurbish* dan lain-lain. Dalam *supply chain management* tentunya juga terdapat tantangan dalam proses kegiatannya karena banyak sekali *stakeholder* yang terlibat, tantangan tersebut yaitu tingkat kompleksitas struktur *supply chain* yang melibatkan banyak pihak dari dalam maupun luar perusahaan mulai dari hulu hingga hilir dengan kepentingan yang berbeda-beda. Tantangan yang lain tentunya ketidakpastian yang mempengaruhi rencana yang dibuat seperti

ketidakpastian permintaan, *lead time*, kualitas dan lain sebagainya (Pujawan & Mahendrawathi, 2017).

2.2 Manajemen Persediaan

Menurut Tersine (1994) persediaan adalah stok material yang ada di tangan pada waktu tertentu berupa aset berwujud yang dapat dilihat, diukur dan dihitung. Persediaan muncul karena adanya ketidakpastian permintaan, pasokan dan juga operasi internal suatu perusahaan. Akibat dari adanya ketidakpastian tersebut menyebabkan perusahaan harus menyediakan persediaan cadangan (*safety stock*) dimana akan menimbulkan biaya. Menurut Tersine (1994) terdapat beberapa tipe persediaan, yaitu:

1. *Supplies*, yaitu persediaan barang yang dikonsumsi dalam fungsi normal perusahaan yang bukan merupakan bagian dari produk akhir. Contoh: pensil, kertas, lampu, *disks*, gunting, dan fasilitas perawatan.
2. *Raw materials* (bahan baku), yaitu barang yang dibeli dari pemasok untuk digunakan sebagai input dalam proses produksi. Fungsi selanjutnya dari bahan baku adalah untuk diubah bentuknya menjadi produk akhir.
3. *In-process goods* (WIP), yaitu produk setengah jadi yang masih dalam proses produksi.
4. *Finished goods* (produk jadi), yaitu produk akhir yang siap untuk dijual-belian, didistribusikan dan juga siap untuk disimpan.

Persediaan terjadi karena adanya ketidakcocokan dalam menyamakan secara tepat antara permintaan dengan penawaran (Chopra & Meindl, 2015). Untuk mengatasi hal tersebut, maka persediaan memiliki beberapa faktor fungsi, menurut Tersine (1994) faktor fungsi tersebut adalah *time factor* melibatkan proses produksi yang panjang dan distribusi yang diperlukan sebelum barang mencapai konsumen akhir. Yang kedua *discontinuity factor* yang memungkinkan perawatan berbagai operasi dependen (*retailing, distributing, warehousing, manufacturing, dan purchasing*) secara independen dan ekonomis. Yang ketiga *uncertainty factor* yaitu menyangkut peristiwa tak terduga yang dapat merubah perencanaan awal sebuah perusahaan. Yang terakhir yaitu *economy factor* memungkinkan perusahaan untuk

mengambil keuntungan dari alternatif pengurangan biaya dengan melakukan pembayaran atau produksi barang dalam jumlah ekonomis.

Menurut Tersine (1994) persediaan juga dapat diklasifikasikan berdasarkan fungsinya, yaitu:

1. *Working Stock (Cycle Stock)* yaitu persediaan yang diperoleh dan disimpan sebelum persyaratan sehingga pemesanan dapat dilakukan pada ukuran lot berdasarkan kebutuhan.
2. *Safety Stock* yaitu persediaan untuk perlindungan terhadap ketidakpastian permintaan maupun pasokan.
3. *Anticipation Stock* yaitu persediaan untuk mengatasi puncak permintaan musiman, kondisi tidak menentu (promosi), atau kekurangan dalam kapasitas produksi.
4. *Pipeline Stock* yaitu persediaan transit untuk memungkinkan waktu yang diperlukan untuk menerima material pada *input*, mengirim material melalui proses produksi dan mengirimkan barang pada akhir *output*.
5. *Decoupling stock* yaitu persediaan yang diakumulasikan antara aktivitas atau tahapan yang dependen untuk mengurangi persyaratan operasi yang tersinkronisasi.
6. *Psychic stock* yaitu persediaan yang diperlihatkan oleh retail untuk menarik minat konsumen sehingga merangsang permintaan.

Tujuan dari manajemen persediaan adalah untuk memiliki jumlah persediaan di tempat yang tepat, waktu yang tepat dengan biaya yang rendah. Biaya persediaan memiliki keterkaitan dengan pengoperasian sistem persediaan dan hasil dari tindakan atau kurangnya tindakan pada bagian manajemen dalam membangun sistem. Biaya persediaan merupakan parameter ekonomi dalam model keputusan persediaan. Biaya persediaan terdiri dari biaya pembelian (*purchase cost*), biaya pemesanan (*order/setup cost*) biaya simpan (*holding cost*) dan biaya kekurangan persediaan (*stockout cost*). Berikut ini merupakan biaya persediaan menurut Tersine (1994):

1. *Purchased Cost*

Purchased cost adalah harga pembelian unit barang jika diperoleh dari sumber eksternal atau biaya unit produksi jika diproduksi secara internal.

Untuk *purchased cost* adalah biaya material ditambah biaya pengiriman, sedangkan untuk biaya material yang diproduksi sendiri adalah penjumlahan biaya tenaga kerja langsung, biaya material, dan biaya *overhead* pabrik.

2. *Order/Setup Cost*

Order/Setup Cost berasal dari pengeluaran akibat melakukan pembelian order dari pemasok luar atau dari biaya *setup* produksi internal. *Order cost* terdiri dari item-item untuk membuat daftar permintaan, menganalisis vendor, menulis pesanan yang dibeli, menerima material, memeriksa material, menindaklanjuti pesanan dan melakukan pemrosesan yang diperlukan untuk menyelesaikan transaksi. Dan untuk *setup cost* termasuk biaya pergantian proses produksi untuk menghasilkan produk seperti biaya untuk mempersiapkan pesanan, penjadwalan kerja, *preproduction setup*, *expediting*, dan penerimaan kualitas.

3. *Holding Cost*

Holding/Carrying Cost berasal dari biaya yang terkait dengan investasi dalam persediaan dan mempertahankan fisik persediaan dalam penyimpanan. Biaya tersebut terdiri dari biaya modal, pajak, asuransi, *handling*, penyimpanan, penyusutan, keusangan (*obsolescence*) dan kemunduran (*deterioration*).

4. *Stockout Cost*

Stockout Cost adalah biaya konsekuensi dari kekurangan persediaan dari eksternal maupun internal. Kekurangan eksternal terjadi saat pesanan konsumen tidak dapat terpenuhi, dan kekurangan internal terjadi saat pesanan dari departemen dalam perusahaan tidak terpenuhi. Kekurangan eksternal terdiri dari biaya *backorder*, rugi laba terkini dan di masa datang, kekurangan internal terdiri dari biaya saat produksi *idle* dan keterlambatan penyelesaian produksi dari tanggal yang telah ditetapkan.

2.3 *Inventory Lot-Sizing Problem*

Inventory Lot-Sizing Problem merupakan masalah manajemen persediaan untuk mengoptimalkan jumlah barang yang dipesan dengan meminimalkan biaya

persediaan. Keputusan yang dapat diambil dengan menggunakan *inventory lot-sizing* menurut Aissaoui et al (2006) adalah sebagai berikut:

1. Produk apa yang dipesan?

Keputusan ini dapat meminimalkan *order cost* karena dengan kondisi satu *supplier* dapat menawarkan lebih dari satu produk maka dapat menggabungkan order untuk beberapa produk pada satu kali order.

2. Berapa jumlahnya serta dari *supplier* yang mana?

Pada dasarnya terdapat dua kondisi dalam pembelian order, yaitu:

- a. *Single Source*, dimana *supplier* terpilih dapat memenuhi permintaan pembeli mulai dari harga, kualitas, jumlah dan pengiriman yang sesuai dengan keinginan pembeli.
- b. *Multiple Source*, dimana seluruh *supplier* terpilih tidak bisa memenuhi permintaan pembeli sehingga perlu adanya *split order* untuk menciptakan lingkungan yang konstan terhadap kompetisi.

3. Diperiode ke berapa?

Menggabungkan keputusan untuk menjadwalkan order seiring waktu dengan pemilihan *supplier* dapat secara signifikan mengurangi biaya selama periode perencanaan order, dengan mempertimbangkan *multiple periode*, satu atau lebih *supplier* dapat dipilih pada setiap periode untuk pembelian produk.

Kategori yang ada pada *inventory lot-sizing problem* diklasifikasikan menjadi empat menurut Bahl et al (1987), yaitu (1) *single-level unconstrained resources*, (2) *single-level constrained resources*, (3) *multiple-level constrained resources*, dan (4) *multiple-level unconstrained resources*. Level yang dimaksud adalah merujuk pada level yang berbeda dalam struktur *bill of material* yang tergantung pada persyaratan, dan batasan sumber daya mengacu pada batasan kapasitas produksi.

Metode yang digunakan dalam menentukan jumlah barang yang dipesan adalah dengan cara optimasi dengan sebuah model matematika *linear programming*. *Linear programming* adalah teknik *operation research* yang dapat dipergunakan untuk memecahkan persoalan alokasi dari sumber yang jumlahnya

terbatas ke beberapa aktivitas yang saling memperebutkan sumber tersebut dengan cara yang seoptimal mungkin.

Terdapat beberapa komponen yang menyusun model matematis dalam penyelesaian *linear programming problem*, yaitu:

1. Fungsi tujuan (*objective function*) ialah fungsi yang menggambarkan suatu tujuan ataupun sasaran atau juga target di dalam suatu permasalahan *linear programming* yang berkaitan dengan suatu peraturan dengan secara optimal untuk memperoleh suatu keuntungan yang maksimal.
2. Fungsi batasan (*constrain function*) yaitu bentuk penyajian dengan secara sistematis batasan-batasan suatu kapasitas yang tersedia akan dapat dialokasikan secara optimal.
3. Variabel keputusan (*decision variable*) ialah variabel persoalan yang nantinya mempengaruhi nilai dari fungsi tujuan yang akan dicapai.

Pada penelitian ini jenis *linear programming* yang digunakan adalah *mixed integer programming* yang mengacu pada model milik (Basnet & Leung, 2005). *Mixed-Integer Linear Programming* (MILP) merupakan bentuk *linear programming* dengan tambahan *constraint* setidaknya satu dari variabel harus bernilai integer. Berikut ini merupakan bagian umum yang menyusun algoritma *mixed integer linear programming*:

- Fungsi Objektif:

$$\text{Minimize / Maximize } Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (2.1)$$

- Fungsi Pembatas:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j (\leq = \geq) b_i \quad \forall i = 1, 2, \dots, m; \forall j = 1, 2, \dots, n \quad (2.2)$$

$$x_j \geq 0 \quad \forall j = 1, 2, \dots, n \quad (2.3)$$

$$x_j \in R \quad (2.4)$$

Persamaan (2.1) merupakan fungsi objektif untuk meminimalkan atau memaksimalkan biaya yang ditimbulkan oleh variabel x_j . Persamaan (2.2) adalah fungsi pembatas untuk nilai variabel x_j agar memenuhi batasan b_i . Persamaan (2.3) adalah batasan nilai bilangan positif untuk variabel x_j . Persamaan (2.4)

menunjukkan bahwa variabel x_j termasuk bilangan *real* dengan nilai dapat berupa bilangan bulat (integer) atau bilangan pecahan.

2.4 Model Matematis *Inventory Lot-Sizing* dengan *Multi- Time Periods Scenario* untuk *Multi-Supplier* dan *Multi-Product*, (Basnet & Leung, 2005)

Model matematis dibuat dengan skenario *multi period inventory lot-sizing* dimana untuk menentukan jenis produk mana yang akan dipesan beserta jumlah dan dari *supplier* mana di periode ke berapa. Tujuan dari model ini untuk meminimalkan total biaya pembelian dan persediaan (*order cost* dan *holding cost*) yang didapatkan dari hasil pengoptimalan jumlah pemesanan. Berikut merupakan formulasi model matematis berdasarkan jurnal.

Indeks:

$i = 1, \dots, I$ indeks produk

$j = 1, \dots, J$ indeks *suppliers*

$t = 1, \dots, T$ indeks periode waktu

Parameter:

D_{it} = Permintaan produk i pada periode t

P_{ij} = Biaya pembelian produk i dari *supplier* j

H_i = Biaya penyimpanan produk i per periode t

O_j = Biaya pemesanan dari *supplier* j

Variabel Keputusan:

X_{ijt} = Jumlah produk i dipesan dari *supplier* j pada periode t

Y_{jt} = 1 jika pesanan terjadi pada *supplier* j pada periode t , 0 jika tidak

Variabel Perantara:

R_{it} = Persediaan produk i , disimpan dari periode t ke periode $t + 1$

Fungsi Objektif:

$$MIN \sum_t \sum_j \sum_i P_{ij} X_{ijt} + \sum_j \sum_t O_j Y_{jt} + \sum_i \sum_t H_i (\sum_{k=1}^t \sum_j X_{ijk} - \sum_{k=1}^t D_{ik}) \quad (2.5)$$

Fungsi Batasan:

$$R_{it} = \sum_{k=1}^t \sum_j X_{ijk} - \sum_{k=1}^t D_{ik} \geq 0 \quad \forall i, \forall t \quad (2.6)$$

$$(\sum_{k=t}^T D_{ik}) Y_{jt} - X_{ijt} \geq 0 \quad \forall i, \forall j, \forall t \quad (2.7)$$

$$Y_{jt} = (0,1) \quad \forall j, \forall t \quad (2.8)$$

$$X_{ijt} \geq 0 \quad \forall i, \forall j, \forall t \quad (2.9)$$

Persamaan (2.5) merupakan fungsi objektif untuk meminimalkan total biaya yang terdiri dari biaya pembelian produk, biaya pemesanan untuk tiap *supplier*, dan biaya penyimpanan untuk persediaan tersisa pada masing-masing periode. Persamaan (2.6) merupakan batasan untuk menyatakan bahwa semua persyaratan harus terpenuhi pada periode dimana mereka terjadi. Persamaan (2.7) merupakan batasan yang menyatakan bahwa tidak ada pemesanan tanpa adanya biaya pemesanan. Persamaan (2.8) menyatakan Y_{jt} merupakan variabel biner yaitu bernilai 1 atau 0. Persamaan (2.9) menyatakan batasan nilai untuk variabel X_{ijt} yang bernilai positif (*non-negativity*).

Dalam model tersebut akan dikembangkan model yang sesuai dengan masalah yang ada pada penelitian ini yaitu dengan mengembangkan batasan-batasan yang sesuai dengan kondisi pengadaan yang ada pada PP Tuban, yaitu dengan mempertimbangkan faktor kualitas *supplier*, kapasitas gudang dan juga kapasitas masing-masing *supplier*.

2.5 Penelitian Terdahulu

Terdapat beberapa penelitian terdahulu yang telah mengangkat masalah mengenai *inventory lot-sizing* dengan beberapa metode dan batasan-batasan yang berbeda. Pada penelitian yang dilakukan oleh Basnet et al (2005) dengan judul “*Inventory Lot-Sizing with Supplier Selection*” menyajikan *multi-period inventory lot-sizing scenario* dengan kondisi *multiple products* dan *multiple supplier*, metode yang dilakukan yaitu menggunakan *mixed-integer linear programming* (MILP),

dan batasan yang dipertimbangkan yaitu permintaan dan *charging ordering cost* dengan tujuan meminimalkan biaya pembelian, biaya pemesanan dan biaya penyimpanan. Selanjutnya Razei et al (2010) melakukan penelitian yang berjudul “*Multi-Objective Models for Lot-Sizing with Supplier Selection*” dengan kondisi *multi-period lot-sizing problem*, *multiple products* dan *multiple supplier* menggunakan *multi objective mixed integer non-linear programming* (MOMINLP) dengan batasan permintaan, *charging ordering cost*, jumlah persediaan diakhir periode, kapasitas penyimpanan dan kapasitas *supplier*. Tujuannya untuk meminimalkan total biaya pembelian, biaya pemesanan, biaya penyimpanan dan biaya transportasi. Selanjutnya Woarawichai et al (2011) melakukan penelitian yang berjudul “*Inventory Lot-Sizing Problem with Supplier Selection Under Storage Space and Budget Constraints*” dengan mengembangkan model milik Basnet et al, yaitu menambah batasan berupa kapasitas penyimpanan dan juga *budget* pembelian. Selanjutnya Mohammadi et al (2012) melakukan penelitian berjudul “*A Mixed Integer Programming Model Formulation for Solving The Lot-Sizing Problem*” dengan kondisi *multi-period lot-sizing problem* dan *multiple products* menggunakan *mixed integer linear programming* (MILP) dengan batasan permintaan dan *charging ordering cost* dimana memiliki tujuan untuk meminimalkan biaya pembelian, biaya pemesanan dan biaya penyimpanan.

Semua penelitian di atas semuanya memiliki tujuan yang sama yaitu mencari jumlah optimal produk yang dipesan dengan beberapa kondisi masing-masing masalah yang menghasilkan total biaya paling minimum. Pada tabel 2. 1 berikut akan ditunjukkan posisi penelitian dibandingkan penelitian lainnya. Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian-penelitian sebelumnya dengan mempertimbangkan kondisi perusahaan objek amatan. Tahap awal yang dilakukan pada penelitian ini ialah membuat model matematis untuk menentukan jumlah barang yang dipesan secara optimal, kemudian melakukan uji sensitivitas untuk mengetahui efek perubahan yang diakibatkan oleh perubahan variabel permintaan.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu dan Posisi Penelitian

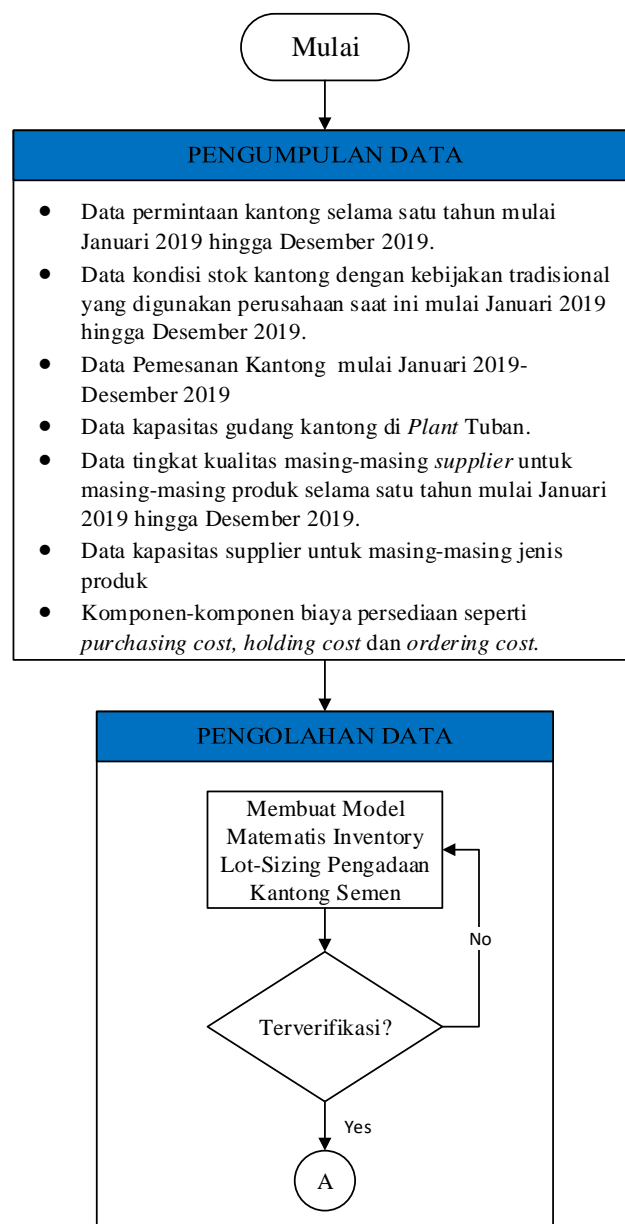
Penelitian	Basnet et al (2005)	Razei et al (2010)	Woarawichai et al (2011)	Mohammadi et al (2012)	Penelitian Ini
Metode					
MILP	√		√	√	√
MOMINLP		√			
Batasan					
Permintaan	√	√	√	√	√
<i>Charging ordering cost</i>	√	√	√	√	√
Jumlah persediaan akhir periode		√			
Kapasitas penyimpanan		√	√		√
Kapasitas <i>supplier</i>		√			
<i>Budget pembelian</i>			√		
<i>Multi supplier</i>	√	√	√		√
Tingkat kualitas <i>supplier</i>					√

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

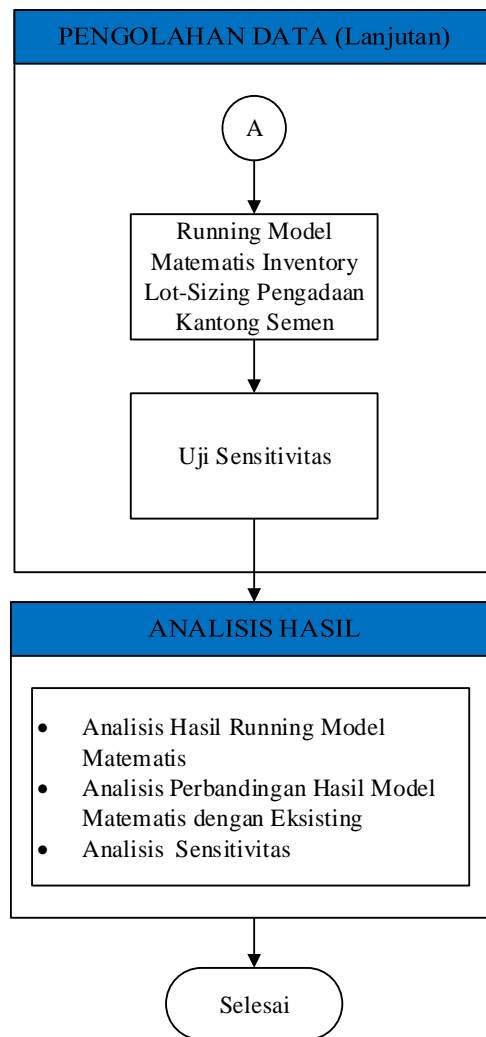
BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian menjelaskan langkah-langkah sistematis yang dilakukan dalam suatu penelitian agar dapat berjalan secara terstruktur dan jelas. Metodologi penelitian terdiri dari beberapa tahap yaitu tahap persiapan, pengumpulan data, pengolahan data, serta analisis dan pembahasan. Berikut ini merupakan metodologi yang digunakan dalam penelitian ini:



Gambar 3. 1 Metodologi Penelitian



Gambar 3. 2 Metodologi Penelitian (Lanjutan)

3.1 Tahap Persiapan

Tahap persiapan merupakan tahap untuk mengawali penyusunan laporan Tugas Akhir ini. Tahap ini perlu dilakukan untuk dapat merumuskan masalah berdasarkan studi lapangan yang dilakukan pada objek amatan, dan merancang metode penyelesaian masalah berdasarkan studi literatur yang dilakukan. Berikut merupakan hal-hal yang perlu dilakukan pada tahap persiapan.

3.1.1 Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pencarian dan pembelajaran teori-teori dasar dan formula perhitungan dari sumber yang sesuai dengan kaidah penelitian dan

penulisan laporan ilmiah seperti buku, jurnal, dan bentuk penelitian lainnya. Selanjutnya mencari metode yang tepat berdasarkan teori yang telah dipelajari untuk menyelesaikan permasalahan yang ada, mulai dari melakukan pembuatan model matematika untuk *inventory lot-sizing* pengadaan kantong dengan batasan yang diperlukan serta uji sensitivitas.

3.1.2 *Studi Lapangan*

Selanjutnya pada tahap ini dilakukan penemuan dan pemetaan permasalahan yang ada di PTSG PP Tuban. Tahap ini juga dilakukan untuk mendapatkan data-data yang diperlukan dalam menyelesaikan masalah yang ada dan selanjutnya dapat memberikan solusi yang tepat berdasarkan kondisi yang terjadi. Studi lapangan dilakukan pada aktivitas pengadaan kantong semen. Tahap ini dilakukan melalui wawancara dengan pihak-pihak yang terlibat dalam permasalahan yang diselesaikan.

3.2 **Pengumpulan dan Pengolahan Data**

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data yang dibutuhkan untuk mendukung penelitian yang dilakukan. Adapun data yang dikumpulkan adalah sebagai berikut:

1. Data permintaan kantong selama satu tahun mulai Januari 2019 hingga Desember 2019.
2. Data *inventory* awal bulan kantong dengan kebijakan tradisional yang digunakan perusahaan saat ini mulai Januari 2019 hingga Desember 2019.
3. Data pemesanan kantong mulai Januari 2019-Desember 2019
4. Data kapasitas gudang kantong di *Plant* Tuban.
5. Data tingkat kualitas masing-masing *supplier* untuk masing-masing produk selama satu tahun mulai Januari 2019 hingga Desember 2019.
6. Data kapasitas *supplier* untuk masing-masing jenis produk.
7. Komponen-komponen biaya persediaan seperti *purchasing cost* (biaya pembelian), *holding cost* (biaya penyimpanan) dan *ordering cost* (biaya pemesanan).

Pengolahan data dilakukan pada komponen biaya persediaan. Hasil dari pengolahan data kemudian dijadikan *input* pada model matematis. Berikut ini merupakan tahap-tahap yang dilakukan dalam pengolahan data.

3.2.1 *Perhitungan Biaya Pemesanan*

Dalam perhitungan biaya pemesanan berdasarkan estimasi, komponen biaya yang dihitung adalah biaya inspeksi dan biaya untuk meletakkan kantong setelah kantong diterima. Dalam kasus ini perhitungan biaya mempersiapkan PR, PO dan *invoice* tidak dihitung karena sistem pengadaan kantong berdasarkan tender.

3.2.2 *Perhitungan Biaya Penyimpanan*

Dalam perhitungan biaya penyimpanan berdasarkan estimasi, komponen biaya yang dihitung adalah biaya depresiasi gudang beserta aset yang ada di dalamnya, biaya *handling items* menggunakan *crane* dan *truck*, dan biaya keusangan (*obsolescence*). Persentase dari biaya tersebut kemudian dijumlahkan dengan persentase *cost of capital*.

3.3 **Pengembangan Model**

Tahap pengembangan model dilakukan setelah mengetahui permasalahan apa yang ingin diselesaikan dan mendapatkan data-data yang dibutuhkan dalam penyelesaian masalah. Berikut ini merupakan tahap-tahap yang dilakukan dalam pengembangan model.

3.3.1 *Pembuatan Model Matematis Inventory Lot-Sizing Pengadaan Kantong Semen*

Pembuatan model matematis *inventory lot-sizing* pengadaan kantong semen digunakan untuk membantu mengoptimalkan jumlah pesanan kantong semen dengan *multi-period scenario* untuk kondisi *multi-supplier* dan *multi-product*. Metode optimasi yang digunakan menggunakan *mixed integer linear programming* berdasarkan referensi rumus (2.5) - (2.9) dengan mempertimbangkan permintaan masing-masing jenis kantong, kualitas dari masing-masing *supplier*, kapasitas

gudang kantong dan kapasitas *supplier*. Fungsi tujuan yang ingin dicapai adalah untuk meminimalkan biaya pembelian dan biaya persediaan (*order cost* dan *holding cost*).

3.3.2 Verifikasi Model Matematis Inventory Lot-Sizing Pengadaan Kantong Semen

Setelah membuat model matematis menggunakan *mixed integer linear programming*, model tersebut harus di uji verifikasi. Uji verifikasi pada model matematis merupakan proses untuk menentukan apakah model matematis yang dibuat berjalan dengan benar dan sesuai yang diinginkan, dalam proses verifikasi perlu mengidentifikasi dan menghilangkan *error* (proses *debugging*) pada model matematis yang telah dibuat. Pada penelitian ini, uji verifikasi dilakukan dengan bantuan *software* LINGO 11.

3.3.3 Running Model Matematis Inventory Lot-Sizing Pengadaan Kantong Semen

Running model dilakukan dengan menggunakan model yang telah ter verifikasi menggunakan *software* LINGO 11. *Output* yang dihasilkan dari model yang telah dibuat adalah solusi jumlah kantong semen yang dipesan dari masing-masing *supplier* pada setiap periode dengan hasil total biaya yang dikeluarkan paling minimum.

3.3.4 Uji Sensitivitas

Uji sensitivitas dilakukan dengan cara mengubah permintaan sebagai parameter yang sensitif untuk melihat perubahan parameter *output*. Parameter *output* yang dipertimbangkan adalah jumlah *overstock*, *stockout*, total biaya, *fulfillment rate* dan *order yang disarankan*. Uji sensitivitas dilakukan untuk mengetahui jenis kantong mana yang sensitif terhadap perubahan permintaan sehingga dapat membantu pengambil keputusan untuk menindaklanjuti adanya perubahan tersebut.

3.4 Analisis dan Interpretasi Data

Pada tahap ini hasil pembuatan model dan pengolahan data dari bab sebelumnya dibahas dan dianalisis, analisis menggunakan pendekatan statistik deskriptif untuk mendeskripsikan karakteristik data dengan bantuan tabel dan grafik dari hasil parameter *output* yang ingin dinilai. Analisis yang dilakukan meliputi hasil dari *running* model matematis *inventory lot-sizing* untuk mencari jumlah optimal kantong yang diproduksi dari masing-masing *supplier* dan juga total biaya yang dikeluarkan, selanjutnya analisis untuk membandingkan hasil model matematis dengan kondisi *existing* perusahaan, mulai dari jumlah pemesanan, jumlah persediaan dan juga total biaya yang dikeluarkan untuk melakukan pengadaan. Analisis yang terakhir yaitu terkait hasil uji sensitivitas dengan melihat perubahan pada parameter *output*.

BAB 4

PERANCANGAN MODEL DAN PENGOLAHAN DATA

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai perancangan model matematis *inventory lot sizing problem*, pengumpulan data perusahaan serta pengolahan data. Pengumpulan data berupa data permintaan dan harga kantong, data kualitas *supplier*, data kapasitas *supplier*, data *inventory* awal bulan, dan data pemesanan kantong. Sedangkan untuk pengolahan data terdiri dari perhitungan secara estimasi biaya pemesanan dan biaya penyimpanan kantong. Hasil pengolahan data nantinya akan digunakan sebagai *input* model matematis.

4.1 Pengumpulan Data

Pada subbab ini akan dijelaskan mengenai data-data yang terkait dengan penelitian yang selanjutnya digunakan dalam pengolahan data sekaligus sebagai *input* model matematis.

4.1.1 Data Permintaan dan Harga Kantong

Berikut merupakan data permintaan empat jenis kantong dengan merek dagang Semen Gresik untuk memenuhi kebutuhan kantong di PP Tuban pada bulan Januari hingga Desember 2019.

Tabel 4. 1 Data Permintaan dan Harga Kantong untuk Pabrik Tuban Tahun 2019

Bulan	Kraft 2 Ply 40kg	Kraft 2 Ply 50kg	Woven 1 Ply 40kg	Woven 1 Ply 50kg
Harga	Rp 2,300	Rp 2,500	Rp 2,100	Rp 2,250
1	8,275,728	2,424,400	505,000	665,000
2	6,402,898	1,930,800	429,000	576,000
3	7,448,410	2,248,000	502,000	672,000
4	6,996,559	2,112,000	446,000	595,000
5	7,714,479	2,335,000	453,000	605,000
6	5,354,886	1,444,000	331,000	445,000
7	10,241,400	1,058,000	339,300	478,400
8	9,850,900	1,018,000	365,800	508,100
9	10,470,500	2,583,800	401,700	548,100

Tabel 4. 2 Data Permintaan dan Harga Kantong untuk Pabrik Tuban Tahun 2019 (Lanjutan)

Bulan	Kraft 2 Ply 40kg	Kraft 2 Ply 50kg	Woven 1 Ply 40kg	Woven 1 Ply 50kg
10	11,601,800	2,832,800	424,500	573,900
11	11,246,400	2,750,400	396,100	542,200
12	10,785,100	2,694,400	357,200	498,500

Dapat dilihat pada tabel 4. 1 bahwa permintaan untuk jenis kantong kraft lebih tinggi dibandingkan woven, yaitu mencapai 11,601,800 pada bulan Oktober. Sedangkan untuk jenis woven memiliki tingkat permintaan yang relatif stabil tiap bulannya, yaitu dalam rentang 300,000-500,000 unit.

4.1.2 Data Tingkat Kualitas Kantong

Berikut merupakan data historis tingkat kualitas masing-masing jenis kantong dari *supplier* yang berbeda pada bulan Januari hingga Desember 2019.

Tabel 4. 3 Data Tingkat Kualitas Kantong dari *Supplier* 1

Bulan	<i>Supplier</i> 1					
	Kraft 40			Kraft 50		
	Baik	Pecah	Tingkat Kualitas	Baik	Pecah	Tingkat Kualitas
1	8,366,727	22,776	0.99729	2,577,987	5,530	0.99786
2	6,618,898	12,117	0.99817	1,929,800	2,942	0.99848
3	7,361,409	12,416	0.99832	2,138,050	3,015	0.99859
4	6,970,559	13,194	0.99811	2,150,050	3,203	0.99851
5	7,825,479	17,709	0.99774	2,351,950	4,300	0.99818
6	5,378,886	11,390	0.99789	1,539,500	2,766	0.99821
7	10,073,400	18,758	0.99814	939,000	4,555	0.99517
8	10,012,900	21,320	0.99788	964,686	5,177	0.99466
9	10,352,500	22,218	0.99786	2,719,114	5,395	0.99802
10	11,577,800	21,880	0.99811	2,741,300	5,312	0.99807
11	11,344,581	25,436	0.99776	2,800,028	6,176	0.99780
12	10,727,919	24,518	0.99772	2,606,272	5,953	0.99772
Rata-Rata	8,857,515	18,644	0.99792	2,117,311	4,527	0.99761

Tabel 4. 4 Data Tingkat Kualitas Kantong dari *Supplier 2*

Bulan	<i>Supplier 2</i>					
	Woven 40			Woven 50		
	Baik	Pecah	Tingkat Kualitas	Baik	Pecah	Tingkat Kualitas
1	310,737	1,418	0.99546	597,874	2,126	0.99646
2	388,000	2,380	0.99390	94,411	3,288	0.96635
3	419,243	757	0.99820	598,865	1,135	0.99811
4	270,000	1,421	0.99476	428,713	1,470	0.99658
5	377,326	1,207	0.99681	520,817	1,666	0.99681
6	316,718	970	0.99695	355,070	1,934	0.99458
7	399,876	1,871	0.99534	462,249	1,771	0.99618
8	232,272	212	0.99909	326,170	2,199	0.99330
9	369,728	1,369	0.99631	341,291	1,212	0.99646
10	309,057	1,591	0.99488	590,879	1,945	0.99672
11	288,582	2,230	0.99233	320,876	2,865	0.99115
12	358,633	1,602	0.99555	310,482	2,843	0.99093
Rata-Rata	336,681	1,419	0.99580	402,317	2,038	0.99280

Tabel 4. 5 Data Tingkat Kualitas Kantong dari *Supplier 3*

Bulan	<i>Supplier 3</i>					
	Woven 40			Woven 50		
	Baik	Pecah	Tingkat Kualitas	Baik	Pecah	Tingkat Kualitas
1	233,143	637	0.99728	385,037	835	0.99784
2						
3	305,757	340	0.99889	269,724	446	0.99835
4				183,787	577	0.99687
5	161,674	554	0.99659	223,184	738	0.99670
6	135,706	446	0.99672			
7				198,081	785	0.99605
8						
9				146,240	547	0.99627
10	132,528	606	0.99545	253,189	879	0.99654
11						
12	153,776	610	0.99605			
Rata-Rata	170,431	532	0.99683	211,305	687	0.99695

Dapat dilihat pada tabel 4.2 bahwa tingkat kerusakan (pecah) kantong jenis kraft yang diproduksi oleh *supplier 1* cukup rendah, walaupun terdapat ribuan kantong yang tidak dapat digunakan akan tetapi jumlah kantong yang dipesan

mencapai jutaan unit. Hal yang sama terjadi pada kantong jenis woven yang diproduksi oleh *supplier* 2 dan 3 yang ditunjukkan pada tabel 4.3 dan 4.4, akan tetapi tingkat kualitas yang lebih tinggi dimiliki oleh *supplier* 3 karena jumlah kantong yang rusak (pecah) berkisar 400-800 unit.

4.1.3 Data Kapasitas Masing-Masing *Supplier*

Data kapasitas *supplier* didapatkan berdasarkan data historis kemampuan masing-masing *supplier* memenuhi permintaan kantong di PP Tuban. Berikut ini merupakan jumlah kapasitas masing-masing *supplier* berdasarkan produk yang diproduksi.

Tabel 4. 6 Data Kapasitas Masing-Masing *Supplier*

Produk	Supplier		
	1	2	3
Kraft 2 Ply 40 Kg	10,500,000	0	0
Kraft 2 Ply 50 Kg	2,700,000	0	0
Woven 1 Ply 40 Kg	0	400,000	300,000
Woven 2 Ply 50 Kg	0	600,000	300,000

Berdasarkan tabel 4.7 di atas bahwa untuk total kapasitas *supplier* 1 yaitu sebesar 13,200,000 unit, *supplier* 2 yaitu sebesar 1,000,000 unit, sedangkan untuk *supplier* 3 memiliki kapasitas total sebesar 600,000 unit.

4.1.4 Data Pemesanan Kantong Semen Existing

Berikut ini merupakan data pemesanan kantong yang dilakukan oleh PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk untuk memenuhi kebutuhan kantong di PP Tuban pada bulan Januari hingga Desember 2019. Data ini digunakan sebagai pembandingan dengan parameter *output* hasil optimasi dan menjadi bahan evaluasi perusahaan.

Tabel 4. 7 Data Pemesanan Kantong Semen Existing

Bulan	Kraft 2 Ply 40kg	Kraft 2 Ply 50kg	Woven 1 Ply 40kg	Woven 1 Ply 50kg
1	8,389,503	2,583,517	545,935	985,872
2	6,631,015	1,932,742	390,380	97,699
3	7,373,825	2,141,065	726,097	870,170

Tabel 4. 8 Data Pemesanan Kantong Semen *Existing* (Lanjutan)

Bulan	Kraft 2 Ply 40kg	Kraft 2 Ply 50kg	Woven 1 Ply 40kg	Woven 1 Ply 50kg
4	6,983,753	2,153,253	271,421	614,547
5	7,843,188	2,356,250	540,761	746,405
6	5,390,276	1,542,266	453,840	357,004
7	10,092,158	943,555	401,747	662,886
8	10,034,220	969,863	232,484	328,369
9	10,374,718	2,724,509	371,097	489,290
10	11,599,680	2,746,612	443,782	846,892
11	11,370,017	2,806,204	290,812	323,741
12	10,752,437	2,612,225	514,621	313,325
Total	106,513,906	25,462,061	5,082,977	6,336,200

Pada tabel 4.5 dapat dilihat bahwa jumlah pemesanan paling tinggi ada pada jenis kraft karena jumlah permintaannya yang juga tinggi. Jumlah pemesanan kantong terjadi akibat adanya permintaan dan dikurangi dengan jumlah persediaan yang ada, yang merupakan sisa dari jumlah kantong yang tersedia dari periode sebelumnya.

4.1.5 Data Inventory Kantong pada Awal Bulan

Berikut ini merupakan data stok kantong pada awal bulan, mulai dari bulan Januari hingga Desember 2019 yang disimpan pada gudang kantong pabrik Tuban berdasarkan pemesanan yang telah dilakukan perusahaan. Data ini digunakan sebagai pembandingan dengan parameter *output* hasil simulasi dan menjadi bahan evaluasi perusahaan.

Tabel 4. 9 *Inventory* Awal Kantong di Gudang Tuban

Bulan	Kraft 2 Ply 40kg	Kraft 2 Ply 50kg	Woven 1 Ply 40kg	Woven 1 Ply 50kg	TOTAL	Kapasitas Gudang
1	524,000	129,363	27,120	211,089	891,572	2,400,000
2	615,000	282,950	66,000	529,000	1,492,950	
3	831,000	281,950	25,000	47,411	1,185,361	
4	744,000	172,000	248,000	244,000	1,408,000	
5	718,000	210,050	72,000	261,500	1,261,550	
6	829,000	227,000	158,000	400,500	1,614,500	

Tabel 4. 10 *Inventory* Awal Kantong di Gudang Tuban (Lanjutan)

Bulan	Kraft 2 Ply 40kg	Kraft 2 Ply 50kg	Woven 1 Ply 40kg	Woven 1 Ply 50kg	TOTAL	Kapasitas Gudang
7	853,000	322,500	279,424	310,570	1,765,494	
8	685,000	203,500	340,000	492,500	1,721,000	
9	847,000	150,186	206,472	310,570	1,514,228	
10	729,000	285,500	174,500	250,000	1,439,000	
11	705,000	194,000	191,585	520,168	1,610,753	
12	803,181	243,628	84,067	298,844	1,429,720	

Dapat dilihat pada tabel bahwa tingkat stok/persediaan kantong cukup tinggi, yaitu mencapai 74% dari kapasitas gudang kantong pada bulan Juli.

4.2 Pengolahan Data

Pada subbab ini akan dijelaskan mengenai pengolahan data yang hasilnya digunakan sebagai *input* data pada model matematis. Data yang diolah meliputi biaya pemesanan dan biaya penyimpanan kantong semen di pabrik Tuban.

4.2.1 Perhitungan Biaya Pemesanan

Biaya pemesanan merupakan biaya yang dikeluarkan untuk membuat dan memproses pesanan ke *supplier*. Perhitungan biaya pemesanan menggunakan metode *Activity-Based Costing* (ABC) yaitu metode alokasi biaya berdasarkan sumber daya yang digunakan untuk menjalankan aktivitas yang berkaitan dengan produk dan jasa. Menurut Tersine (1994) Biaya pemesanan terdiri dari biaya sebagai berikut:

1. Biaya untuk mempersiapkan PR (*Purchase Requisition*).
2. Biaya untuk mempersiapkan PO (*Purchase Order*).
3. Biaya tenaga kerja yang diperlukan untuk inspeksi.
4. Biaya untuk menyimpan barang setelah barang diterima.
5. Biaya untuk memproses *supplier invoice* terkait dengan pesanan.
6. Biaya untuk mempersiapkan dan mengeluarkan pembayaran kepada *supplier*.

Pada proses pengadaan kantong di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk menggunakan kontrak tender, sehingga untuk pengeluaran PR, PO, *invoice* dan

pembayaran dilakukan pada awal kontrak. Maka dari itu untuk proses yang diperhitungkan dalam menentukan biaya pemesanan adalah proses yang dilakukan tiap kali menerima barang, yaitu pada saat melakukan inspeksi dan meletakkan barang ke gudang setelah barang diterima. Berikut ini merupakan daftar aktivitas dan sumber daya yang digunakan dalam aktivitas tiap kali menerima kantong yang telah dipesan:

Tabel 4. 11 Biaya Tenaga Kerja untuk Inspeksi

INSPEKSI		
Waktu (Jam)		4
Tenaga Kerja (Orang)		9
Gaji/Bulan/Orang	Rp	5,000,000
Gaji/Tahun/Orang	Rp	60,000,000
Gaji/Jam/Orang	Rp	28,846
TOTAL	Rp	1,038,462

Dapat dilihat pada tabel 4.7 biaya yang diperlukan untuk melakukan inspeksi kantong selama 4 (empat) jam adalah sebesar Rp 1,038,462 dengan tenaga kerja yang dibutuhkan sebanyak 9 (sembilan) orang.

Tabel 4. 12 Biaya untuk Meletakkan Kantong Setelah Kantong Diterima

PELETAKKAN KANTONG		
Waktu (Jam)		2
Tenaga Kerja (Orang)		9
Input Power Crane (KWatt)		3
Biaya Listrik (/kWh)	Rp	997
Gaji/Bulan/Orang	Rp	5,000,000
Gaji/Tahun/Orang	Rp	60,000,000
Gaji/Jam/Orang	Rp	28,846
Total Biaya Listrik	Rp	5,982
Total Biaya Tenaga Kerja	Rp	519,231
TOTAL	Rp	525,213

Dapat dilihat pada tabel 4.8 bahwa biaya yang diperlukan untuk menyimpan kantong dan meletakkannya ke dalam gudang selama 2 (dua) jam adalah sebesar Rp 525,213. Sumber daya yang digunakan selain tenaga kerja adalah *material handling* berupa *crane hoist* untuk membantu pekerja meletakkan

kantong ke dalam gudang. *Input power* yang dibutuhkan untuk menjalankan *crane* tersebut adalah sebesar 3000 Watt dan biaya listrik yang digunakan oleh industri dengan golongan 1-4/TT dan batas daya >2000kVA adalah sebesar Rp 997/kWh.

Tabel 4. 13 Total Biaya Pemesanan Kantong

Proses dalam Order	Total Biaya
Inspeksi	Rp 1,038,462
Peletakkan Kantong	Rp 525,213
TOTAL KESELURUHAN	Rp 1,563,674

Jadi, berdasarkan perhitungan di atas biaya yang dikeluarkan untuk melakukan satu kali pemesanan kantong dimana kali ini berfokus pada aktivitas tiap kali menerima kantong adalah sebesar Rp 1,563,674.

4.2.2 Perhitungan Biaya Penyimpanan

Biaya Penyimpanan merupakan biaya yang dikeluarkan untuk memiliki persediaan dari waktu ke waktu. Biaya penyimpanan terdiri dari *cost of capital*, biaya depresiasi aset gudang, biaya *handling items*, dan juga *obsolescence cost*. Dalam melakukan perhitungan *cost of capital* dilakukan perhitungan menggunakan WACC (*Weighted Average Cost of Capital*), WACC merupakan tingkat yang diharapkan perusahaan untuk membayar rata-rata kepada semua pemegang saham untuk membiayai asetnya. Berikut merupakan formulasi dalam melakukan perhitungan WACC.

$$WACC = (Cost\ of\ Equity \times \%Equity) + Cost\ of\ Debt \times \%Debt \times (1 - Tax\ Rate) \quad (4.1)$$

Hal yang pertama perlu dilakukan untuk menghitung WACC adalah melakukan perhitungan *cost of equity* menggunakan formula sebagai berikut.

$$Cost\ of\ Equity = Rf + (Rm - Rf)b \quad (4.2)$$

Keterangan:

Rf = *Risk of free*

b = *Relative market risk*

Rm = *Average Expected Rate of Return on the Market*

Nilai Rf didapatkan dari nilai *yield* obligasi seri FR 0031 yang jatuh tempo pada 15 November 2020 sebesar 11%. Kemudian untuk nilai Rm ditentukan oleh besarnya IHSB *rate* pada tahun 2014-2019 sebesar 3.34% dan untuk nilai b yang dimiliki oleh PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk adalah sebesar 1. Berikut merupakan komponen data *cost of equity* yang digunakan pada perhitungan WACC untuk PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk.

Tabel 4. 14 Komponen *Cost of Equity*

Komponen <i>Cost of Equity</i>	Presentase Nilai
Rf	11%
Rm	3.34%
Risk Premium	7.66%
Beta	1
<i>Cost of Equity</i>	18.7%

Selanjutnya adalah menghitung *cost of debt* menggunakan beban bunga akhir tahun fiskal terakhir dibagi dengan utang rata-rata dua tahun terakhir. Pada Desember 2019 beban bunga PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk adalah \$230.58030696342 Mil dan total nilai buku utang adalah \$ 1340.1839634552 Mil. Jadi besarnya *cost of debt* yang dimiliki perusahaan sebesar 17.2051%. Setelah nilai presentase *cost of equity* dan *cost of debt* diketahui maka dapat dilakukan perhitungan WACC dengan beban pajak sebesar 25.315%.

Untuk bobot ekuitas (E) didapatkan dari nilai modal milik perusahaan yaitu sebesar \$3963.687 Mil dibagi dengan total keseluruhan modal. Dan untuk bobot debt (D) didapatkan dari penjumlahan pinjaman jangka pendek sebesar \$176.776 Mil dengan pinjaman jangka panjang sebesar \$1163.407 Mil, yaitu sebesar \$1340.183 Mil dibagi dengan total keseluruhan modal. Sehingga untuk bobot

ekuitas (E) = \$3963.687 Mil / (\$3963.687 Mil + \$1340.183 Mil) = 74.7% dan untuk bobot debt (D) = \$1340.183 Mil / (\$3963.687 Mil + \$1340.183 Mil) = 25.3%. Berikut ini merupakan hasil perhitungan WACC.

$$WACC = (Cost\ of\ Equity \times \%Equity) + Cost\ of\ Debt \times \%Debt \times (1 - Tax\ Rate)$$

$$WACC = (18.7\% \times 74.7\%) + 17.2051\% \times 25.3\% \times (1 - 25.315\%)$$

$$WACC = 17.19\%$$

Jadi, besarnya biaya *cost of capital* yang dibebankan pada setiap jenis kantong sebesar 17.19% dari harga material. Selanjutnya pada tabel 4.11 ditampilkan data aset yang terdapat pada gudang kantong beserta besar nilainya. Untuk melakukan perhitungan biaya simpan perlu menghitung nilai depresiasi selama satu tahun pada setiap aset menggunakan formula (4.1), yaitu formula untuk menghitung nilai depresiasi menggunakan metode *straight line*.

$$Depresiasi = \frac{Nilai\ Awal - Nilai\ Akhir}{Umur\ Produk} \quad (4.3)$$

Keterangan:

Nilai awal = Harga aset saat pertama kali dibeli

Nilai akhir = Harga aset pada saat umur produk berakhir

Umur produk = Lamanya masa berlaku suatu aset

Berikut merupakan contoh perhitungan depresiasi untuk *hoist crane*:

$$Depresiasi = \frac{Nilai\ Awal - Nilai\ Akhir}{Umur\ Produk}$$

$$Depresiasi = \frac{Rp\ 139,800,000 - Rp\ 0}{15}$$

$$Depresiasi\ Hoist\ Crane\ Dalam\ 1\ Tahun = Rp\ 9,320,000$$

Tabel 4. 15 Hasil Perhitungan Depresiasi Aset di Gudang Kantong Semen

No	Aset	Umur Aset (Tahun)	Total Harga	Depresiasi 1 Tahun
1	Gedung dan Bangunan	30	Rp 3,000,000,000	Rp 100,000,000
2	<i>Hoist Crane</i>	15	Rp 139,800,000	Rp 9,320,000
Total			Rp 3,139,800,000	Rp 109,320,000

Dapat dilihat pada tabel 4.11 bahwa depresiasi aset gudang kantong per tahunnya sebesar Rp 109,320,000. Selanjutnya menghitung biaya *handling items* dimana *handling* dilakukan pada saat memindahkan kantong dari gudang menuju *packing station* menggunakan *hoist crane* dan *truck*. Berikut ini merupakan perhitungan biaya yang dikeluarkan untuk melakukan *handling* menggunakan *hoist crane* dan *truck*.

Tabel 4. 16 Hasil Perhitungan Biaya *Handling Items* dengan *Hoist Crane*

<i>Hoist Crane</i>	
Jumlah Tenaga Kerja	9
Waktu (Jam)	0.75
Input Power Crane (KWatt)	3
Biaya Listrik (Rp/Kwh)	Rp 997
Gaji/Bulan/Orang	Rp 5,000,000
Gaji/Tahun/Orang	Rp 60,000,000
Gaji/Jam/Orang	Rp 28,846
Total Biaya Listrik	Rp 2,243.25
Total Biaya Tenaga Kerja	Rp 194,711.54
TOTAL/HARI	Rp 196,954.79
TOTAL/TAHUN	Rp 71,888,497.79

Tabel 4. 17 Hasil Perhitungan Biaya *Handling Items* dengan *Truck*

<i>Truck</i>	
Jumlah Tenaga Kerja	1
Jarak Gudang- <i>Packing Station</i> (Meter)	50
Waktu (Jam)	0.01
Bahan Bakar (Liter)	0.025
Harga Solar (Rp/Liter)	Rp 5,150
Gaji/Bulan/Orang	Rp 5,000,000
Gaji/Tahun/Orang	Rp 60,000,000

Tabel 4. 18 Hasil Perhitungan Biaya *Handling Items* dengan *Truck* (Lanjutan)

Truck	
Gaji/Jam/Orang	Rp 28,846
Total Biaya Solar	Rp 128.75
Total Biaya Tenaga Kerja	Rp 288.46
TOTAL/HARI	Rp 417.21
TOTAL/TAHUN	Rp 152,282.21

Pada tabel 4.12 dapat dilihat bahwa untuk melakukan *handling* menggunakan *crane hoist* yang memiliki *input power* sebesar 3,000 Watt dengan bantuan 9 tenaga kerja mengeluarkan biaya sebesar Rp 71,888,497 tiap tahunnya. Dan untuk melakukan *handling* menggunakan *truck* dengan bantuan 1 (satu) sopir dengan kecepatan kendaraan 10 km/jam membutuhkan biaya sebesar Rp 152,282 tiap tahunnya. Sehingga total dari biaya *handling items* selama setahun adalah Rp 72,040,780. Selanjutnya adalah menghitung persentase dari *obsolescence cost*, diketahui jumlah kantong yang telah disimpan lebih dari 5 tahun dan tidak bisa digunakan lagi pada tahun 2019 sebesar 413,527 unit, sehingga total biaya yang dikeluarkan pada saat membeli kantong tersebut sebesar Rp 945,943,013.

Berdasarkan hasil perhitungan keempat komponen biaya penyimpanan di atas, berikut ini merupakan perhitungan biaya penyimpanan yang dibebankan pada setiap jenis kantong:

Tabel 4. 19 Hasil Perhitungan Persentase Biaya Penyimpanan

Komponen Biaya Penyimpanan	
Biaya Depresiasi	Rp 109,320,000
Biaya <i>Handling Items</i>	Rp 72,040,780
<i>Obsolescence Cost</i> (Biaya Keusangan)	Rp 945,943,013
Jumlah	Rp 1,199,192,290
Rata-Rata Biaya Persediaan Selama 1 (Tahun)	
Kraft 2 Ply 40kg	Rp 20,941,916,300
Kraft 2 Ply 50kg	Rp 6,821,910,000
Woven 1 Ply 40kg	Rp 4,377,078,300
Woven 1 Ply 50kg	Rp 8,495,750,250
Jumlah	Rp 40,636,654,850
Persentase	2,951%
<i>Cost of Capital</i>	17,192%
Persentase Biaya Penyimpanan	20,143%

Dari perhitungan tabel di atas, maka untuk menghitung biaya penyimpanan untuk keempat jenis kantong adalah sebesar 20.143% dari harga materialnya. Berikut ini merupakan hasil perhitungan biaya penyimpanan untuk masing-masing jenis kantong.

Tabel 4. 20 Hasil Perhitungan Biaya Penyimpanan Masing-Masing Kantong

No	Jenis Kantong	Harga Material	Holding Cost/Unit/Tahun (20.143%)
1	Kraft 2 Ply 40kg	Rp 2,300	Rp 463.29
2	Kraft 2 Ply 50kg	Rp 2,500	Rp 503.57
3	Woven 1 Ply 40kg	Rp 2,100	Rp 423.00
4	Woven 1 Ply 50kg	Rp 2,250	Rp 453.21

4.2.3 Perhitungan Total Biaya Pembelian, Pemesanan dan Penyimpanan Existing

Total biaya *existing* perusahaan digunakan untuk menjadi pembanding dengan hasil model matematis sehingga dapat diketahui jumlah penghematan yang terjadi. Perhitungan total biaya pemesanan dan penyimpanan menggunakan estimasi perhitungan komponen biaya pemesanan dan penyimpanan. Biaya pemesanan didapat dari perkalian jumlah pemesanan pada masing-masing *supplier* dengan biaya pemesanan yaitu Rp 1,563,674 untuk sekali pemesanan. Biaya penyimpanan didapat dari perkalian total stok awal (*inventory* awal) per tahun dengan biaya penyimpanan per unit per tahun. Berikut adalah contoh perhitungan biaya penyimpanan untuk kantong jenis Kraft 2 Ply 40kg.

$$\begin{aligned}
 \text{Total Biaya Penyimpanan} &= \sum I \times HC \\
 &= 9,003,181 \times \text{Rp } 463.29 \\
 &= \text{Rp } 4,171,083,725
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas, total persediaan untuk kantong Kraft 2 Ply 40kg selama 12 bulan sebanyak 9,003,181 unit dengan total biaya penyimpanan sebesar Rp 4,171,083,725. Perincian data biaya pemesanan dan penyimpanan untuk keseluruhan jenis kantong dapat dilihat pada Lampiran A. Berikut ini merupakan hasil perhitungan total biaya pembelian, pemesanan dan penyimpanan *existing*.

Tabel 4. 21 Total Biaya *Existing*

Periode	PC	OC	HC	Total
1	Rp 29,119,324,900.00	Rp 4,691,023	Rp 415,045,296	Rp 29,539,061,219
2	Rp 21,122,810,250.00	Rp 3,127,349	Rp 695,074,207	Rp 21,821,011,805
3	Rp 25,795,146,200.00	Rp 4,691,023	Rp 559,034,413	Rp 26,358,871,636
4	Rp 23,398,479,250.00	Rp 4,691,023	Rp 646,786,770	Rp 24,049,957,043
5	Rp 26,744,966,750.00	Rp 4,691,023	Rp 587,385,519	Rp 27,337,043,292
6	Rp 18,009,622,800.00	Rp 4,691,023	Rp 746,720,463	Rp 18,761,034,286
7	Rp 27,906,013,100.00	Rp 4,691,023	Rp 816,535,142	Rp 28,727,239,265
8	Rp 26,730,410,150.00	Rp 3,127,349	Rp 786,855,082	Rp 27,520,392,581
9	Rp 32,553,330,100.00	Rp 4,691,023	Rp 696,124,394	Rp 33,254,145,517
10	Rp 36,383,243,200.00	Rp 4,691,023	Rp 668,621,615	Rp 37,056,555,838
11	Rp 34,505,671,550.00	Rp 3,127,349	Rp 741,096,882	Rp 35,249,895,781
12	Rp 33,046,852,950.00	Rp 4,691,023	Rp 665,786,711	Rp 33,717,330,684
TOTAL KESELURUHAN				Rp 343,392,538,946.25

Total biaya *existing* akan dijadikan evaluasi dan perbandingan dengan hasil perhitungan model matematis.

4.3 Perancangan Model Matematis

Pada subbab ini akan ditampilkan mengenai pengembangan model matematis dari jurnal acuan dan disesuaikan dengan kondisi pengadaan kantong yang ada pada pabrik Tuban. Pada kasus pabrik Tuban terdapat 3 (tiga) *supplier* yang memenuhi permintaan keempat jenis kantong. Pada model matematis *inventory lot-sizing problem* menggunakan *multi-period scenario* untuk mengetahui jumlah kantong yang harus dipesan pada masing-masing periode, mulai bulan Januari hingga Desember. Berikut ini merupakan parameter, variabel keputusan, fungsi tujuan serta fungsi batasan yang digunakan pada penelitian.

4.3.1 Parameter

Berikut ini merupakan parameter yang terdapat dalam model matematis *inventory lot-sizing problem*.

Indeks:

$i = 1, \dots, 4$ I indeks produk
 $j = 1, \dots, 3$ J indeks *suppliers*
 $t = 1, \dots, 12$ T indeks periode waktu

Parameter:

D_{it} = Permintaan produk i pada periode t
 Q_{ij} = Tingkat kualitas produk i dari *supplier* j
 S = Kapasitas gudang kantong pabrik Tuban
 C_{ij} = Kapasitas produk i dari *supplier* j
 P_i = Biaya pembelian produk i
 H_i = Biaya penyimpanan produk i per periode t
 O_j = Biaya pemesanan dari *supplier* j

4.3.2 Variabel Keputusan

Berikut ini adalah variabel keputusan yang dipertimbangkan dalam model matematis untuk *inventory lot-sizing problem*.

Variabel Keputusan:

X_{ijt} = Jumlah produk i dipesan dari *supplier* j pada periode t
 Y_{jt} = 1 jika pesanan terjadi pada *supplier* j pada periode t , 0 jika tidak

Variabel Perantara:

R_{it} = Persediaan produk i , disimpan dari periode t ke periode $t + 1$

4.3.3 Fungsi Tujuan

Berikut ini merupakan fungsi tujuan yang dipertimbangkan dalam model matematis *inventory lot-sizing problem*. Fungsi tujuan dalam model ini berupa meminimalkan total biaya yang dikeluarkan dalam melakukan pengadaan. Biaya yang dikeluarkan terdiri dari biaya pembelian yang didapatkan dari perkalian biaya pembelian produk dengan jumlah produk yang dipesan, kemudian biaya pemesanan yang didapatkan dari perkalian biaya pemesanan dengan variabel keputusan apabila pada periode tertentu terjadi *order* kepada *supplier* j , dan yang terakhir adalah biaya penyimpanan yang didapatkan dari perkalian biaya penyimpanan produk dengan

jumlah persediaan produk. Persamaan fungsi tujuan dapat dilihat pada persamaan (4.4).

$$MIN \sum_t \sum_j \sum_i P_i X_{ijt} + \sum_j \sum_t O_j Y_{jt} + \sum_i \sum_t H_i (\sum_{k=1}^t \sum_j X_{ijk} Q_{ij} - (\sum_{k=1}^t D_{ik}))$$

(4.4)

4.3.4 Fungsi Batasan

Berikut ini merupakan batasan-batasan yang digunakan dalam model matematis untuk *inventory lot-sizing problem* yang sudah disesuaikan dengan kondisi pengadaan kantong di pabrik Tuban.

1. Batasan untuk menyatakan bahwa jumlah produk yang dipesan dan sesuai dengan kualitas masing-masing *supplier* berjumlah sama dengan jumlah permintaan sehingga jumlah produk yang dipesan lebih besar dari permintaan untuk mengonsiderasikan produk yang rusak/*defect*.

$$R_{it} = \sum_{k=1}^t \sum_j X_{ijk} Q_{ij} - ((\sum_{k=1}^t D_{ik})) \geq 0 \quad \forall i, \forall t$$

(4.5)

2. Batasan untuk menyatakan keputusan Y_{jt} berdasarkan jumlah X_{ijt} yang dipesan pada periode tertentu. Jika jumlah X_{ijt} sama atau lebih besar dari jumlah permintaannya, maka nilai Y_{jt} bernilai 1.

$$(\sum_{k=t}^T D_{ik}) Y_{jt} - X_{ijt} Q_{ij} \geq 0 \quad \forall i, \forall j, \forall t$$

(4.6)

3. Batasan yang menyatakan bahwa jumlah persediaan semua produk tidak melebihi kapasitas gudang yang ada pada setiap periode.

$$\sum_{k=1}^t \sum_j X_{ijk} Q_{ij} - \sum_{k=1}^t D_{ik} \leq S \quad \forall t$$

(4.7)

4. Batasan yang menyatakan bahwa jumlah produk yang dipesan tidak lebih dari kapasitas produk dari masing-masing *supplier*.

$$X_{ijt} \leq C_{ij} \quad \forall i, \forall j, \forall t$$

(4.8)

5. Batasan yang menyatakan bahwa Y_{jt} merupakan variabel biner, yaitu bernilai 1 atau 0, 1 jika terjadi pemesanan, 0 jika tidak.

$$Y_{jt} = (0,1) \quad \forall j, \forall t \quad (4.9)$$

6. Batasan yang menyatakan bahwa nilai X_{ijt} selalu bernilai positif (*non-negativity*)

$$X_{ijt} \geq 0 \quad \forall i, \forall j, \forall t \quad (4.10)$$

4.4 Verifikasi Model Matematis

Pada subbab ini akan dijelaskan mengenai verifikasi apakah model matematis yang dibuat berjalan dengan benar dan sesuai yang diinginkan. Verifikasi model dilakukan dengan *debug* untuk menguji adanya *error* pada model yang telah dibuat pada *software* optimasi (LINGO11). Hasil *debug* pada model optimasi mengatakan bahwa model yang telah dibuat tidak bersifat *infeasible* dan *unbounded*, maka dapat disimpulkan bahwa model optimasi telah ter verifikasi.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 5

IMPLEMENTASI DAN ANALISIS MODEL

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai tahapan implementasi model untuk *inventory lot-sizing problem* serta analisis hasil model. Analisis yang dilakukan meliputi analisis hasil *running* model optimasi, analisis perbandingan hasil optimasi dengan *existing*, serta analisis sensitivitas model.

5.1 *Running Model Matematis*

Pada *subbab* ini akan ditampilkan hasil *running* model matematis dari *inventory lot-sizing problem*. Model yang dibuat menyatakan bahwa untuk satu *supplier* dapat memenuhi lebih dari satu jenis kantong dan kantong yang dipesan memiliki kondisi dimana beberapa akan pecah/rusak sehingga tidak dapat digunakan untuk memenuhi permintaan. Dengan menggunakan data permintaan, *inventory* awal bulan, tingkat kualitas, kapasitas gudang, kapasitas *supplier*, serta komponen-komponen biaya, berikut adalah hasil *running* model *inventory lot-sizing* dari masing-masing *supplier*.

5.1.1 *Hasil Model Inventory Lot-Sizing*

Pada *subbab* ini akan dilampirkan hasil *running* model *inventory lot-sizing* yaitu variabel keputusan X_{ijt} mengenai jumlah *order* optimal produk i yang dipesan dari *supplier* j pada periode t . Berikut adalah hasil perhitungan model untuk *supplier* 1, 2 dan 3.

Tabel 5. 1 Hasil Model *Supplier* 1

Periode	Kraft 2 Ply 40kg	Kraft 2 Ply 50kg
1	8,292,977	2,430,209
2	6,416,244	1,935,426
3	7,463,934	2,253,386
4	7,011,143	2,117,060
5	7,730,559	2,340,595
6	6,695,954	1,447,460
7	10,500,000	1,060,535

Tabel 5. 2 Hasil Model *Supplier* 1 (Lanjutan)

Periode	Kraft 2 Ply 40kg	Kraft 2 Ply 50kg
8	10,500,000	1,107,860
9	10,500,000	2,700,000
10	10,500,000	2,700,000
11	10,500,000	2,700,000
12	10,500,000	2,700,000
TOTAL	106,610,811	25,492,531

Hasil *running* model pemesanan untuk jenis kantong yang dilakukan kepada *supplier* 1 terjadi pada setiap periode, untuk pemesanan jenis kantong Kraft 2 Ply 40kg pada bulan Juli hingga Desember mencapai jumlah maksimal yang bisa dilakukan *supplier* 1 kepada PP Tuban. Sedangkan untuk kantong jenis Kraft 2 Ply 50kg terjadi pada bulan September hingga Desember.

Untuk pemesanan kepada *supplier* 2 juga dilakukan pada tiap periode akan tetapi jumlah yang dipesan lebih sedikit dibandingkan jumlah pemesanan yang dilakukan kepada *supplier* 3.

Tabel 5. 3 Hasil Model *Supplier* 2

Periode	Woven 1 Ply 40kg	Woven 1 Ply 50kg
1	206,820	368,569
2	130,500	278,924
3	203,807	375,620
4	147,571	298,062
5	154,601	308,134
6	32,086	146,974
7	40,421	180,616
8	67,033	210,531
9	103,084	250,821
10	125,981	276,809
11	97,461	244,879
12	58,397	200,862
TOTAL	1,367,762	3,140,801

Untuk pemesanan yang dilakukan kepada *supplier* 3 terjadi pada setiap periode dan memiliki jumlah yang sama yaitu sebesar 600,000 unit untuk dua jenis

kantong. Jumlah ini merupakan jumlah maksimal yang dapat dilakukan *supplier* 3 untuk memenuhi kebutuhan kantong di PP Tuban.

Tabel 5. 4 Hasil Model *Supplier* 3

Periode	Woven 1 Ply 40kg	Woven 1 Ply 50kg
1	300,000	300,000
2	300,000	300,000
3	300,000	300,000
4	300,000	300,000
5	300,000	300,000
6	300,000	300,000
7	300,000	300,000
8	300,000	300,000
9	300,000	300,000
10	300,000	300,000
11	300,000	300,000
12	300,000	300,000
TOTAL	3,600,000	3,600,000

Pada tabel 5.1-5.3 dapat dilihat bahwa pemesanan pada ketiga *supplier* terjadi pada tiap periode dengan mengonsiderasikan kapasitas masing-masing *supplier*. Hasil dari *order* optimal kemudian menghasilkan persediaan yang menjadi *inventory awal* di bulan selanjutnya. Hasil *inventory awal* ditampilkan pada subbab 5.1.2.

5.1.2 Hasil *Inventory Awal Running Model*

Pada subbab ini ditampilkan *inventory awal* untuk seluruh jenis kantong dari hasil *running model*. Berikut ini tabel *inventory awal* dari model matematis *inventory lot-sizing problem*.

Tabel 5. 5 *Inventory Awal Hasil Running Model*

Periode	Kraft 2 Ply 40kg	Kraft 2 Ply 50kg	Woven 1 Ply 40kg	Woven 1 Ply 50kg	TOTAL
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0

Tabel 5. 6 *Inventory* Awal Hasil *Running* Model (Lanjutan)

Periode	Kraft 2 Ply 40kg	Kraft 2 Ply 50kg	Woven 1 Ply 40kg	Woven 1 Ply 50kg	TOTAL
5	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0
7	1,327,140	0	0	0	1,327,140
8	1,563,900	0	0	0	1,563,900
9	2,191,160	87,212	0	0	2,278,372
10	2,198,820	196,959	0	0	2,395,779
11	1,075,180	57,706	0	0	1,132,886
12	306,940	853	0	0	307,793

Dapat dilihat pada tabel 5.4 bahwa kondisi stok/*inventory* di awal periode dari hasil *running* menunjukkan adanya perbedaan jumlah kantong yang disimpan selama 12 periode dengan kondisi *existing* perusahaan. Pada tabel 4.8 dapat dilihat bahwa pada tiap periode keempat jenis kantong memiliki persediaan, sedangkan dari hasil *running* model hanya kantong Kraft 2 Ply 40kg dan 50kg yang memiliki persediaan. Jumlah persediaan yang lebih sedikit pada hasil model dikarenakan sistem pemesanan oleh model berdasarkan permintaan kantong sehingga jumlah pemesanan kantong lebih kecil dibanding *existing*.

5.1.3 Hasil Total Biaya Pembelian, Penyimpanan dan Pemesanan Model

Pada subbab ini akan ditunjukkan hasil *running* model untuk biaya pembelian, biaya penyimpanan dan biaya pemesanan. Berikut adalah total biaya yang dikeluarkan untuk masing-masing *supplier*.

Tabel 5. 7 Total Biaya Hasil *Running* Model

Periode	PC	OC	HC	Total
1	Rp 27,717,971,850.00	Rp 4,691,023	Rp -	Rp 27,722,662,873
2	Rp 21,802,555,200.00	Rp 4,691,023	Rp -	Rp 21,807,246,223
3	Rp 25,378,652,900.00	Rp 4,691,023	Rp -	Rp 25,383,343,923
4	Rp 23,703,817,500.00	Rp 4,691,023	Rp -	Rp 23,708,508,523
5	Rp 25,954,736,800.00	Rp 4,691,023	Rp -	Rp 25,959,427,823
6	Rp 20,722,416,300.00	Rp 4,691,023	Rp 614,844,649	Rp 21,341,951,972
7	Rp 28,597,607,600.00	Rp 4,691,023	Rp 724,532,111	Rp 29,326,830,734
8	Rp 28,839,114,050.00	Rp 4,691,023	Rp 1,059,049,987	Rp 29,902,855,060
9	Rp 32,985,823,650.00	Rp 4,691,023	Rp 1,117,864,175	Rp 34,108,378,848

Tabel 5. 8 Total Biaya Hasil *Running Model* (Lanjutan)

Periode	PC	OC	HC	Total
10	Rp 33,092,380,350.00	Rp 4,691,023	Rp 527,174,323	Rp 33,624,245,696
11	Rp 32,960,645,850.00	Rp 4,691,023	Rp 142,630,381	Rp 33,107,967,254
12	Rp 32,779,573,200.00	Rp 4,691,023	Rp -	Rp 32,784,264,223
TOTAL KESELURUHAN				Rp 338,777,683,151

Total biaya yang dihasilkan model adalah sebesar Rp 338,777,683,150. Berdasarkan perhitungan biaya *existing* yang dikeluarkan untuk melakukan pengadaan kantong semen adalah sebesar Rp 343,392,538,946. Sehingga terjadi penghematan sebesar Rp 4,614,855,795 dengan diterapkannya *inventory lot-sizing* dalam pengadaan kantong dengan bantuan model matematis yang dibangun.

5.2 Uji Sensitivitas

Pada subbab ini akan ditampilkan mengenai hasil uji sensitivitas dari solusi optimal untuk mengetahui besarnya pengaruh perubahan suatu parameter terhadap hasil dari solusi optimal. Pada penelitian ini hasil uji sensitivitas dilakukan dengan mengubah nilai permintaan menjadi 7 kondisi, mulai dari perubahan sebesar -30%, -20%, -10%, 0%, 10%, 20%, 30%. Parameter *output* yang akan dilihat yaitu jumlah *overstock*, *stockout*, total biaya, *fulfillment rate* dan juga order yang disarankan. Berikut ini merupakan hasil uji sensitivitas dari perubahan permintaan dengan 7 kondisi yang ada.

Tabel 5. 9 Uji Sensitivitas Terhadap Parameter Permintaan Kantong Kraft 2 Ply 40kg

Kraft 2 Ply 40kg					
Permintaan	<i>Overstock</i>	<i>Stockout</i>	<i>Total Cost</i>	<i>Fill Rate</i>	Order yang Disarankan
-30%	1,241,359	0	Rp 16,795,388,542	1.00	7,051,618
-20%	827,573	0	Rp 17,555,395,952	1.00	7,465,404
-10%	413,786	0	Rp 18,315,403,363	1.00	7,879,191
0%	0	0	Rp 19,075,410,774	1.00	8,292,977
10%	0	413,786	Rp 20,027,119,379	0.95	8,706,763
20%	0	827,573	Rp 20,978,827,984	0.91	9,120,550
30%	0	1,241,359	Rp 21,930,536,589	0.87	9,534,336

Untuk uji sensitivitas pada kantong jenis Kraft 2 Ply 40kg dapat dilihat pada tabel 5.6 di atas. Uji sensitivitas dilakukan pada periode pertama dengan mengubah permintaan menjadi 7 kondisi yang telah disebutkan. Meningkatnya jumlah permintaan menyebabkan meningkatkan jumlah *stockout*, total biaya dan juga jumlah order yang disarankan, sedangkan jumlah *overstock* dan *fulfillment rate* menurun.

Tabel 5. 10 Uji Sensitivitas Terhadap Parameter Permintaan Kantong Kraft 2 Ply 50kg

Kraft 2 Ply 50kg					
Permintaan	Overstock	Stockout	Total Cost	Fill Rate	Order yang Disarankan
-30%	363,660	0	Rp 5,351,124,854	1.00	2,066,549
-20%	242,440	0	Rp 5,593,131,961	1.00	2,187,769
-10%	121,220	0	Rp 5,835,139,067	1.00	2,308,989
0%	0	0	Rp 6,077,146,174	1.00	2,430,209
10%	0	121,220	Rp 6,380,196,174	0.95	2,551,429
20%	0	242,440	Rp 6,683,246,174	0.91	2,672,649
30%	0	363,660	Rp 6,986,296,174	0.87	2,793,869

Untuk uji sensitivitas pada kantong jenis Kraft 2 Ply 50kg dapat dilihat pada tabel 5.6 di atas. Uji sensitivitas dilakukan pada periode pertama dengan mengubah permintaan menjadi 7 kondisi yang telah disebutkan. Untuk jumlah *overstock/stockout* dan total biaya yang dikeluarkan tidak terlalu tinggi jika dibandingkan dengan kantong jenis Kraft 2 Ply 40kg. Dapat dilihat pada masing-masing parameter terdapat karakteristik tersendiri akibat dari meningkatnya jumlah permintaan, hal ini memiliki kesamaan dengan yang terjadi pada kantong jenis Kraft 2 Ply 50kg

Tabel 5. 11 Uji Sensitivitas Terhadap Parameter Permintaan Kantong Woven 1 Ply 40kg

Woven 1 Ply 40kg					
Permintaan	Overstock	Stockout	Total Cost	Fill Rate	Order yang Disarankan
-30%	75,750	0	Rp 941,747,980	1.00	431,070
-20%	50,500	0	Rp 984,092,236	1.00	456,320
-10%	25,250	0	Rp 1,026,436,492	1.00	481,570

Tabel 5. 12 Uji Sensitivitas Terhadap Parameter Permintaan Kantong Woven 1 Ply 40kg (Lanjutan)

Woven 1 Ply 40kg					
Permintaan	Overstock	Stockout	Total Cost	Fill Rate	Order yang Disarankan
0%	0	0	Rp 1,068,780,748	1.00	506,820
10%	0	25,250	Rp 1,121,805,748	0.95	532,070
20%	0	50,500	Rp 1,174,830,748	0.91	557,320
30%	0	75,750	Rp 1,227,855,748	0.87	582,570

Untuk uji sensitivitas pada kantong jenis Woven 1 Ply 40kg dapat dilihat pada tabel 5.6 di atas. Uji sensitivitas dilakukan pada periode pertama dengan mengubah permintaan menjadi 7 kondisi yang telah disebutkan. Meningkatnya jumlah permintaan menyebabkan meningkatkan jumlah *stockout*, total biaya dan juga jumlah order yang disarankan, sedangkan jumlah *overstock* dan *fulfillment rate* menurun.

Tabel 5. 13 Uji Sensitivitas Terhadap Parameter Permintaan Kantong Woven 1 Ply 50kg

Woven 1 Ply 50kg					
Permintaan	Overstock	Stockout	Total Cost	Fill Rate	Order yang Disarankan
-30%	99,750	0	Rp 1,324,899,947	1.00	568,819
-20%	66,500	0	Rp 1,384,643,081	1.00	602,069
-10%	33,250	0	Rp 1,444,386,214	1.00	635,319
0%	0	0	Rp 1,504,129,348	1.00	668,569
10%	0	33,250	Rp 1,578,941,848	0.95	701,819
20%	0	66,500	Rp 1,653,754,348	0.91	735,069
30%	0	99,750	Rp 1,728,566,848	0.87	768,319

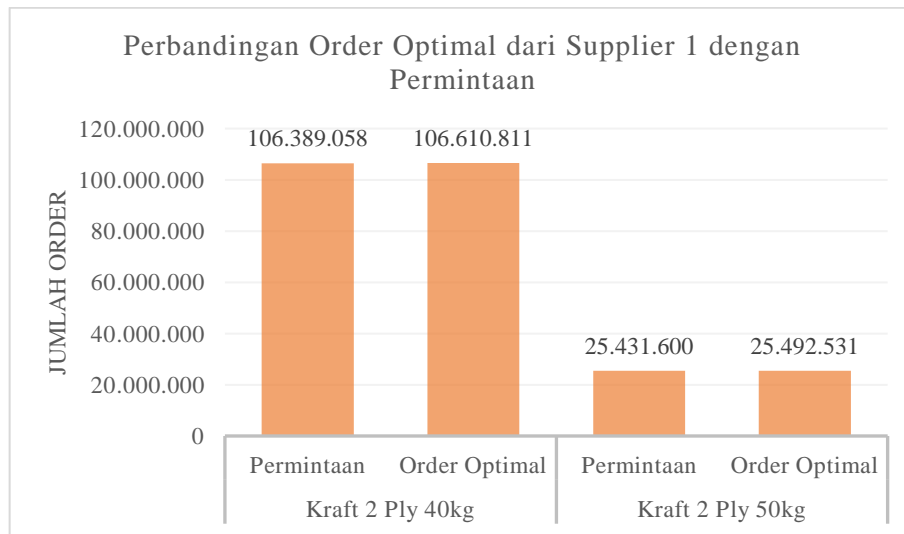
Untuk uji sensitivitas pada kantong jenis Woven 1 Ply 50kg dapat dilihat pada tabel 5.6 di atas. Uji sensitivitas dilakukan pada periode pertama dengan mengubah permintaan menjadi 7 kondisi yang telah disebutkan. Dapat dilihat pada masing-masing parameter terdapat karakteristik tersendiri akibat dari meningkatnya jumlah permintaan, hal ini memiliki kesamaan dengan yang terjadi pada kantong jenis Woven 1 Ply 40kg

5.4 Analisis Hasil *Running Model Matematis*

Model matematis *inventory lot-sizing problem* yang dirancang pada penelitian ini bertujuan untuk meminimalkan total biaya pengadaan kantong semen. Total biaya yang diminimalkan terdiri dari biaya pembelian untuk masing-masing produk yang dipesan pada periode tertentu, biaya pemesanan yang dikeluarkan jika terjadi pesanan kepada *supplier*, dan biaya penyimpanan jika produk yang dipesan lebih besar dari permintaan untuk tiap periode sehingga menimbulkan persediaan.

Dalam menentukan jumlah produk yang dipesan, model matematis dalam penelitian ini juga mempertimbangkan batasan-batasan yang sesuai dengan kondisi sistem pengadaan kantong semen di PP Tuban. Batasan-batasan tersebut berupa jumlah permintaan, tingkat kualitas *supplier* untuk masing-masing produk dimana terjadi karena adanya kerusakan produk yang tidak dapat diprediksi ketika *packaging* dilakukan, kapasitas gudang kantong, dan kapasitas masing-masing *supplier* berdasarkan data historis kemampuan *supplier* dalam memenuhi kebutuhan kantong semen di PP Tuban.

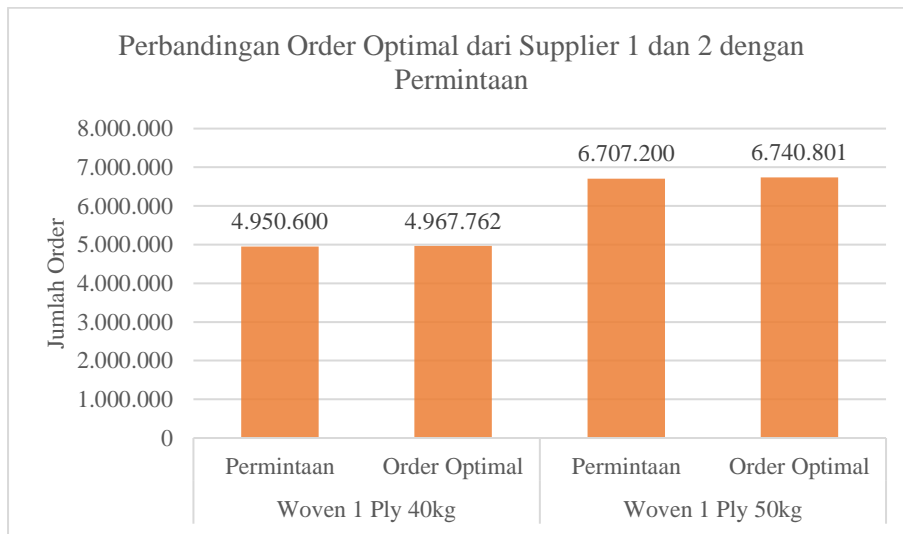
Dari hasil *running model* yang dilakukan didapatkan hasil bahwa pemesanan kantong semen pada masing-masing *supplier* terjadi pada tiap periode, sehingga selama 1 tahun perusahaan melakukan 12 kali pemesanan kepada masing-masing 3 *supplier*, sehingga total yang dilakukan sebanyak 36 kali pemesanan. Pada *supplier* 1 yang memproduksi kantong jenis Kraft 2 Ply 40kg dan 50kg hasil total order optimal selama setahun melebihi jumlah permintaan karena dalam model matematis mempertimbangkan jumlah kantong yang rusak saat proses *packing* sehingga tidak dapat memenuhi permintaan. Hasil perbandingan dapat dilihat pada tabel 5.1 berikut ini.



Gambar 5. 1 Perbandingan Order Optimal dari *Supplier* 1 dengan Permintaan

Kelebihan dari jumlah order optimal sesuai dengan tingkat kualitas dari masing-masing produk yang diproduksi dari *supplier* 1, dimana seperti yang dimaksudkan dari persamaan (4.5) bahwa perbandingan jumlah permintaan dengan jumlah order optimal pada kantong Kraft 2 Ply 40kg yaitu sebesar 0.99792, nilai tersebut sama dengan nilai tingkat kualitas dari kantong Kraft 2 Ply 40kg yang diproduksi oleh *supplier* 1. Hal yang sama berlaku pada jenis kantong Kraft 2 Ply 50kg, yaitu perbandingan antara jumlah permintaan dengan jumlah order optimal sebesar 0.99761, yaitu nilai yang sama dengan tingkat kualitas dari kantong jenis Kraft 2 Ply 50kg.

Pada hasil order optimal dari *supplier* 2 dan 3 menunjukkan bahwa total order yang dilakukan melebihi jumlah permintaan karena juga mempertimbangkan tingkat kualitas yang dimiliki oleh masing-masing *supplier* untuk jenis kantong Woven 1 Ply 40kg dan 50kg. Akan tetapi perbandingan antara jumlah permintaan dengan order optimal pada jenis kantong woven tidak dapat disamakan karena terdapat perbedaan kualitas antara *supplier* 2 dan 3 yang memproduksi kantong jenis woven. Untuk memastikan bahwa hasil order optimal dapat memenuhi seluruh permintaan dapat dilihat pada lampiran C yang menunjukkan bahwa pada jenis kantong Woven 1 Ply 40kg dan 50kg tidak memiliki kondisi *stockout* maupun *overstock* sehingga hasil order yang dihasilkan sudah sesuai.



Gambar 5. 2 Perbandingan Order Optimal dari *Supplier 1* dan 2 dengan Permintaan

Pada jenis kantong Kraft 2 Ply 40kg, jumlah kantong yang dipesan pada bulan Juni hingga Desember memiliki jumlah yang sama, yaitu sebesar 10,500,000. Hal ini dikarenakan permintaan pada bulan Oktober hingga November melebihi kapasitas *supplier 1* untuk jenis kantong Kraft 2 Ply 40kg, yaitu sebesar 10,500,000. Kondisi tersebut menimbulkan persediaan pada bulan Juli hingga Desember, yaitu berturut-turut sebesar 1,327,140; 1,563,900; 2,191,160; 2,198,820; 1,075,180 dan 306,940. Hal yang sama juga terjadi pada kantong Kraft 2 Ply 50kg dimana pada bulan September hingga Desember jumlah kantong yang dipesan sama, yaitu sebesar 2,700,000 dimana sama dengan jumlah kapasitas *supplier 1* untuk memenuhi kebutuhan kantong Kraft 2 Ply 40kg pada pabrik Tuban. Hal ini juga menimbulkan persediaan pada bulan September hingga Desember, yaitu berturut-turut sebesar 87,212; 196,959; 57,706 dan 853. Untuk jumlah persediaan yang timbul akibat kondisi di atas, jumlah terbesar terjadi pada bulan Oktober yaitu sebesar 2,395,779, kondisi ini sesuai dengan batasan kapasitas gudang pabrik Tuban yaitu sebesar 2,400,000, sehingga jumlah persediaan yang ditampung tidak melebihi kapasitas gudang yang ada.

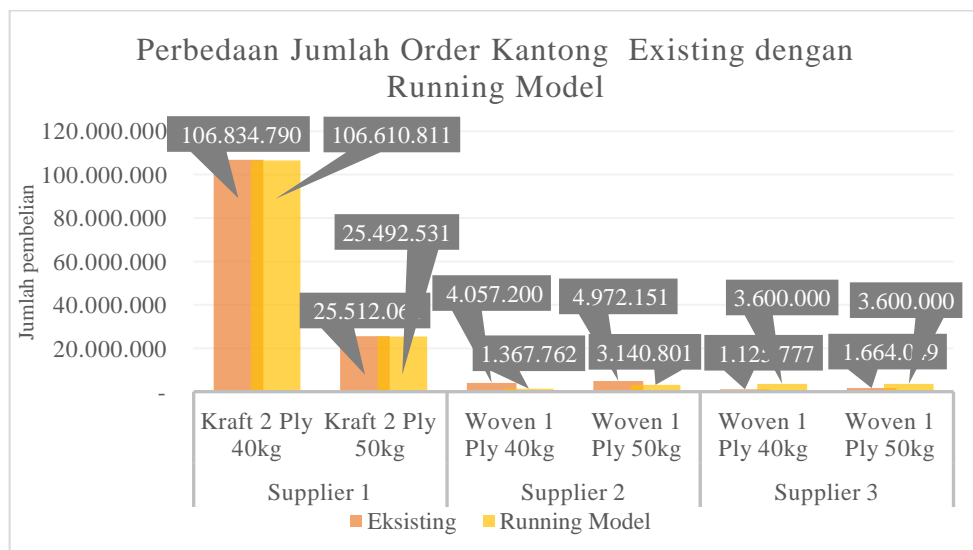
Untuk jenis kantong Woven 1 Ply 40kg kontribusi terbesar order optimal dilakukan kepada *supplier 3* karena memiliki tingkat kualitas yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan *supplier 2*. Untuk *supplier 2* tingkat kualitasnya sebesar

0.99580 sedangkan *supplier* 3 sebesar 0.99683. Akan tetapi karena kapasitas *supplier* 3 lebih kecil jika dibandingkan *supplier* 2 sehingga jumlah order optimal maksimal sebesar 300,000 dan sisanya dipenuhi oleh *supplier* 2. Hal yang sama juga terjadi untuk jenis kantong Woven 1 Ply 50kg dimana tingkat kualitas *supplier* untuk jenis kantong tersebut lebih besar dimiliki oleh *supplier* 3, yaitu sebesar 0.99695 sedangkan untuk *supplier* 2 sebesar 0.99280.

Berdasarkan hasil *running*, nilai fungsi tujuan menunjukkan total biaya pengadaan kantong semen sebesar Rp 338,777,683,152,-. Biaya terbesar didapatkan dari biaya pembelian kantong yaitu sebesar Rp 334,535,295,250,-, sedangkan untuk biaya pemesanan sebesar Rp 51,292,275 dan biaya penyimpanan sebesar Rp 4,186,095,627

5.6 Analisis Hasil Perbandingan *Running Model* dengan *Existing*

Pada subbab ini dilakukan analisis perbandingan hasil *running model* dengan kondisi *existing*. Diketahui bahwa terdapat *trade off* antara biaya pemesanan dan biaya penyimpanan, jika semakin kecil jumlah pemesanan maka produk yang disimpan akan semakin tinggi, hal ini dikarenakan jumlah barang yang dibeli pada tiap kali pemesanan akan lebih tinggi. Kondisi tersebut juga dapat mendasari perbedaan yang terjadi dari biaya hasil *running model* dengan biaya *existing* pengadaan kantong semen.



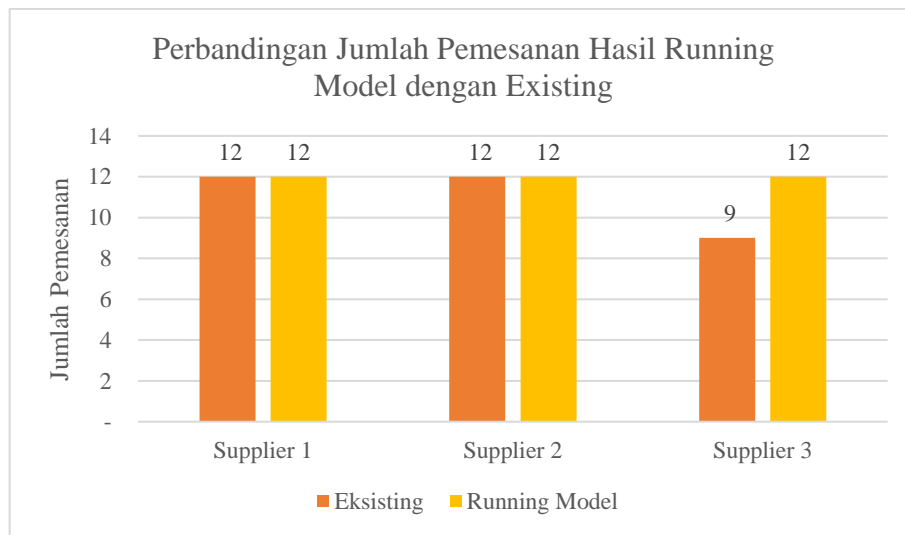
Gambar 5. 3 Perbedaan Jumlah Order *Existing* dengan Hasil *Running Model*

Hal pertama yang perlu dibandingkan adalah jumlah order dari masing-masing *supplier*. Berdasarkan gambar 5.3 perbedaan jumlah order selama setahun terjadi pada *supplier* 2 dan 3 yang menghasilkan kantong jenis woven. Dapat dilihat bahwa pada *supplier* 3 terdapat peningkatan jumlah yang dipesan, hal ini diakibatkan karena tingkat kualitas yang dimiliki *supplier* 3 lebih tinggi dibandingkan dengan *supplier* 2. Jumlah order kantong kepada *supplier* 3 merupakan jumlah maksimal dari kapasitas *supplier* 3 untuk memenuhi kebutuhan kantong PP Tuban. Sedangkan untuk jumlah order yang dilakukan pada *supplier* 1 yang menghasilkan jenis kantong kraft tidak memiliki perbedaan yang cukup signifikan, akan tetapi jumlah yang dipesan berdasarkan hasil *running* model lebih sedikit dibandingkan kondisi *existing*. Untuk jumlah keseluruhan berdasarkan jenis kantong, terdapat peningkatan jumlah order pada jenis kantong Woven 1 Ply 50kg. Pada kondisi *existing* jumlah yang dipesan sebesar 6,636,200 sedangkan pada hasil *running* model menjadi 6,740,801, mengalami peningkatan sebesar 104,601. Kondisi ini dapat diakibatkan oleh jumlah persediaan yang berkurang pada hasil *running* model sehingga jumlah yang dipesan lebih tinggi. Dan untuk jenis kantong Kraft 2 Ply 40kg, Kraft 2 Ply 50kg dan Woven 1 Ply 40 kg mengalami penurunan jumlah yang dipesan berturut-turut sebesar 223,979; 19,530; dan 215,215.



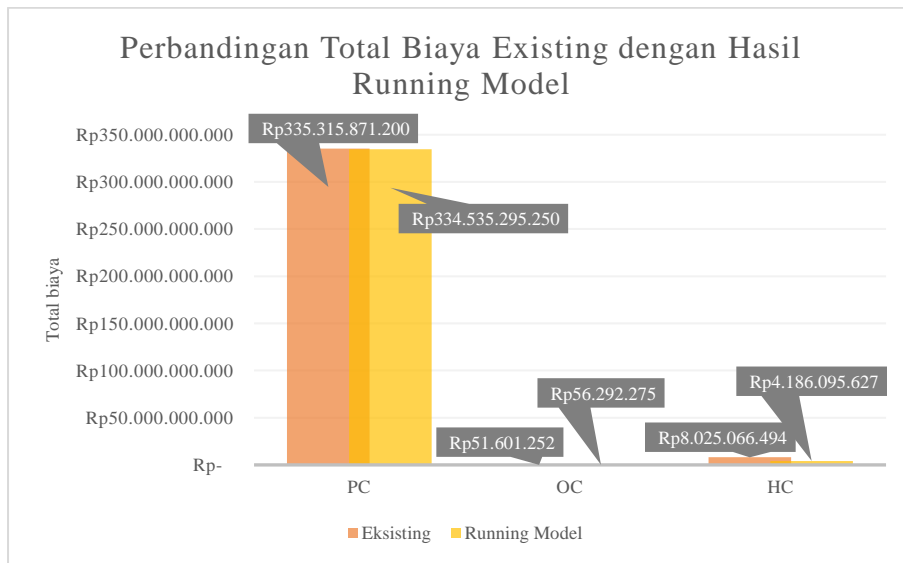
Gambar 5. 4 Perbandingan Persediaan Hasil *Running* Model dengan *Existing*

Untuk jumlah persediaan dapat dilihat pada grafik 5.4 bahwa persediaan untuk kantong jenis Kraft 2 Ply 50kg, Woven 1 Ply 40kg dan Woven 1 Ply 50kg dari hasil *running* model jauh berkurang. Dapat dilihat untuk kantong Kraft 1 Ply 50kg berkurang sebanyak 87% dan untuk kantong Woven 1 Ply 40kg dan 50kg berkurang sebanyak 100%. Tetapi untuk kantong Kraft 2 Ply 40kg, persediaan hanya berkurang sebanyak 2%. Untuk penyimpanan persediaan tiap bulannya dapat dilihat pada tabel 5.4 bahwa persediaan muncul hanya pada bulan Juli hingga Desember, jika dibandingkan dengan kondisi *existing* persediaan terjadi sepanjang tahun mulai dari bulan Januari hingga Desember.



Gambar 5. 5 Perbandingan Jumlah Pemesanan Hasil *Running* Model dengan *Existing*

Untuk jumlah pemesanan yang dilakukan pada masing-masing *supplier* terdapat perbedaan pada jumlah pemesanan kepada *supplier 3*, yaitu dari 9 kali pemesanan menjadi 12 kali pemesanan. Hal ini menjadi *trade off* dari jumlah persediaan yang berkurang pada hasil *running* model. Pada hasil *running* model, biaya penyimpanan berkurang sedangkan biaya pemesanan bertambah. Untuk perbandingan total biaya yang terdiri dari biaya pembelian (PC), biaya pemesanan (OC) dan biaya penyimpanan (HC) dapat dilihat pada gambar 5.6 di bawah ini.



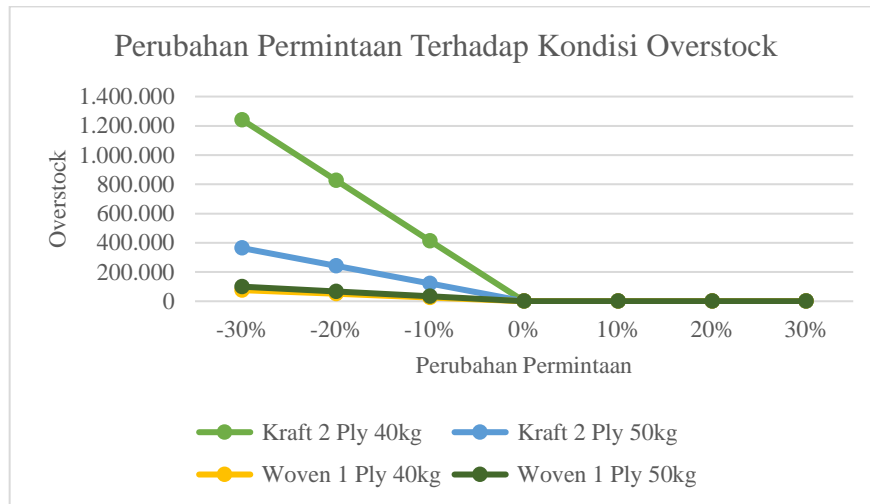
Gambar 5. 6 Perbandingan Total Biaya *Existing* dengan Hasil *Running Model*

Pada gambar 5.6 dapat dilihat bahwa peningkatan biaya terjadi pada biaya pemesanan karena adanya peningkatan jumlah *order* yang dilakukan kepada *supplier* 3. Pada biaya pembelian terjadi pengurangan biaya sebesar Rp 780,575,950,- karena jumlah kantong yang dibeli lebih rendah. Untuk biaya penyimpanan terjadi pengurangan sebesar Rp 3,838,970,867,- karena jumlah persediaan yang berkurang secara signifikan jika dibandingkan dengan kondisi *existing*. Berdasarkan penjelasan di atas, kontribusi terbesar dalam penghematan biaya ada pada biaya penyimpanan. Total penghematan biaya yang dapat dilakukan dalam mengimplementasikan *inventory lot-sizing* pada sistem pengadaan kantong semen sebesar Rp 4,614,855,795.

5.7 Analisis Sensitivitas

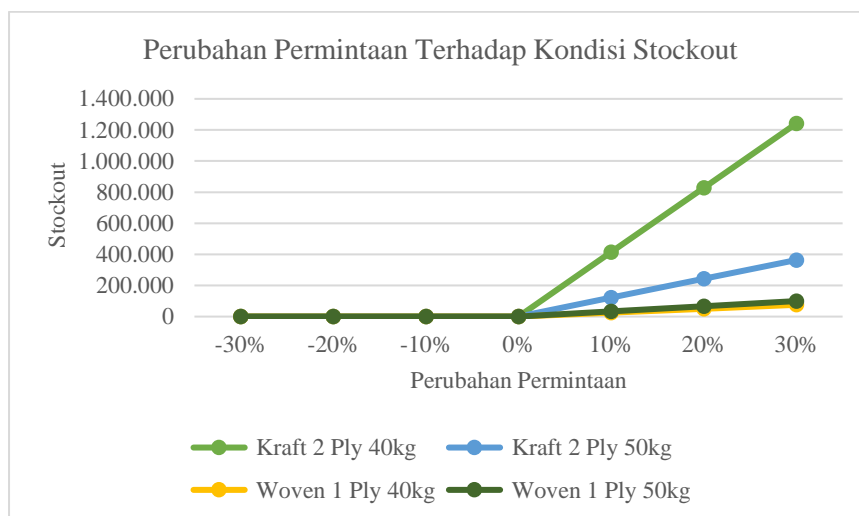
Analisis sensitivitas dilakukan untuk mengetahui besarnya pengaruh perubahan suatu variabel terhadap solusi optimal dari hasil model matematis *inventory lot-sizing*. Variabel yang dimaksudkan dalam penelitian ini adalah jumlah permintaan karena permintaan sebagai variabel *input* yang berpengaruh terhadap keputusan jumlah pemesanan dan fungsi tujuan yaitu berupa total biaya. Untuk hasil solusi optimal yang dilihat pengaruhnya adalah berupa kondisi *overstock/stockout*, total biaya, *fulfillment rate* dan jumlah order yang disarankan.

Dalam analisis sensitivitas terdapat 7 kondisi yang dijadikan percobaan, yaitu jika permintaan berubah sebesar -30%, -20%, -10%, 0%, 10%, 20% dan 30%.



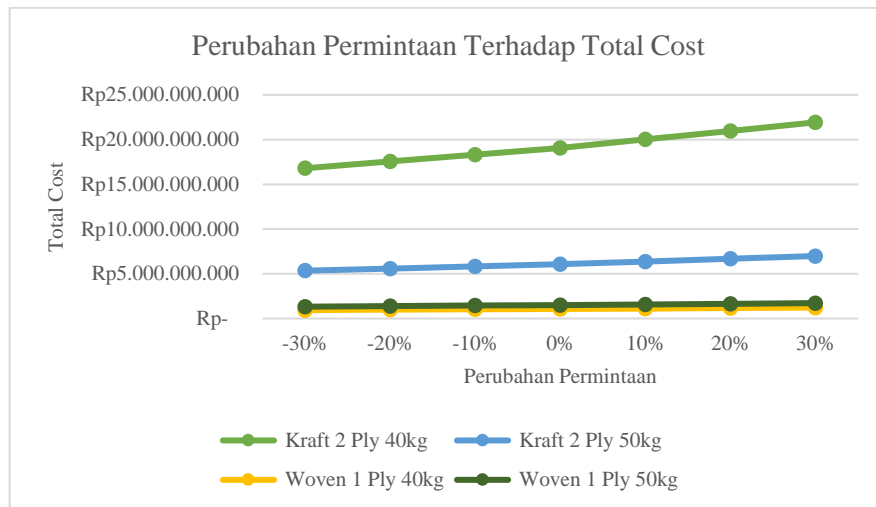
Gambar 5. 7 Grafik Sensitivitas Permintaan Terhadap Kondisi *Overstock*

Pada gambar 5.7 ditunjukkan bahwa hubungan antara permintaan dengan jumlah *overstock* berbanding terbalik. Hal ini dikarenakan apabila permintaan berkurang maka jumlah kantong yang dipesan menjadi berlebih pada periode tersebut dan menjadi persediaan pada periode selanjutnya. Sedangkan jika permintaan meningkat maka seluruh order akan terpakai dan tidak akan menjadi persediaan pada periode selanjutnya, akan tetapi dapat menjadi kondisi sebaliknya yaitu *stockout*. Hal ini dapat dilihat pada perubahan permintaan sebesar 10%, 20% dan 30% dimana jumlah *overstock* bernilai 0%, maka kondisi *overstock* dengan *stockout* juga berbanding terbalik. Pada kondisi ini jenis kantong yang sensitif terhadap perubahan permintaan adalah Kraft 2 Ply 40kg, hal ini karena jenis kantong tersebut merupakan kantong yang memiliki tingkat konsumsi tertinggi dibandingkan jenis kantong lainnya, yaitu rata-rata sebesar 8,865,755 tiap bulannya.



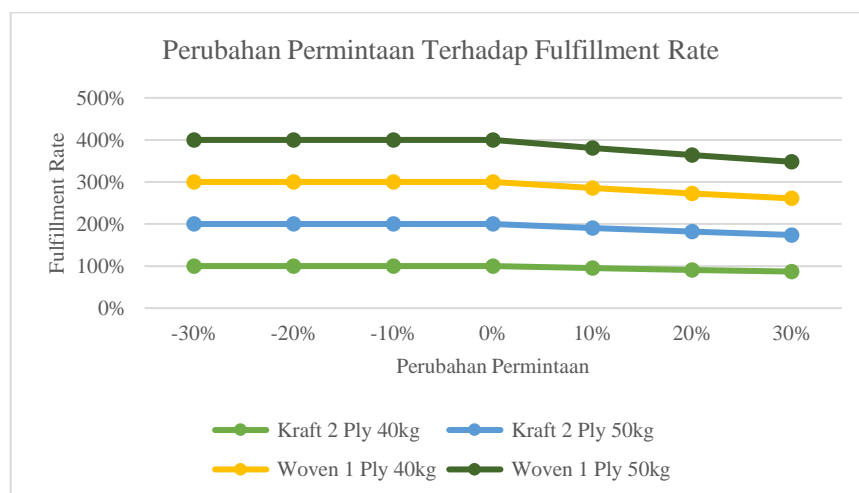
Gambar 5. 8 Grafik Sensitivitas Permintaan Terhadap Kondisi *Stockout*

Untuk kondisi *stockout* yang ditunjukkan pada gambar 5.8 menyatakan bahwa hubungan antara permintaan dengan kondisi *stockout* berbanding lurus. Hal ini dikarenakan apabila permintaan meningkat maka jumlah yang dipesan akan menjadi kurang sehingga menimbulkan kondisi *stockout*. Sedangkan jika permintaan berkurang maka seluruh order akan terpakai dan terdapat beberapa unit yang tidak terpakai untuk memenuhi permintaan sehingga menjadi *overstock*. Hal ini dapat dilihat pada perubahan permintaan sebesar -30%, -20%, dan -10% dimana jumlah *stockout* bernilai 0%. Kondisi ini berbanding terbalik dengan kondisi *overstock* dimana jika permintaan berubah sebesar 30% maka kondisi *stockout* akan mencapai 15%. Pada kondisi ini jenis kantong yang sensitif terhadap perubahan permintaan adalah Kraft 2 Ply 40kg karena tingkat konsumsinya yang tinggi, sehingga menyebabkan jumlah *stockout* terbesar 1,241,359 unit pada perubahan permintaan sebesar 30%.



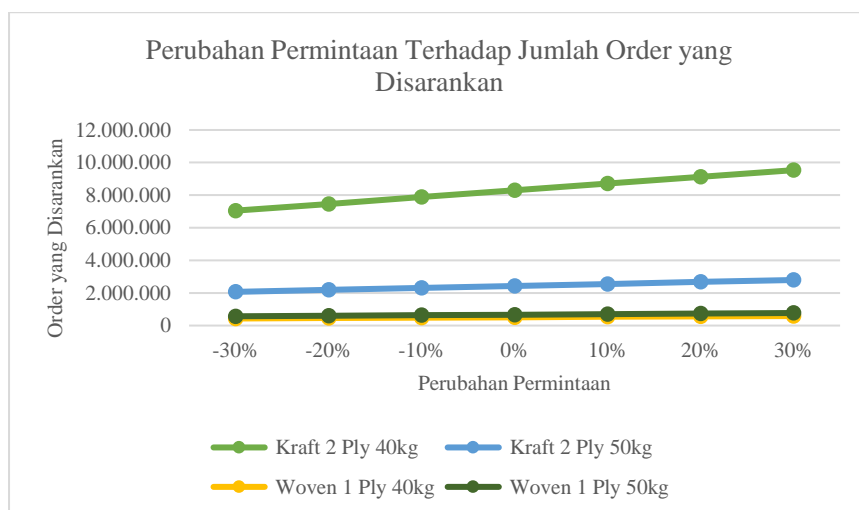
Gambar 5. 9 Grafik Sensitivitas Permintaan Terhadap *Total Cost*

Selanjutnya untuk sensitivitas perubahan permintaan terhadap total biaya bersifat berbanding lurus. Secara umum, semakin besar permintaan yang ada menyebabkan total biaya yang dikeluarkan untuk memenuhi permintaan tersebut juga meningkat dan begitu pula sebaliknya. Peningkatan total biaya paling signifikan ada pada biaya pembelian yang berkaitan dengan jumlah kantong yang dipesan agar terhindar dari kondisi *stockout/overstock*. Pada kondisi ini jenis kantong yang sensitif terhadap perubahan permintaan adalah Kraft 2 Ply 40kg, karena memiliki peningkatan yang paling tinggi yang dapat dilihat pada gambar 5.9 di atas, hal ini disebabkan karena jumlah permintaan yang lebih tinggi dibandingkan jenis kantong lainnya.



Gambar 5. 10 Grafik Sensitivitas Permintaan Terhadap *Fulfillment Rate*

Untuk sensitivitas permintaan terhadap *fulfillment rate* bersifat berbanding terbalik. Artinya semakin besar jumlah permintaannya maka jumlah order yang terpenuhi akan semakin rendah. *Fulfillment rate* menyatakan perbandingan antara permintaan yang terpenuhi dengan permintaan yang diinginkan oleh *customer*. Pada kasus kantong ini, *fulfillment rate* menyatakan jumlah order yang terpenuhi dibandingkan dengan permintaannya. Pada permintaan sebesar -30%, -20%, -10% dan 0% tingkat *fulfillment rate* sebesar 100% karena semua permintaan terpenuhi akibat jumlah order yang melebihi permintaan, akan tetapi kondisi ini menimbulkan persediaan dan menjadi kondisi *overstock*. Sedangkan untuk perubahan permintaan sebesar 10%, 20%, 30% *fulfillment rate* mengalami penurunan karena adanya permintaan yang tidak bisa terpenuhi karena mengalami kondisi *stockout*. Kondisi ini menunjukkan bahwa besarnya nilai *fulfillment rate* memiliki hubungan yang erat dengan jumlah *stockout*. Pada tiap jenis kantong tingkat perubahan *fulfillment rate* bernilai sama sehingga semua jenis kantong sensitif terhadap perubahan permintaan terutama pada saat perubahan permintaan lebih tinggi daripada biasanya.



Gambar 5. 11 Grafik Sensitivitas Permintaan Terhadap Jumlah Order yang Disarankan

Untuk jumlah order yang disarankan tentunya memiliki hubungan yang berbanding lurus dengan peningkatan permintaan. Hal ini karena semakin tinggi permintaan maka jumlah yang harus dipesan juga semakin tinggi dari jumlah yang

direncanakan. Hal ini dilakukan untuk menghindari kondisi *overstock* maupun *stockout* dan menstabilkan *fulfillment rate* agar semua order terpenuhi. Hal ini juga berkaitan erat dengan total biaya yang dikeluarkan untuk memenuhi permintaan tersebut, jika semakin banyak jumlah yang harus dipesan, maka total biaya juga akan meningkat. Untuk jenis kantong yang sensitif terhadap perubahan permintaan adalah kantong jenis Kraft 2 Ply 40kg karena alasan yang sama, yaitu jumlah permintaan yang lebih tinggi dibandingkan jenis kantong lainnya. Untuk persentase peningkatan jumlah kantong yang harus dipesan memiliki nilai yang sama untuk tiap jenis kantong, yaitu jika permintaan turun sebesar -30% maka jumlah yang dipesan sebesar 85% dari jumlah order yang direncanakan, untuk permintaan -20% jumlah yang dipesan sebesar 90%, untuk permintaan -10% jumlah yang dipesan sebesar 95%, untuk permintaan 10% jumlah yang dipesan sebesar 105%, untuk permintaan 20% jumlah yang dipesan sebesar 110%, dan yang terakhir untuk permintaan 30% jumlah yang dipesan sebesar 115%.

Hasil analisis sensitivitas ini dapat dijadikan informasi bagi bagian pengadaan kantong semen PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk dalam pengambilan keputusan, memprediksi hasil keputusan dengan kemungkinan yang terjadi pada permintaan semen yang dapat mempengaruhi permintaan kantong semen, dan juga bermanfaat pada penilaian risiko strategi perusahaan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan dipaparkan mengenai beberapa kesimpulan yang menjawab tujuan dan rumusan masalah dari hasil penelitian ini. Selain itu juga terdapat beberapa saran dan pertimbangan untuk penelitian selanjutnya.

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Pada penelitian ini telah dihasilkan model matematis *mixed integer linear programming* untuk *inventory lot-sizing problem* dengan kondisi *multi-period scenario*, *multi-product* dan *multi-supplier*. Fungsi tujuan dari model tersebut yaitu meminimalkan total biaya yang terdiri dari biaya pembelian, biaya pemesanan dan biaya penyimpanan, serta fungsi batasan yaitu permintaan, tingkat kualitas *supplier*, kapasitas gudang dan kapasitas *supplier*. Berdasarkan hasil penelitian ini, dengan adanya *multi-period scenario* maka dapat dilihat *profile performancy* persediaan tiap periodenya dalam setahun. Hal ini dapat menjadi evaluasi persediaan pada periode selanjutnya sehingga tidak ada penumpukan persediaan di akhir tahun.
2. Pada hasil model matematis terjadi penurunan jumlah order kantong sebesar 354,123 unit, dari 144,166,028 unit pada kondisi *existing* menjadi 143,811,905 unit pada hasil model matematis. Untuk *output* model yaitu total biaya, penghematan yang dihasilkan oleh model matematis sebesar Rp 4,614,855,795,- jika dibandingkan total biaya dari kondisi *existing*. Untuk jumlah pemesanan terjadi peningkatan jumlah pemesanan dari 33 kali menjadi 36 kali dalam setahun. Sedangkan jumlah persediaan yang disimpan selama setahun mengalami penurunan sebanyak 8,328,258 unit dibandingkan kondisi *existing*. Hal ini disebabkan adanya *trade off* antara biaya pemesanan dan biaya penyimpanan.

3. Pada hasil sensitivitas didapatkan bahwa perubahan permintaan berbanding terbalik dengan jumlah *overstock* dan *fulfillment rate*, sedangkan berbanding lurus dengan jumlah *stockout*, total biaya, dan jumlah order yang disarankan. Berdasarkan hasil sensitivitas, jenis kantong yang sensitif terhadap perubahan permintaan adalah Kraft 2 Ply 40kg karena tingkat permintaannya yang lebih tinggi.
4. Berdasarkan hasil order optimal, jumlah pembelian kantong semen kepada *supplier 2* dan *3* untuk jenis kantong Woven 1 Ply 40kg dan 50kg dapat mengikuti proporsi berikut, untuk Woven 1 Ply 40kg dari *supplier 2* sebesar 28% dan dari *supplier 3* sebesar 72%, untuk Woven 1 Ply 50kg dari *supplier 2* sebesar 47% dari *supplier 3* sebesar 53%. *Supplier 3* mendapatkan proporsi yang paling banyak karena memiliki tingkat kualitas untuk masing-masing jenis kantong woven yang paling tinggi.

6.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Pada penelitian selanjutnya dapat dirancang model *inventory lot-sizing problem* dengan mempertimbangkan *multi-location* dengan *multi-product*, *multi-supplier* dan *multi-period scenario*.
2. Pada penelitian selanjutnya dapat dikembangkan permodelan dengan mempertimbangkan *safety stock* dari masing-masing *location* dan juga masing-masing jenis kantong.

DAFTAR PUSTAKA

- Aissaoui, N., Haouari, M. & Hassini, E., 2006. Supplier selection and order lot sizing modeling: A review. *Computers & Operations Research*, pp. 3516-3540.
- Bahl, H. C., Ritzman, L. P. & Gupta, J. N. D., 1987. OR Practice-Determining Lot Sizes and Resource Requirements: A Review. *Operations Research*, , 35(3), pp. 329-345.
- Basnet, C. & Leung, J. M., 2005. Inventory lot-sizing with supplier selection. *Computers & Operations Research*, , 32(1), pp. 1-14.
- Chopra, S. & Meindl, P., 2015. *Supply Chain Management Strategy, Planning and Operation*. 6th penyunt. USA: Pearson Education. Inc.
- CSCMP, 2020. *CSCMP Supply Chain Management Definitions*. [Online] Available :https://cscmp.org/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx [Diakses 23 March 2020].
- Dummies, 2020. *5 Functions of Supply Chain Management*. [Online] Available at: <https://www.dummies.com/business/management/5-functions-supply-chain-management/> [Diakses 23 March 2020].
- Ekarina, 2019. *Permintaan Lesu, Penjualan Semen Indonesia hingga Oktober Anjlok 4.1%*. [Online] Available at: <https://katadata.co.id/berita/2019/12/02/permintaan-lesu-penjualan-semen-indonesia-hingga-oktober-anjlok-41>
- Gurufocus.com, 2020. *PT Semen Indonesia (Persero) Tbk WACC*. [Online] Available at: <https://www.gurufocus.com/term/wacc/PSGTF/WACC-/PT-Semen-Indonesia-Persero-Tbk> [Diakses 14 June 2020].
- Magasura, M., 2018. *The Role of Packaging in Supply Chain Management*. [Online] Available at: <https://www.pharmaceuticalonline.com/doc/the-role-of-packaging-in-supply-chain-management-0001>
- Media Digital, 2019. *Semen Indonesia Memperkuat Perekonomian Nasional*. [Online] Available at: <https://ekonomi.bisnis.com/read/20190823/45/1140393/semen-indonesia-memperkuat-perekonomian-nasional>

- Mohammadi, M. & Masine, 2012. A Mixed Integer Programming Model Formulation for Solving The Lot-Sizing Problem. *International Journal of Computer Science Issues*, IX(2), pp. 28-36.
- Prakoswa, R. H., 2018. *Konsumsi meningkat, Benarkah Ini Masa Suram Industri Semen?*. [Online] Available at: <https://www.cnbcindonesia.com/market/20180711165742-17-23090/konsumsi-meningkat-benarkah-ini-masasuramin-dustri-semen>
- PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk, 2018. *Laporan Tahunan* , Gresik: s.n.
- Pujawan, I. N. & Mahendrawathi, 2017. *Supply Chain Management*. 3rd penyunt. Yogyakarta: Andi.
- Rezaei, J. & Davoodi, M., 2010. Multi-Objective Models for Lot-Sizing with Supplier Selection. *International Journal Production Economics*, pp. 77-86.
- Tersine, R. J., 1994. *Principles of Inventory and Materials Management*. 4th penyunt. New Jersey: Prentice Hall.
- Vijaya, M., 2019. *Semen Indonesia Memperkuat Perekonomian Nasional* [Wawancara] (23 August 2019).
- Woarawichai, C., Kullpattaranirun, T. & Rungreunganun, V., 2011. Inventory Lot-Sizing Problem with Supplier Selection Under Storage Space and Budget Constraints. *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*, VIII(2), pp. 250-255.

LAMPIRAN A

Perhitungan Kondisi *Existing* Kantong Jenis Kraft 2 Ply 40kg

Periode	Inventory Awal	Jumlah Order	Kantong Pecah	Order yang dapat di pakai	Jumlah yang tersedia	Permintaan	Order Terpenuhi	Overstock	Stockout	Keputusan Order (0,1)
1	524,000	8,389,503	22,776	8,366,727	8,890,727	8,275,727	8,275,727	615,000	0	1
2	615,000	6,631,015	12,117	6,618,898	7,233,898	6,402,898	6,402,898	831,000	0	1
3	831,000	7,373,825	12,416	7,361,409	8,192,409	7,448,409	7,448,409	744,000	0	1
4	744,000	6,983,753	13,194	6,970,559	7,714,559	6,996,559	6,996,559	718,000	0	1
5	718,000	7,843,188	17,709	7,825,479	8,543,479	7,714,479	7,714,479	829,000	0	1
6	829,000	5,390,276	11,390	5,378,886	6,207,886	5,354,886	5,354,886	853,000	0	1
7	853,000	10,092,158	18,758	10,073,400	10,926,400	10,241,400	10,241,400	685,000	0	1
8	685,000	10,034,220	21,320	10,012,900	10,697,900	9,850,900	9,850,900	847,000	0	1
9	847,000	10,374,718	22,218	10,352,500	11,199,500	10,470,500	10,470,500	729,000	0	1
10	729,000	11,599,680	21,880	11,577,800	12,306,800	11,601,800	11,601,800	705,000	0	1
11	705,000	11,370,017	25,436	11,344,581	12,049,581	11,246,400	11,246,400	803,181	0	1
12	803,181	10,752,437	24,518	10,727,919	11,531,100	10,785,100	10,785,100	746,000	0	1

Perhitungan Kondisi *Existing* Kantong Jenis Kraft 2 Ply 50kg

Periode	Inventory Awal	Jumlah Order	Kantong Pecah	Order yang dapat di pakai	Jumlah yang tersedia	Permintaan	Order Terpenuhi	Overstock	Stockout	Keputusan Order (0,1)
1	129,363	2,583,517	5,530	2,577,987	2,707,350	2,424,400	2,424,400	282,950	0	1
2	282,950	1,932,742	2,942	1,929,800	2,212,750	1,930,800	1,930,800	281,950	0	1
3	281,950	2,141,065	3,015	2,138,050	2,420,000	2,248,000	2,248,000	172,000	0	1
4	172,000	2,153,253	3,203	2,150,050	2,322,050	2,112,000	2,112,000	210,050	0	1
5	210,050	2,356,250	4,300	2,351,950	2,562,000	2,335,000	2,335,000	227,000	0	1
6	227,000	1,542,266	2,766	1,539,500	1,766,500	1,444,000	1,444,000	322,500	0	1
7	322,500	943,555	4,555	939,000	1,261,500	1,058,000	1,058,000	203,500	0	1
8	203,500	969,863	5,177	964,686	1,168,186	1,018,000	1,018,000	150,186	0	1
9	150,186	2,724,509	5,395	2,719,114	2,869,300	2,583,800	2,583,800	285,500	0	1
10	285,500	2,746,612	5,312	2,741,300	3,026,800	2,832,800	2,832,800	194,000	0	1
11	194,000	2,806,204	6,176	2,800,028	2,994,028	2,750,400	2,750,400	243,628	0	1
12	243,628	2,612,225	5,953	2,606,272	2,849,900	2,694,400	2,694,400	155,500	0	1

Perhitungan Kondisi *Existing* Kantong Jenis Woven 1 Ply 40kg

Periode	Inventory Awal	Jumlah Order (Supplier 2)	Jumlah Order (Supplier 3)	Kantong Pecah (Supplier 2)	Kantong Pecah (Supplier 3)	Order yang dapat di pakai	Jumlah yang tersedia
1	27,120	312,155	233,780	1,418	637	543,880	571,000
2	66,000	390,380	0	2,380	0	388,000	454,000
3	25,000	420,000	306,097	757	340	725,000	750,000
4	248,000	271,421	0	1,421	0	270,000	518,000
5	72,000	378,533	162,228	1,207	554	539,000	611,000
6	158,000	317,688	136,152	970	446	452,424	610,424
7	279,424	401,747	0	1,871	0	399,876	679,300
8	340,000	232,484	0	212	0	232,272	572,272
9	206,472	371,097	0	1,369	0	369,728	576,200
10	174,500	310,648	133,134	1,591	606	441,585	616,085
11	191,585	290,812	0	2,230	0	288,582	480,167
12	84,067	360,235	154,386	1,602	610	512,409	596,476

Perhitungan Kondisi *Existing* Kantong Jenis Woven 1 Ply 40kg (Lanjutan)

Periode	Permintaan	Order Terpenuhi	Overstock	Stockout	Keputusan Order (0,1) (Supplier 2)	Keputusan Order (0,1) (Supplier 3)
1	505,000	505,000	66,000	0	1	1
2	429,000	429,000	25,000	0	1	0
3	502,000	502,000	248,000	0	1	1
4	446,000	446,000	72,000	0	1	0
5	453,000	453,000	158,000	0	1	1
6	331,000	331,000	279,424	0	1	1
7	339,300	339,300	340,000	0	1	0
8	365,800	365,800	206,472	0	1	0
9	401,700	401,700	174,500	0	1	0
10	424,500	424,500	191,585	0	1	1
11	396,100	396,100	84,067	0	1	0
12	357,200	357,200	239,276	0	1	1

Perhitungan Kondisi *Existing* Kantong Jenis Woven 1 Ply 50kg

Periode	Inventory Awal	Jumlah Order (Supplier 2)	Jumlah Order (Supplier 3)	Kantong Pecah (Supplier 2)	Kantong Pecah (Supplier 3)	Order yang dapat di pakai	Jumlah yang tersedia
1	211,089	600,000	385,872	2,126	835	982,911	1,194,000
2	529,000	97,699	0	3,288	0	94,411	623,411
3	47,411	600,000	270,170	1,135	446	868,589	916,000
4	244,000	430,183	184,364	1,470	577	612,500	856,500
5	261,500	522,483	223,922	1,666	738	744,001	1,005,501
6	400,500	357,004	0	1,934	0	355,070	755,570
7	310,570	464,020	198,866	1,771	785	660,330	970,900
8	492,500	328,369	0	2,199	0	326,170	818,670
9	310,570	342,503	146,787	1,212	547	487,531	798,101
10	250,000	592,824	254,068	1,945	879	844,068	1,094,068
11	520,168	323,741	0	2,865	0	320,876	841,044
12	298,844	313,325	0	2,843	0	310,482	609,326

Perhitungan Kondisi *Existing* Kantong Jenis Woven 1 Ply 50kg (Lanjutan)

Periode	Permintaan	Order Terpenuhi	Overstock	Stockout	Keputusan Order (0,1) (Supplier J2)	Keputusan Order (0,1) (Supplier J3)
1	665,000	665,000	529,000	0	1	1
2	576,000	576,000	47,411	0	1	0
3	672,000	672,000	244,000	0	1	1
4	595,000	595,000	261,500	0	1	1
5	605,000	605,000	400,501	0	1	1
6	445,000	445,000	310,570	0	1	0
7	478,400	478,400	492,500	0	1	1
8	508,100	508,100	310,570	0	1	0
9	548,100	548,100	250,001	0	1	1
10	573,900	573,900	520,168	0	1	1
11	542,200	542,200	298,844	0	1	0
12	498,500	498,500	110,826	0	1	0

LAMPIRAN B

Perhitungan Total Biaya Pengadaan Kondisi *Existing*

Periode	<i>Purchased Cost</i>				<i>Order Cost</i>	
	Kraft 2 Ply 40kg	Kraft 2 Ply 50kg	Woven 1 Ply 40kg	Woven 1 Ply 50kg	Supplier 1	Supplier 2
1	Rp 19,295,856,900	Rp 6,458,792,500	Rp 1,146,463,500	Rp 2,218,212,000	Rp 1,563,674	Rp 1,563,674
2	Rp 15,251,334,500	Rp 4,831,855,000	Rp 819,798,000	Rp 219,822,750	Rp 1,563,674	Rp 1,563,674
3	Rp 16,959,797,500	Rp 5,352,662,500	Rp 1,524,803,700	Rp 1,957,882,500	Rp 1,563,674	Rp 1,563,674
4	Rp 16,062,631,900	Rp 5,383,132,500	Rp 569,984,100	Rp 1,382,730,750	Rp 1,563,674	Rp 1,563,674
5	Rp 18,039,332,400	Rp 5,890,625,000	Rp 1,135,598,100	Rp 1,679,411,250	Rp 1,563,674	Rp 1,563,674
6	Rp 12,397,634,800	Rp 3,855,665,000	Rp 953,064,000	Rp 803,259,000	Rp 1,563,674	Rp 1,563,674
7	Rp 23,211,963,400	Rp 2,358,887,500	Rp 843,668,700	Rp 1,491,493,500	Rp 1,563,674	Rp 1,563,674
8	Rp 23,078,706,000	Rp 2,424,657,500	Rp 488,216,400	Rp 738,830,250	Rp 1,563,674	Rp 1,563,674
9	Rp 23,861,851,400	Rp 6,811,272,500	Rp 779,303,700	Rp 1,100,902,500	Rp 1,563,674	Rp 1,563,674
10	Rp 26,679,264,000	Rp 6,866,530,000	Rp 931,942,200	Rp 1,905,507,000	Rp 1,563,674	Rp 1,563,674
11	Rp 26,151,039,100	Rp 7,015,510,000	Rp 610,705,200	Rp 728,417,250	Rp 1,563,674	Rp 1,563,674
12	Rp 24,730,605,100	Rp 6,530,562,500	Rp 1,080,704,100	Rp 704,981,250	Rp 1,563,674	Rp 1,563,674
Total	Rp 245,720,017,000	Rp 63,780,152,500	Rp 10,884,251,700	Rp 14,931,450,000	Rp 18,764,092	Rp 18,764,092

Perhitungan Total Biaya Pengadaan Kondisi *Existing* (Lanjutan)

Periode	<i>Order Cost</i>	<i>Holding Cost</i>				TOTAL
	Supplier 3	Kraft 2 Ply 40kg	Kraft 2 Ply 50kg	Woven 1 Ply 40kg	Woven 1 Ply 50kg	
1	Rp 1,563,674	Rp 242,761,574	Rp 65,143,473	Rp 11,471,753	Rp 95,668,495	Rp 29,539,061,219
2	Rp -	Rp 284,920,550	Rp 142,485,454	Rp 27,917,984	Rp 239,750,219	Rp 21,821,011,805
3	Rp 1,563,674	Rp 384,990,207	Rp 141,981,882	Rp 10,574,994	Rp 21,487,330	Rp 26,358,871,636
4	Rp 1,563,674	Rp 344,684,373	Rp 86,614,236	Rp 104,903,940	Rp 110,584,222	Rp 24,049,957,043
5	Rp 1,563,674	Rp 332,638,951	Rp 105,775,118	Rp 30,455,982	Rp 118,515,467	Rp 27,337,043,292
6	Rp 1,563,674	Rp 384,063,636	Rp 114,310,648	Rp 66,833,961	Rp 181,512,217	Rp 18,761,034,286
7	Rp 1,563,674	Rp 395,182,487	Rp 162,401,692	Rp 118,196,284	Rp 140,754,680	Rp 28,727,239,265
8	Rp -	Rp 317,350,531	Rp 102,476,727	Rp 143,819,917	Rp 223,207,907	Rp 27,520,392,581
9	Rp 1,563,674	Rp 392,402,774	Rp 75,629,335	Rp 87,337,606	Rp 140,754,680	Rp 33,254,145,517
10	Rp 1,563,674	Rp 337,735,091	Rp 143,769,560	Rp 73,813,457	Rp 113,303,506	Rp 37,056,555,838
11	Rp -	Rp 326,616,240	Rp 97,692,801	Rp 81,040,408	Rp 235,747,433	Rp 35,249,895,781
12	Rp 1,563,674	Rp 372,102,069	Rp 122,684,029	Rp 35,560,321	Rp 135,440,292	Rp 33,717,330,684
Total	Rp 14,073,069	Rp 4,115,448,483	Rp 1,360,964,955	Rp 791,926,608	Rp 1,756,726,448	Rp 343,392,538,946

LAMPIRAN C

Perhitungan Kondisi Hasil Order Optimal Kantong Jenis Kraft 2 Ply 40kg

Periode	Inventory Awal	Jumlah Order Optimal	Kualitas Supplier	Order yang dapat di pakai	Kantong Pecah	Jumlah yang tersedia	Permintaan	Order terpenuhi	Overstock	Stockout	Keputusan Order (0,1)
1	0	8,292,977	0.99792	8,275,727	17,250	8,275,727	8,275,727	8,275,727	0	0	1
2	0	6,416,244	0.99792	6,402,898	13,346	6,402,898	6,402,898	6,402,898	0	0	1
3	0	7,463,934	0.99792	7,448,409	15,525	7,448,409	7,448,409	7,448,409	0	0	1
4	0	7,011,143	0.99792	6,996,559	14,584	6,996,559	6,996,559	6,996,559	0	0	1
5	0	7,730,559	0.99792	7,714,479	16,080	7,714,479	7,714,479	7,714,479	0	0	1
6	0	6,695,954	0.99792	6,682,026	13,928	6,682,026	5,354,886	5,354,886	1,327,140	0	1
7	1,327,140	10,500,000	0.99792	10,478,160	21,840	11,805,300	10,241,400	10,241,400	1,563,900	0	1
8	1,563,900	10,500,000	0.99792	10,478,160	21,840	12,042,060	9,850,900	9,850,900	2,191,160	0	1
9	2,191,160	10,500,000	0.99792	10,478,160	21,840	12,669,320	10,470,500	10,470,500	2,198,820	0	1
10	2,198,820	10,500,000	0.99792	10,478,160	21,840	12,676,980	11,601,800	11,601,800	1,075,180	0	1
11	1,075,180	10,500,000	0.99792	10,478,160	21,840	11,553,340	11,246,400	11,246,400	306,940	0	1
12	306,940	10,500,000	0.99792	10,478,160	21,840	10,785,100	10,785,100	10,785,100	0	0	1

Perhitungan Kondisi Hasil Order Optimal Kantong Jenis Kraft 2 Ply 50kg

Periode	Inventory Awal	Jumlah Order Optimal	Kualitas Supplier	Order yang dapat di pakai	Kantong Pecah	Jumlah yang tersedia	Permintaan	Order terpenuhi	Overstock (Inventory Akhir)	Stockout	Keputusan Order (0,1)
1	0	2,430,209	0.99761	2,424,400	5,809	2,424,400	2,424,400	2,424,400	0	0	1
2	0	1,935,426	0.99761	1,930,800	4,626	1,930,800	1,930,800	1,930,800	0	0	1
3	0	2,253,386	0.99761	2,248,000	5,386	2,248,000	2,248,000	2,248,000	0	0	1
4	0	2,117,060	0.99761	2,112,000	5,060	2,112,000	2,112,000	2,112,000	0	0	1
5	0	2,340,595	0.99761	2,335,000	5,595	2,335,000	2,335,000	2,335,000	0	0	1
6	0	1,447,460	0.99761	1,444,000	3,460	1,444,000	1,444,000	1,444,000	0	0	1
7	0	1,060,535	0.99761	1,058,000	2,535	1,058,000	1,058,000	1,058,000	0	0	1
8	0	1,107,860	0.99761	1,105,212	2,648	1,105,212	1,018,000	1,018,000	87,212	0	1
9	87,212	2,700,000	0.99761	2,693,547	6,453	2,780,759	2,583,800	2,583,800	196,959	0	1
10	196,959	2,700,000	0.99761	2,693,547	6,453	2,890,506	2,832,800	2,832,800	57,706	0	1
11	57,706	2,700,000	0.99761	2,693,547	6,453	2,751,253	2,750,400	2,750,400	853	0	1
12	853	2,700,000	0.99761	2,693,547	6,453	2,694,400	2,694,400	2,694,400	0	0	1

Perhitungan Kondisi Hasil Order Optimal Kantong Jenis Woven 1 Ply 40kg

Periode	Inventory Awal	Jumlah Order Optimal (Supplier 2)	Jumlah Order Optimal (Supplier 3)	Kualitas Supplier (Supplier 2)	Kualitas Supplier (Supplier 3)	Order yang dapat di pakai (Supplier 2)	Order yang dapat di pakai (Supplier 3)	Kantong Pecah
1	0	206,820	300,000	0.9958	0.99683	205,951	299,049	1,820
2	0	130,500	300,000	0.9958	0.99683	129,951	299,049	1,500
3	0	203,807	300,000	0.9958	0.99683	202,951	299,049	1,807
4	0	147,571	300,000	0.9958	0.99683	146,951	299,049	1,571
5	0	154,601	300,000	0.9958	0.99683	153,951	299,049	1,601
6	0	32,086	300,000	0.9958	0.99683	31,951	299,049	1,086
7	0	40,421	300,000	0.9958	0.99683	40,251	299,049	1,121
8	0	67,033	300,000	0.9958	0.99683	66,751	299,049	1,233
9	0	103,084	300,000	0.9958	0.99683	102,651	299,049	1,384
10	0	125,981	300,000	0.9958	0.99683	125,451	299,049	1,481
11	0	97,461	300,000	0.9958	0.99683	97,051	299,049	1,361
12	0	58,397	300,000	0.9958	0.99683	58,151	299,049	1,197

Perhitungan Kondisi Hasil Order Optimal Kantong Jenis Woven 1 Ply 40kg (Lanjutan)

Periode	Jumlah yang tersedia	Permintaan	Order terpenuhi	Overstock (Inventory Akhir)	Stockout	Keputusan Order Supplier J2 (0,1)	Keputusan Order Supplier J3 (0,1)
1	505,000	505,000	505,000	0	0	1	1
2	429,000	429,000	429,000	0	0	1	1
3	502,000	502,000	502,000	0	0	1	1
4	446,000	446,000	446,000	0	0	1	1
5	453,000	453,000	453,000	0	0	1	1
6	331,000	331,000	331,000	0	0	1	1
7	339,300	339,300	339,300	0	0	1	1
8	365,800	365,800	365,800	0	0	1	1
9	401,700	401,700	401,700	0	0	1	1
10	424,500	424,500	424,500	0	0	1	1
11	396,100	396,100	396,100	0	0	1	1
12	357,200	357,200	357,200	0	0	1	1

Perhitungan Kondisi Hasil Order Optimal Kantong Jenis Woven 1 Ply 50kg

Periode	Inventory Awal	Jumlah Order Optimal (Supplier 2)	Jumlah Order Optimal (Supplier 3)	Kualitas Supplier (Supplier 2)	Kualitas Supplier (Supplier 3)	Order yang dapat di pakai (Supplier 2)	Order yang dapat di pakai (Supplier 3)	Kantong Pecah
1	0	368,569	300,000	0.99280	0.99695	365,915	299,085	3,569
2	0	278,924	300,000	0.99280	0.99695	276,915	299,085	2,924
3	0	375,620	300,000	0.99280	0.99695	372,915	299,085	3,620
4	0	298,062	300,000	0.99280	0.99695	295,915	299,085	3,062
5	0	308,134	300,000	0.99280	0.99695	305,915	299,085	3,134
6	0	146,974	300,000	0.99280	0.99695	145,915	299,085	1,974
7	0	180,616	300,000	0.99280	0.99695	179,315	299,085	2,216
8	0	210,531	300,000	0.99280	0.99695	209,015	299,085	2,431
9	0	250,821	300,000	0.99280	0.99695	249,015	299,085	2,721
10	0	276,809	300,000	0.99280	0.99695	274,815	299,085	2,909
11	0	244,879	300,000	0.99280	0.99695	243,115	299,085	2,679
12	0	200,862	300,000	0.99280	0.99695	199,415	299,085	2,362

Perhitungan Kondisi Hasil Order Optimal Kantong Jenis Woven 1 Ply 50kg (Lanjutan)

Periode	Jumlah yang tersedia	Permintaan	Order terpenuhi	Overstock (Inventory Akhir)	Stockout	Keputusan Order Supplier J2 (0,1)	Keputusan Order Supplier J3 (0,1)
1	665,000	665,000	665,000	0	0	1	1
2	576,000	576,000	576,000	0	0	1	1
3	672,000	672,000	672,000	0	0	1	1
4	595,000	595,000	595,000	0	0	1	1
5	605,000	605,000	605,000	0	0	1	1
6	445,000	445,000	445,000	0	0	1	1
7	478,400	478,400	478,400	0	0	1	1
8	508,100	508,100	508,100	0	0	1	1
9	548,100	548,100	548,100	0	0	1	1
10	573,900	573,900	573,900	0	0	1	1
11	542,200	542,200	542,200	0	0	1	1
12	498,500	498,500	498,500	0	0	1	1

LAMPIRAN D

Perhitungan Total Biaya Pengadaan Hasil Order Optimal

Periode	Purchased Cost				Order Cost
	Kraft 2 Ply 40kg	Kraft 2 Ply 50kg	Woven 1 Ply 40kg	Woven 1 Ply 50kg	Supplier 1
1	Rp 19,073,847,100	Rp 6,075,522,500	Rp 1,064,322,000	Rp 1,504,280,250	Rp 1,563,674
2	Rp 14,757,361,200	Rp 4,838,565,000	Rp 904,050,000	Rp 1,302,579,000	Rp 1,563,674
3	Rp 17,167,048,200	Rp 5,633,465,000	Rp 1,057,994,700	Rp 1,520,145,000	Rp 1,563,674
4	Rp 16,125,628,900	Rp 5,292,650,000	Rp 939,899,100	Rp 1,345,639,500	Rp 1,563,674
5	Rp 17,780,285,700	Rp 5,851,487,500	Rp 954,662,100	Rp 1,368,301,500	Rp 1,563,674
6	Rp 15,400,694,200	Rp 3,618,650,000	Rp 697,380,600	Rp 1,005,691,500	Rp 1,563,674
7	Rp 24,150,000,000	Rp 2,651,337,500	Rp 714,884,100	Rp 1,081,386,000	Rp 1,563,674
8	Rp 24,150,000,000	Rp 2,769,650,000	Rp 770,769,300	Rp 1,148,694,750	Rp 1,563,674
9	Rp 24,150,000,000	Rp 6,750,000,000	Rp 846,476,400	Rp 1,239,347,250	Rp 1,563,674
10	Rp 24,150,000,000	Rp 6,750,000,000	Rp 894,560,100	Rp 1,297,820,250	Rp 1,563,674
11	Rp 24,150,000,000	Rp 6,750,000,000	Rp 834,668,100	Rp 1,225,977,750	Rp 1,563,674
12	Rp 24,150,000,000	Rp 6,750,000,000	Rp 752,633,700	Rp 1,126,939,500	Rp 1,563,674
Total	Rp 245,204,865,300	Rp 63,731,327,500	Rp 10,432,300,200	Rp 15,166,802,250	Rp 18,764,092

Perhitungan Total Biaya Pengadaan Hasil Order Optimal (Lanjutan)

Periode	Order Cost		Holding Cost				TOTAL
	Supplier 2	Supplier 3	Kraft 2 Ply 40kg	Kraft 2 Ply 50kg	Woven 1 Ply 40kg	Woven 1 Ply 50kg	
1	Rp 1,563,674	Rp 1,563,674	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp 27,722,662,873
2	Rp 1,563,674	Rp 1,563,674	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp 21,807,246,223
3	Rp 1,563,674	Rp 1,563,674	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp 25,383,343,923
4	Rp 1,563,674	Rp 1,563,674	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp 23,708,508,523
5	Rp 1,563,674	Rp 1,563,674	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp 25,959,427,823
6	Rp 1,563,674	Rp 1,563,674	Rp 614,844,649	Rp -	Rp -	Rp -	Rp 21,341,951,972
7	Rp 1,563,674	Rp 1,563,674	Rp 724,532,111	Rp -	Rp -	Rp -	Rp 29,326,830,734
8	Rp 1,563,674	Rp 1,563,674	Rp 1,015,132,541	Rp 43,917,446	Rp -	Rp -	Rp 29,902,855,060
9	Rp 1,563,674	Rp 1,563,674	Rp 1,018,681,307	Rp 99,182,868	Rp -	Rp -	Rp 34,108,378,848
10	Rp 1,563,674	Rp 1,563,674	Rp 498,115,247	Rp 29,059,076	Rp -	Rp -	Rp 33,624,245,696
11	Rp 1,563,674	Rp 1,563,674	Rp 142,200,835	Rp 429,546	Rp -	Rp -	Rp 33,107,967,254
12	Rp 1,563,674	Rp 1,563,674	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp 32,784,264,223
Total	Rp 18,764,092	Rp 18,764,092	Rp 4,013,506,690	Rp 172,588,936	Rp -	Rp -	Rp 338,777,683,152

LAMPIRAN E

Coding Model Matematis Inventory Lot-Sizing untuk Lingo 11

```
MODEL:
! Inventory Lot Sizing Problem;

SETS:
  ITEMS/1..4/;;
  SUPPLIER/1..3/;;
  PERIODS/1..12/;;
  PURCHASE (ITEMS) : P;
  LINKS (ITEMS, SUPPLIER, PERIODS) : X;
  ORDERING (SUPPLIER) : O;
  YLINKS (SUPPLIER, PERIODS) : Y;
  HOLDING (ITEMS) : H;
  DLINKS (ITEMS, PERIODS) : D, temp1;
  QLINKS (ITEMS, SUPPLIER) : Q, C;
  ITEM (ITEMS) : temp2;
  PER (PERIODS) : S;
ENDSETS

DATA:
!unit cost dan holding cost;
  P = 2300 2500 2100 2250;
  H = 463 504 423 453;
!Supplier dan order cost;
  O = 1563674 1563674 1563674;
!Kapasitas gudang tiap periode;
  S = 2400000;
!Demand tiap produk pada masing-masing periode;
  D= @OLE('D:\Pengolahan Data.xlsx','Demand');
! Kualitas masing-masing produk dari masing-masing supplier;
  Q= @OLE('D:\Pengolahan Data.xlsx','Kualitas');
! Kapasitas supplier;
  C=@OLE('D:\Pengolahan Data.xlsx','Kapasitas');
ENDDATA

!Objective Function;
MIN = @sum(LINKS(I,J,T) : P(I) * (X(I,J,T))) +
      @sum(YLINKS(J,T) : O(J) * Y(J,T)) +
      @sum(DLINKS(I,T) : H(I) * temp1(I,T));
      @for(DLINKS(I,T) : temp1(I,T) =
      @sum(YLINKS(J,k) | k#LE#T : X(I,J,k) * Q(I,J)) -
      @sum(PER(k) | k#LE#T : D(I,k)));

!Constraint 1;
@for(DLINKS(I,T) : @sum(YLINKS(J,k) | k#LE#T : X(I,J,k) * Q(I,J)) -
@sum(PER(k) | k#LE#T : D(I,k)) >= 0);

!Constraint 2;
@for(ITEM(I) : temp2(I) = @sum(PER(T) : D(I,T));
@for(LINKS(I,J,T) : temp2(I) * Y(J,T) - X(I,J,T) * Q(I,J) >= 0);
```

```
!Constraint 3;  
@for (PER (T) : @sum (LINKS (I, J, k) | k#LE#T : X (I, J, k) * Q (I, J)) -  
@sum (DLINKS (I, k) | k#LE#T : D (I, k)) <= S);
```

```
!Constraint 4;  
@for (LINKS (I, J, T) : X (I, J, T) <= C (I, J));
```

```
!Constraint 5;  
@for (YLINKS (J, T) : @Bin (Y (J, T)));
```

```
!Constraint 6;  
@for (LINKS (I, J, T) : X (I, J, T) >= 0);
```

```
END
```

BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama lengkap Cintaka Septania Claudia dilahirkan di Malang, 24 September 1997. Penulis merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara pasangan Obrus Margunadi dan Suryaningsih. Penulis telah menempuh pendidikan formal mulai dari SD Negeri Sawojajar 5 Malang, SMP Negeri 21 Malang, SMA Negeri 1 Malang hingga penulis diterima di jenjang Sarjana Teknik Sistem dan Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di berbagai kegiatan kemahasiswaan formal maupun non-formal. Diantaranya adalah menjadi Staf Dana PKMBK PMK ITS 2017/2018, Koordinator Dana PKMBK PMK ITS 2018/2019, *Steering Committee* (SC) PKMBK PMK ITS 2019. Serta aktif di berbagai kepanitiaan di kampus seperti INCHALL. Penulis juga pernah mengikuti dan memenangkan beberapa kali perlombaan, seperti Juara 1 Lomba Desain Produk dan Ergonomi tingkat Asia Tahun 2019 yang diselenggarakan oleh Universitas Gajahmada, dan Juara 3 Lomba Karya Tulis Ilmiah Tahun 2018 yang diselenggarakan oleh Universitas Hasanuddin. Selain itu penulis juga berpartisipasi dalam program *Study Excursion 2018: ITS Goes Beyond to Singapore* yang diselenggarakan oleh International Office ITS.

Dalam keilmuan Teknik Industri, penulis pernah melakukan Kerja Praktik di PT. Steel Pipe Industry of Indonesia Tbk (SPINDO), khususnya di Departemen PPIC (*Production Planning and Inventory Control*). Penulis dapat dihubungi melalui email: cintaka24@gmail.com.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)