



TESIS - T1185401

**MODEL SIMULASI PERENCANAAN PENGIRIMAN
DAN KAPASITAS PENYIMPANAN UNTUK BAHAN
BAKU GANDUM**

**LERY ALFRIANY SALO
02411750030005**

**Dosen Pembimbing
Prof. Iwan Vanany, ST., MT., Ph.D**

**PROGRAM MAGISTER
MANAJEMEN LOGISTIK DAN RANTAI PASOK
DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM DAN INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2020**



TESIS - TI185401

**MODEL SIMULASI PERENCANAAN PENGIRIMAN
DAN KAPASITAS PENYIMPANAN UNTUK BAHAN
BAKU GANDUM**

**LERY ALFRIANY SALO
02411750030005 (NRP)**

**Dosen Pembimbing
Prof. Iwan Vanany, ST., MT., Ph.D**

**PROGRAM MAGISTER
MANAJEMEN LOGISTIK DAN RANTAI PASOK
DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM DAN INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2020**



THESIS - TI185401

**A SIMULATION MODEL OF SHIPMENT PLANNING
AND STORAGE CAPACITY FOR WHEAT
MATERIAL**

**LERY ALFRIANY SALO
02411750030005 (NRP)**

**Supervisor
Prof. Iwan Vanany, ST., MT., Ph.D**

**Postgraduate Program
Logistic And Supply Chain Management
Department of Industrial and System Engineering
Faculty of Industrial Technology and System Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2020**

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Teknik (MT)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

LERY ALFRIANY SALO

NRP: 02411750030005

Tanggal Ujian : 10 Agustus 2020

Periode Wisuda : September 2020

Disetujui oleh:

Pembimbing:

Prof. Iwan Vanany, S.T., M.T., Ph.D.

NIP: 197109271999031002

 09/2020

Penguji:

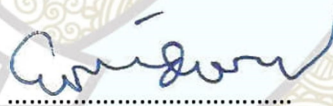
1. Niniet Indah Arvitrida, S.T., M.T., Ph.D.

NIP: 198407052009122007




2. Dr. Eng. Erwin Widodo, S.T., M.Eng.

NIP: 197405171999031002





Kepala Departemen Teknik Sistem dan Industri
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem


Nurchadi Siswanto, S.T., MSIE., Ph.D.

NIP: 197005231996011001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Lery Alfriany Salo
NRP : 02411750030005
Program Studi : Magister Teknik Industri - ITS

Menyatakan bahwa tesis dengan judul

**“MODEL SIMULASI PERENCANAAN PENGIRIMAN DAN KAPASITAS
PENYIMPANAN UNTUK BAHAN BAKU GANDUM”**

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

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Agustus 2020

Yang membuat pernyataan



Lery Alfriany Salo

NRP.02411750030005

Halaman ini sengaja dikosongkan

MODEL SIMULASI PERENCANAAN PENGIRIMAN DAN KAPASITAS PENYIMPANAN UNTUK BAHAN BAKU GANDUM

Nama mahasiswa : Lery Alfriany Salo
NRP : 02411750030005
Pembimbing : Prof. Iwan Vanany, ST., MT., Ph.D

ABSTRAK

Biaya logistik dan ketersediaan produk adalah masalah utama dalam industri komoditas bernilai rendah seperti gandum. Biaya logistik dan ketersediaan produk dipengaruhi oleh perencanaan pengiriman dan kapasitas penyimpanan. Tujuan dari penelitian ini adalah menemukan cara alternatif untuk meningkatkan *service level*. Penelitian ini mengembangkan model simulasi pengiriman gandum dengan menggunakan kapal di salah satu perusahaan tepung di Indonesia. Sistem ini terdiri dari silo di pabrik, tiga pelabuhan *supply* dan satu pelabuhan *demand*. Adapun faktor-faktor yang dianalisa yaitu kapasitas kapal, jam operasional pelabuhan, dan *reorder point*. Setiap faktor dievaluasi dampaknya terhadap biaya pengiriman dan *service level*. Berdasarkan hasil simulasi, faktor 2 memiliki dampak paling besar pada total biaya dan *service level*. Penelitian ini memberikan rekomendasi penting bagi perusahaan serta wawasan untuk logistik maritim secara umum. Biaya adalah faktor kompetitif yang sangat penting untuk material curah seperti gandum, dan dengan demikian skenario yang diusulkan dapat diimplementasikan oleh perusahaan untuk pengurangan biaya pengiriman dan peningkatan *service level*.

Kata kunci: Simulasi, *discrete event*, perencanaan pengiriman, kapasitas penyimpanan

Halaman ini sengaja dikosongkan

A SIMULATION MODEL OF SHIPMENT PLANNING AND STORAGE CAPACITY FOR WHEAT MATERIAL

By : Lery Alfriany Salo
Student Identity Number : 02411750030005
Supervisor : Prof. Iwan Vanany, ST., MT., Ph.D

ABSTRACT

Logistic cost and product availability are major issue in low value commodity industries such as wheat. Logistic cost and product availability affected by shipment planning and storage capacity. In this paper the effect of various factors on total costs and service level of a distribution system are investigated. The objective of this paper is to find alternative ways to increase the service level. This research develops a simulation model of wheat transportation and distribution by the use of ships in a large flour company in Indonesia. The system consists of silos at the plant, three depot and one plant. Several factors related to ship capacity, operating hours of ports, and reorder point are developed. Each factor is evaluated in terms of shipment costs and service level. Based on the simulation result, factor 2 appear to have the most substantial impacts on both total costs and service level. This paper brings an important recommendation to the company as well as insight for maritime logistics in general. Cost is a very important competitive factor for bulk items like wheat, and thus the proposed scenarios could be implemented by the company for increase the service level and and decrease the distribution cost.

Key words: Simulation, discrete event, shipment planning, storage capacity

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus yang telah memberikan kemampuan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan laporan Tesis yang berjudul Model Simulasi Perencanaan Pengiriman dan Kapasitas Penyimpanan Untuk Bahan Baku Gandum.

Laporan Tesis ini dapat penulis selesaikan tidak lepas dari bantuan dan saran berbagai pihak. Karena itu pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu terselesaikannya Tesis ini. Ucapan terimakasih ini penulis sampaikan pada:

1. Prof. Iwan Vanany, S.T, M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing, selaku dosen wali, dan selaku Ketua Program Studi Pascasarjana Departemen Teknik Sistem dan Industri yang dengan sabar telah membimbing penulis hingga terselesaikannya Tesis ini.
2. Bapak Erwin Widodo, S.T., M.T., Dr.Eng. dan Ibu Niniet Indah Arvitrida, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen penguji seminar proposal dan sidang Tesis atas saran dan kritik yang diberikan.
3. Ibunda Dra. Dina Ramba', MM. dan Ayahanda Drs. Frans Salo, M.Si serta kakak dan adik-adikku yang memberikan dukungan, doa, semangat dan kasih sayang tulus kepada penulis selama ini.
4. Suami Hendra Tande atas segala doa, dukungan, kesabaran, cinta dan kasih sayang yang selalu menemani dan menyemangati setiap proses hingga terselesaikannya Tesis ini. Terima kasih karena tetap bersama-sama berjuang dalam bidang kita masing-masing.
5. Kakek Toratu Ramba' almarhum dan Nenek Damaris Ramba' Rante yang telah menanamkan nilai-nilai penting kepada penulis sejak dini.
6. Dosen-dosen Magister Teknik Industri yang telah memberikan ilmu dan pelajaran bagi penulis selama menempuh pendidikan Magister di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
7. Teman-teman angkatan 2017 Magister Teknik Industri atas kebersamaannya selama ini.

8. Sakura dan Vina sebagai teman, tempat berkeluh kesah dan ibu muda panutan. Amel dan Aldhilla sebagai rekan berjuang dan bertukar pikiran selama penulis mengerjakan tesis. Firda yang sudah banyak memberikan bantuan bagi penulis. Seluruh teman-teman Pascasarjana yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu atas dukungan dan bantuan yang diberikan kepada penulis selama ini.
9. Ibu Rahayu dan karyawan departemen Teknik Industri yang telah banyak membantu penulis.
10. Teman-teman penulis selama di Surabaya yang menjadi tempat bertukar pikiran penulis selama menempuh pendidikan Magister.

Tidak lupa penulis mengucapkan terimakasih atas segala dukungan dari semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu. Penulis mohon maaf apabila terdapat kesalahan dalam perkataan maupun penulisan. Penulis juga mengharapkan saran serta kritik yang membangun dari pembaca guna memperkaya laporan ini. Penulis berharap semoga laporan ini bermanfaat bagi pembaca dan penulis khususnya.

Surabaya, 17 Agustus 2020

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

ABSTRAK	vi
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	7
1.3 Tujuan	7
1.4 Manfaat Penelitian	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 Logistik Maritim	11
2.1.1 Transportasi Laut	12
2.1.2 Karakteristik Transportasi Laut.....	13
2.1.3 Skema Penyewaan Kapal	15
2.2 Manajemen Persediaan Dalam <i>Supply Chain</i>	16
2.3 Simulasi.....	17
2.3.1 Klasifikasi Simulasi	17
2.3.2 Keuntungan Model Simulasi.....	18
2.3.3 Simulasi Discrete Event	19
2.3.4 Sistem.....	21
2.4 Validasi Dan Verifikasi.....	22
2.4.1 Validasi	22
2.4.2 Verifikasi.....	25

2.5	Replikasi Simulasi.....	26
2.6	Uji Hipotesis dan ANOVA.....	27
2.7	Perbandingan Skenario.....	27
2.8	Penelitian Sebelumnya	28
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		34
3.1	Identifikasi Permasalahan.....	34
3.1.1	Studi Lapangan	34
3.1.2	Studi Literatur.....	35
3.2	Pengumpulan Data	35
3.3	Variabel Sistem	36
3.4	Pemrosesan Data	37
3.5	Pembuatan Model.....	37
3.6	Validasi dan Verifikasi.....	38
3.7	Skenario Dan Eksperimen.....	38
3.8	Hasil simulasi dan Uji ANOVA.....	38
3.9	Analisa dan Kesimpulan.....	39
BAB 4 PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA.....		42
4.1	Pengumpulan Data	42
4.1.1	Aktifitas Kapal.....	42
4.1.2	Biaya Transportasi.....	42
4.1.3	Data <i>Inventory</i> dan Permintaan Produksi	43
4.1.4	Proses Distribusi Gandum Secara Maritim	43
4.2	Pengolahan Data.....	45
4.2.1	Siklus Aktivitas Kapal	45
4.2.2	Perhitungan Biaya	49
4.2.3	<i>Service Level</i>	50
4.3	Model Simulasi.....	51
4.3.1	Model Konseptual	51
4.3.2	Model Konseptual Loading Gandum di Pelabuhan Supply	51
4.3.3	Model Konseptual <i>Unloading</i> Gandum di Pelabuhan Demand	53
4.3.4	Model Konseptual <i>Update Inventory</i> Pelabuhan <i>Demand</i>	54
4.3.5	<i>Model Building</i>	55

4.4	Perhitungan Jumlah Replikasi.....	58
4.5	Verifikasi dan Validasi Model.....	60
4.5.1	Verifikasi Model	61
4.5.2	Validasi Model.....	62
BAB 5 ANALISA DAN INTERPRETASI		65
5.1	Eksperimen	65
5.1.1	Kondisi Eksisting	65
5.1.2	Perancangan Eksperimen	66
5.1.3	Faktor 1 : <i>Operating Hour Port</i>	68
5.1.4	Faktor 2 : <i>Reorder Point</i>	68
5.1.5	Faktor 3 : Penambahan Kapasitas Kapal.....	70
5.1.6	Kombinasi Skenario	73
5.2	Uji One-way Anova	73
5.3	Analisis Skenario Terhadap Biaya.....	81
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN		85
6.1	Kesimpulan	85
6.2	Saran	86
DAFTAR PUSTAKA		88
LAMPIRAN.....		92
BIODATA PENULIS		105

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Pengiriman Gandum Dari Pelabuhan Menuju Produksi.....	4
Gambar 2.1 Ilustrasi <i>Bulk Carrier</i>	14
Gambar 3.1 Ringkasan Situasi Permasalahan.....	33
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian	39
Gambar 4.1 Diagram Aktivitas Kapal.....	45
Gambar 4.2 Alur <i>Loading</i> Gandum di <i>Port Supply</i>	51
Gambar 4.3 Alur Proses <i>Unloading</i> Gandum di <i>Port Demand</i>	51
Gambar 4.4 Alur Proses <i>Update Inventory</i>	51
Gambar 4.5 Diagram Alir Aktivitas Kapal.....	56

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Data <i>Demand</i> dan <i>Service Level</i> Kondisi Eksisting.....	5
Tabel 2.1 Biaya Transportasi.....	13
Tabel 2.2 Hubungan Tonase Bobot Mati dan Sarat Kapal Rata-Rata.....	13
Tabel 2.3 Klasifikasi Skema Penyewaan Kapal.....	16
Tabel 2.4 Ringkasan Literatur.....	30
Tabel 3.1 Tabel Variabel Sistem.....	36
Tabel 4.1 Data Pelabuhan <i>Supply</i> dan <i>Demand</i>	43
Tabel 4.2 Data Jarak Pelabuhan <i>Supply</i> Menuju Pelabuhan <i>Demand</i>	44
Tabel 4.3 Data Kapasitas Kapal Yang Digunakan.....	44
Tabel 4.4 Data Biaya Sewa Per Hari Kapal Yang Digunakan.....	44
Tabel 4.5 Data <i>Pretime</i> Sebelum Unloading Kapal dari <i>Port B</i>	46
Tabel 4.6 Data <i>Service Level</i> Perusahaan Kondisi Eksisting.....	49
Tabel 4.7 Output <i>Running</i> Awal Penentuan Jumlah Replikasi.....	57
Tabel 4.8 Output <i>Running</i> Dengan 15 Replikasi.....	59
Tabel 4.9 Perbandingan <i>Demand</i> , <i>Fullfilled Demand</i> dan <i>Service Level</i> antara hasil simulasi dan aktual.....	60
Tabel 4.10 Uji t-Test: Paired Two Sample for Means.....	62
Tabel 5.1 Desain Eksperimen.....	66
Tabel 5.2 Hasil Simulasi Skenario 1.....	67
Tabel 5.3 Perhitungan ROP Gandum.....	67
Tabel 5.4 Hasil Simulasi Skenario 2.....	68
Tabel 5.5 Data Penambahan Kapasitas Kapal Skenario 3.....	69
Tabel 5.6 Data Penambahan Kapasitas Kapal Skenario 3 (level 2).....	70
Tabel 5.7 Data Penambahan Kapasitas Kapal Skenario 3 (level 3).....	70
Tabel 5.8 Perubahan <i>Service level</i> Dari Semua Skenario.....	71
Tabel 5.9 Hasil Kombinasi Skenario.....	73
Tabel 5.10 Uji ANOVA.....	74
Tabel 5.11 Hasil Uji <i>Pos Hoc</i>	74
Tabel 5.12 Biaya Untuk Setiap Faktor.....	81

Tabel 5.13 Data Perbandingan *Service Level* Dan Biaya.....82

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

Bab ini terdiri dari enam bagian yang menjelaskan mengenai latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, asumsi yang digunakan dalam penelitian dan sistematika penulisan.

1.1 Latar Belakang

Minimasi biaya logistik telah menjadi isu utama dalam banyak industri terutama industri yang memiliki bahan baku atau produk komoditas rendah seperti tepung, minyak, semen, pupuk, gandum. Industri tersebut memiliki biaya logistik dengan persentase yang besar dari total harga pokok penjualan (*cost of goods sold*) (Christiansen et al., 2011; Pujawan et al., 2015). Selain minimasi biaya logistik, isu penting lainnya adalah memastikan produk selalu tersedia di pasaran agar pelanggan tidak beralih pada produk lain. *Stock out* menyebabkan ketidakpuasan pelanggan dan untuk jangka waktu yang panjang mengakibatkan perusahaan mengalami kerugian karena kehilangan pangsa pasar (Christiansen et al., 2013).

Biaya logistik dapat diminimasi dengan meningkatkan efisiensi transportasi, misalnya dengan transportasi skala besar dalam bulk melalui jalur maritim, kemudian disimpan dalam jumlah yang besar (Christiansen et al., 2011). Panayides, 2006 menyatakan ada *trade-off* antara ketersediaan produk dengan biaya transportasi terutama untuk bahan baku bernilai rendah dengan jumlah besar, yang mana distribusi dilakukan melalui jalur maritim (laut). Pengiriman dengan jalur laut membutuhkan biaya yang rendah dibanding jalur yang lain, tetapi di sisi lain memiliki visibilitas yang rendah dan ketidakpastian yang tinggi dalam penjadwalan (Engebretsen, 2018).

Proses distribusi dan penyimpanan seringkali tidak dikelola dengan baik padahal distribusi dan penyimpanan merupakan bagian penting dalam logistik (Pujawan et al., 2015). Salah satu perusahaan tepung terigu di Indonesia dengan market share 55% di Indonesia menghabiskan kurang lebih 39% dari total

pengeluaran untuk biaya logistik bahan baku. Besarnya biaya logistik disebabkan oleh proses yang tidak efisien, karena itu perusahaan perlu melakukan perencanaan yang lebih baik dan manajemen pemanfaatan sumber daya yang baik (Christiansen, 2011).

Ketersediaan produk dan biaya logistik dipengaruhi oleh perencanaan pengiriman dan kapasitas penyimpanan. Perencanaan pengiriman sendiri berkaitan dengan keputusan jenis material atau kapal mana yang akan diberangkatkan dari titik asal ke titik tujuan (Persson & Maud, 2005). Kapasitas penyimpanan memiliki pengaruh yang signifikan pada keputusan distribusi material dan persediaan (Stacey et al., 2007).

Keterlambatan kapal akan mengakibatkan terjadinya *stockout* di tempat tujuan. Sebaliknya jika keberangkatan kapal lebih awal maka kapal akan tiba saat silo sedang penuh. Hal ini mengganggu proses *unloading* gandum yang seharusnya dimulai segera setelah kapal datang yang berakibat pada rendahnya utilitas kapal. Kapal yang melebihi batas waktu *unloading* akan terkena biaya penalty (*demurrage*) dan menyebabkan biaya pengiriman yang tinggi. Biaya *demurrage* merupakan salah satu pencetus biaya yang cukup tinggi yang nilainya bergantung pada kesepakatan kontrak perusahaan dalam kasus ini senilai \$20,000 USD per harinya. Selain itu ketidakpastian ketersediaan dermaga dan jadwal kapal lain yang tiba di pelabuhan yang sama, jam kerja pelabuhan yang terbatas dan kondisi cuaca juga dapat mempengaruhi proses *unloading*.

Kapasitas penyimpanan yang kecil umumnya lebih mudah untuk dioperasikan dan membutuhkan biaya yang lebih rendah tetapi dapat menurunkan produktivitas kapal karena kapal sering harus menunggu tersedianya kapasitas silo yang kosong untuk memulai proses *unloading*. Kapasitas penyimpanan, dalam hal ini silo, mempengaruhi *service level* karena kapasitas silo secara langsung berhubungan dengan kemampuan untuk menjaga *safety stock*.

Penelitian ini bertujuan untuk membangun model simulasi yang mengintegrasikan perencanaan pengiriman dan kapasitas penyimpanan di bawah ketidakpastian yang akan mengarah pada keseimbangan antara biaya dan ketersediaan produk, yang merupakan permasalahan kritis pada logistik maritim dalam jumlah pengiriman yang besar. Metode simulasi dipilih dalam penelitian ini

karena model simulasi mampu mengevaluasi *trade off* antara *service level* dan biaya transportasi (Schmitt, 2009).

Simulasi tepat digunakan untuk memodelkan sebuah sistem yang bersifat operasional dalam sistem kompleks (Terzi & Cavalieri, 2004). Kompleksitas sebuah sistem disebabkan oleh interdependensi dan variabilitas. Interdependensi adalah keterikatan beberapa variabel dalam sistem. Sementara variabilitas adalah adanya variabel yang beragam dalam sebuah sistem (Siswanto, 2018). Simulasi terbukti bermanfaat untuk menilai berbagai desain alternatif terutama ketika sistem yang akan dianalisis berada dalam lingkungan yang tidak pasti (Teixeira et al., 2012) dan ketika teknik analitis sulit untuk diterapkan terutama jika variabel bersifat stokastik (Riddals et al., 2000; Fleish dan Tellkamp, 2005).

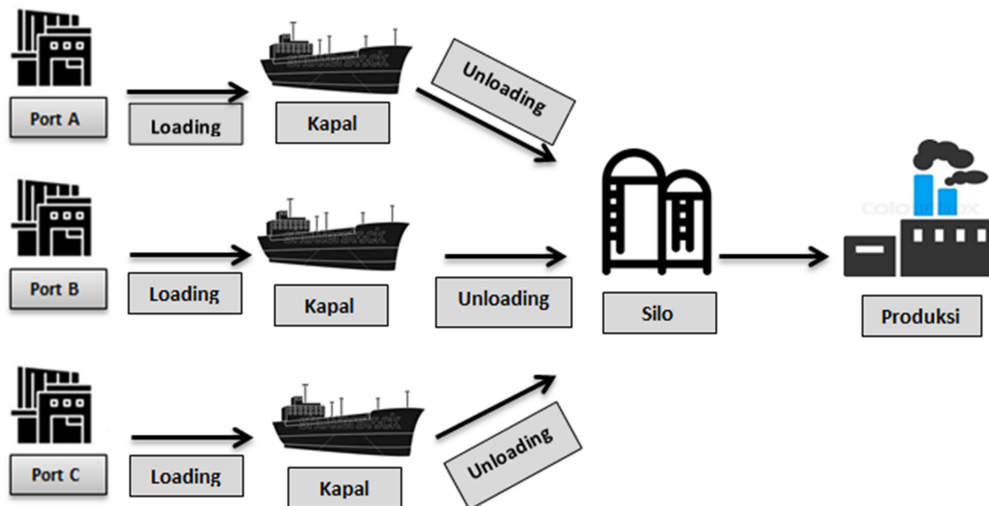
Pendekatan simulasi tepat digunakan pada penelitian ini karena masalah pada penelitian ini tergolong operasional yang menyangkut *day to day activity* pada proses bisnis *order fulfillment* dan berdampak pada keputusan operasional. Prosesnya berulang sehingga memungkinkan memperoleh data dan adanya kesempatan untuk memperbaiki performansi sistem pada kejadian mendatang.

Kompleksitas pada penelitian ini dilihat dari variabilitas keberagaman waktu proses dan ketidakpastian pada kejadian-kejadian tertentu, misalnya proses *loading* dan *unloading*, dan waktu tempuh kapal yang dipengaruhi oleh banyak faktor antara lain cuaca/musim, gelombang laut, berat muatan dan kemungkinan adanya perompak. Kompleksitas meningkat dengan adanya interpendensi antar proses yang berurutan atau kejadian yang mempengaruhi proses selanjutnya. Misalnya jika terjadi *downtime* akan ada penurunan level *inventory*, hal ini mempengaruhi jumlah produk yang akan dikirimkan. Selain itu cuaca buruk mengakibatkan proses *unloading* menjadi lama. Objek dalam penelitian ini sendiri tercatat mengalami *demurrage* sebanyak dua kali karena proses unloading gandum lama dan banyaknya antrian kapal.

Objek dalam penelitian ini adalah perusahaan industri tepung yang menghasilkan tepung terigu dengan pangsa pasar 55% di Indonesia. Tepung terigu merupakan salah satu pilihan utama sebagai substitusi atau pengganti beras dan selama ini telah menempati posisi yang cukup strategis dalam upaya menunjang diversifikasi pangan Indonesia. Berdasarkan data dari lembaga Asosiasi Produsen

Tepung Terigu Indonesia (Aptindo), terjadi peningkatan konsumsi terigu nasional dari 15,5 kilogram (kg) per tahun per kapita pada 2008, menjadi 25 kg per tahun per kapita pada 2018. Dengan kata lain konsumsi terigu nasional meningkat satu kg per kapita per tahunnya.

Gandum merupakan bahan baku tepung terigu yang bersifat *low value* dan *high volume* dan didistribusikan dalam bulk dengan kapal yang memiliki biaya sewa yang tinggi. Gandum didistribusikan dari pelabuhan beberapa negara seperti Rusia, Australia, Amerika dan Kanada menuju pelabuhan pabrik di Indonesia. Setelah tiba, gandum yang disimpan di dalam palka kapal diangkut dengan alat penghisap sehingga memungkinkan pembongkaran secara langsung ke dalam silo dengan unloading rate 400 ton per jam. Jam kerja pelabuhan dimulai dari jam 7 pagi sampai jam 7 malam. Dari silo gandum akan dialirkan ke bagian produksi disesuaikan dengan *demand* dari pihak produksi, dimana *demand* harian bersifat stokastik. Gambar 1.1 di bawah ini menggambarkan alur pengiriman gandum dari pelabuhan awal sampai ke produksi.



Gambar 1.1 Pengiriman Gandum Dari Pelabuhan Menuju Produksi

Jumlah gandum dalam silo dan sisa kapasitas silo memerlukan perhitungan yang tepat dikarenakan *unloading rate* lebih tinggi dari *demand rate*. Karena itu perlu diperhatikan agar silo memiliki kapasitas yang cukup saat proses *unloading* akan dimulai. Proses *unloading* yang terganggu akan menimbulkan

delay, sementara kapal memiliki waktu sandar yang terbatas di pelabuhan berkaitan dengan adanya biaya *demurrage*.

Data *service level* pada kondisi eksisting dari objek amatan selama 12 bulan terdapat pada tabel 1.1 berikut.

Tabel 1.1 Data *Demand* dan *Service Level* Kondisi Eksisting

Bulan	Total Demand	Fullfill Demand	Service Level
1	75,845	74,500	98.23%
2	90,929	90,929	100.00%
3	74,502	74,502	100.00%
4	71,855	71,855	100.00%
5	78,196	63,500	81.21%
6	77,144	65,200	84.52%
7	91,592	55,000	60.05%
8	82,300	36,750	44.65%
9	79,374	55,290	69.66%
10	67,761	64,500	95.19%
11	61,166	40,779	66.67%
12	82,321	33,500	40.69%
		<i>Average</i>	78.41%

Dari data diatas dapat dilihat bahwa bulan pertama sampai bulan ke 4 *service level* masih mencapai target perusahaan. Akan tetapi mengalami penurunan pada bulan ke 5 dan kembali naik pada bulan ke 10, lalu turun lagi pada bulan ke 11 dan 12.

Dari data histori perusahaan diketahui bahwa penurunan *service level* ini dikarenakan adanya keterlambatan kapal sehingga stok gandum kurang dan tidak bisa memenuhi *demand* dari produksi. Terdapat total 67 kedatangan kapal selama 12 bulan, 49 diantaranya datang sesuai jadwal, 3 kapal datang lebih awal dari jadwal seharusnya dan 15 kedatangan kapal yang mundur dari jadwal seharusnya. Keterlambatan kapal terjadi pada bulan Mei sampai Desember sesuai dengan data penurunan *service level*.

Untuk meningkatkan *service level*, yang perlu diperhitungkan adalah jumlah armada kapal, kapasitas muat kapal, dan kapasitas penyimpanan. Jumlah kapal menentukan berapa banyak *in-transit inventory* yang bisa diangkut untuk

memungkinkan *unloading* atau pengisian di silo pabrik. Sementara kapasitas silo di pabrik menentukan jumlah *safety stock* yang bisa disimpan untuk mengatasi perubahan *demand* dan *lead time*. Akan tetapi jumlah persediaan yang berlebihan menimbulkan ketidakefisienan. Jumlah kapal yang terlalu banyak juga akan menimbulkan antrian kapal dan waktu tunggu yang lama terutama dengan adanya batasan jam operasional pelabuhan. Hal ini menyebabkan proses distribusi menjadi tidak efisien yang mengakibatkan peningkatan biaya. Namun jumlah kapal yang terlalu sedikit juga dapat mengakibatkan rendahnya *service level*.

Ada beberapa penelitian mengenai perencanaan pengiriman dan penjadwalan dimana penelitian-penelitian tersebut lebih banyak berada pada era optimization. Persson dan Gothe (2005) meneliti model perencanaan pengiriman dari kilang minyak menuju depot. Christiansen et al., (2011) mengembangkan model dan solusi prosedur untuk perencanaan pengiriman multi-product dari pabrik semen menuju silo regional. Beberapa penelitian lain mengintegrasikan perencanaan pengiriman atau penjadwalan dengan variabel keputusan lain, misalnya Coelho et al., (2012) mengintegrasikan routing decision dengan persediaan. Penelitian terkait yang menggunakan model simulasi dilakukan oleh Pujawan et al., 2015 untuk menyelidiki efek dari berbagai faktor terhadap biaya dan tingkat layanan dari sistem distribusi semen curah di sebuah perusahaan semen di Indonesia.

Dari penelitian-penelitian yang telah membahas mengenai perencanaan pengiriman dan penjadwalan kapal, ada dua isu yang perlu mendapat perhatian lebih lanjut. Pertama penelitian sebelumnya membahas masalah transportasi jalur laut hanya memakai kapasitas penyimpanan sebagai constraint misalnya Ronen, (2002), Siswanto et. al., (2011), Natarajathinam (2012). Dimana pada penelitian ini kapasitas penyimpanan diintegrasikan dengan perencanaan pengiriman. Kedua penelitian sebelumnya lebih banyak berada pada *deterministic situation*, dimana kondisi aktual lebih kompleks dan bersifat tidak pasti. Karena itu diperlukan sebuah model yang mampu menangani ketidakpastian yang berkaitan dengan *demand*, waktu tempuh, dan proses operasi pada pelabuhan.

Penelitian ini akan membangun model simulasi untuk dan mengevaluasi beberapa kombinasi dari jumlah kapasitas kapal, *reorder point*, jam kerja

pelabuhan yang terkait dengan biaya distribusi per ton dan *service level*. *Service level* yang dimaksud disini adalah persentase pemenuhan atau *Fill Rate* demand gandum dari Produksi.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan dasar kebijakan bagi perusahaan industri tepung untuk meminimalkan biaya distribusi dan meningkatkan *service level*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pemaparan pada latar belakang, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah membuat model simulasi untuk menentukan keputusan yang terbaik dari perencanaan pengiriman gandum yang meliputi kapasitas armada, *reorder point*, dan jam operasional untuk meningkatkan *service level*. Dimana *service level* yang dimaksudkan dalam penelitian ini adalah kemampuan untuk memenuhi jumlah *demand* gandum dari Produksi.

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Membuat model dan kombinasi faktor dari kapasitas kapal, *reorder point*, jam operasional pelabuhan untuk meningkatkan *service level* perusahaan.
2. Menganalisa bagaimana faktor-faktor tersebut berpengaruh pada *service level* dan biaya pengiriman.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah mendapatkan kombinasi terbaik dari jumlah kapasitas kapal, *reorder point*, dan jam operasional pelabuhan untuk meningkatkan *service level* pada distribusi gandum dengan jalur maritim.

1.5 Ruang Lingkup

1.5.1 Batasan

Adapun batasan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Ada tiga pelabuhan terbesar yang dipertimbangkan sebagai pelabuhan *supplier*, yang disebut Pelabuhan I, Pelabuhan II, dan Pelabuhan III, dimana ketiga pelabuhan ini yang paling banyak menyuplai gandum untuk Pelabuhan IV (perusahaan).
2. Model simulasi perencanaan pengiriman pada penelitian ini dibatasi pada perencanaan pengiriman kapal dari pelabuhan *supplier* ke *port demand* tanpa adanya *routing*.
3. Waktu operasional yang dievaluasi hanya pada pelabuhan IV (perusahaan).

1.5.2 Asumsi

Asumsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Setelah proses *unloading* selesai, kapal langsung kembali ke depot dan siap untuk melakukan perjalanan berikutnya.
2. Performansi *material handling* baik.
3. *Reliability* kapal tinggi.
4. Perhitungan biaya hanya meliputi biaya sewa kapal (sudah termasuk biaya bahan bakar). Biaya inventori, pembersihan palka kapal dan biaya pemeliharaan diabaikan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penelitian ini terdiri dari enam bab sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang permasalahan, perumusan masalah, manfaat yang diharapkan dari penelitian, tujuan penelitian, batasan masalah, asumsi dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka berisi tentang kajian pustaka yang didapat dari berbagai sumber yang terkait mengenai teori penunjang yang digunakan dalam pengerjaan penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian menjelaskan langkah demi langkah untuk melakukan penelitian ini yang berisi teknik pengumpulan data, metode yang digunakan disesuaikan dengan tujuan yang telah ditetapkan sebelumnya.

BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Bab ini menjelaskan tentang proses pengumpulan data, pengolahan data, pembuatan model, validasi dan verifikasi model.

BAB V ANALISA DAN INTERPRETASI

Bab ini menjelaskan hasil analisis dan interpretasi dari hasil simulasi dari semua skenario.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Bab VI berisi kesimpulan dari penelitian ini serta memberikan saran untuk penelitian yang akan datang.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan tentang kajian pustaka dari berbagai sumber yang terkait mengenai teori penunjang yang digunakan dalam pengerjaan penelitian ini.

2.1 Logistik Maritim

Logistik Maritim merupakan cabang dari manajemen logistik yang bertujuan untuk mengatur semua pengiriman yang dikirim melalui sungai yang besar, laut, atau samudera yang melibatkan lebih dari pulau melalui kapal. Tujuan utama dari logistik maritim adalah untuk meminimasi biaya, konsumsi bahan bakar dan emisi (Gudehus & Kotzab, 2009). Logistik maritim mempertimbangkan ruang lingkup dan karakter dari dua area yang membentuk istilah logistik maritim yaitu transportasi laut dan logistik dan *supply chain management*. Transportasi laut berkaitan dengan pengangkutan barang dan/atau penumpang antara dua pelabuhan laut. Secara umum, logistik adalah fungsi yang bertanggung jawab atas aliran bahan dari pemasok ke suatu organisasi, melalui operasi di dalam organisasi dan kemudian ke pelanggan.

Rantai pasokan terdiri dari serangkaian kegiatan dan organisasi yang bergerak melalui bahan-bahan (bahan baku dan informasi) dari pemasok awal ke pelanggan akhir. *Supply chain management* melibatkan integrasi semua operasi di seluruh rantai pasokan meliputi perencanaan dan pengelolaan semua kegiatan yang terlibat dalam sourcing dan procurement, konversi dan semua kegiatan manajemen logistik. *Supply chain management* juga mencakup koordinasi dan kolaborasi dengan pemasok, perantara, penyedia layanan pihak ketiga (*third party services providers*), dan pelanggan. Pada dasarnya, manajemen rantai pasokan mengintegrasikan manajemen penawaran dan permintaan di dalam dan di seluruh perusahaan. Sementara manajemen logistik hanya bagian dari manajemen rantai pasokan. Logistik adalah bagian dari proses rantai pasok yang merencanakan, mengimplementasikan, dan mengendalikan aliran dan penyimpanan barang yang

efisien dan efektif, *service* dan informasi terkait dari titik asal ke titik konsumsi untuk memenuhi persyaratan pelanggan (Panayides et al., 2006).

Karakteristik logistik dan *supply chain management* berarti bahwa konsep logistik maritim sebagian besar berlaku untuk pengangkutan kargo kontainer dibandingkan dengan pengangkutan kargo curah. Namun konsep logistik maritim dapat berlaku untuk transportasi kargo curah, terutama yang berkaitan dengan integrasi pemilik kargo dan pemilik kapal melalui aliansi dan fokus pada pencapaian tujuan logistik seperti ketepatan waktu, keandalan, dan biaya rendah.

Untuk menangani operasi transportasi maritim perusahaan butuh membeli atau menyewa kapal. Rate untuk kapal sewa berdasarkan pada waktu atau perjalanan (*voyage*). Dalam skema waktu sewa, vessel rate dikalikan dengan berapa lama kapal disewa untuk menghitung total biaya sewa. Untuk perjalanan (*voyage charter*), biaya sewa ditentukan oleh fixed cost atau kapasitas kargo. Skema penyewaan membedakan parameter apa yang perlu dipertimbangkan dalam menentukan bagaimana kapal harus dikelola. Dalam skema charter waktu beberapa keputusan penting harus ditetapkan misalnya mengenai rute kapal, kapan harus mulai dan berapa banyak kapal yang diperlukan. Tujuannya adalah untuk meminimasi biaya dan memaksimalkan efisiensi. Untuk sewa di bawah skema waktu, di mana pun kapal menunggu biaya masih harus dikeluarkan oleh perusahaan dan karena itu optimasi dilakukan bertujuan untuk meminimalkan biaya dengan meminimalkan jumlah armada dan untuk memaksimalkan efisiensi dengan menerapkan penjadwalan yang baik sehingga waktu tunggu dapat dihindari (Stopford 1997).

2.1.1 Transportasi Laut

Transportasi adalah pergerakan produk dari suatu lokasi ke lokasi berikutnya yang merupakan permulaan dari rantai pasok sampai ke konsumen akhir (Chopra, 2001). Transportasi laut memiliki biaya paling rendah dibandingkan moda transportasi lainnya. Perbandingan tingkat biaya untuk setiap kategori moda transportasi dalam tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Biaya Transportasi

Moda Transportasi	Biaya (Sen/Ton Mile)	Persentase
Truk	25.08	42.68%
Rail (Kereta)	2.50	4.26%
Laut	0.73	1.24%
Udara	58.75	100%
Pipeline	1.40	2.38%

Sumber : Ballou 1998

2.1.2 Karakteristik Transportasi Laut

Dalam transportasi laut ada bagian-bagian penting yang harus dipelihara terkait dengan distribusi barang dengan media transportasi laut yaitu (Hwang, 2005) :

1. Pelabuhan

Menurut Peraturan Pemerintah RI No.69 tahun 2001 pelabuhan, depo atau *ports* didefinisikan sebagai tempat kegiatan ekonomi yang dipergunakan sebagai tempat kapal bersandar, berlabuh dan/atau bongkar muat barang. Karakteristik depo antara lain :

a. Tonase Bobot Mati (*Death Weight tonnage*) dan Sarat Kapal (*Draft*)

Tonase bobot mati adalah jumlah bobot yang dapat ditampung oleh kapal untuk menjaga kedalaman kapal terbenam hingga batas yang diizinkan, yaitu jumlah muatan barang, air tawar, bahan bakar, air ballast, penumpang dan awak kapal. Sarat kapal adalah kedalaman bagian kapal yang terendam air. Hubungan Tonase Bobot Mati dan Sarat Kapal rata-rata dipaparkan dalam tabel 2.2 berikut :

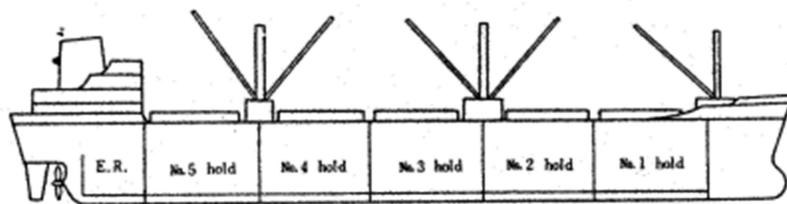
Tabel 2.2 Hubungan Tonase Bobot Mati dan Sarat Kapal rata-rata

Tonase Bobot Mati (Ton)	Sarat Kapal (ft)
3500	5-8
6500	9-12
10.000	26
20.000	30
50.000	38
100.000	48

Sumber : (Suyono, 2005)

- b. Dimensi kapal yang dapat memasuki depo.
 - c. Kegiatan penunjang dan pelayanan yang disediakan depo seperti loading dan unloading dimana pelayanan ini dikenakan biaya.
2. Kapal

Komponen penting dalam kapal yaitu kapasitas, tipe kapal, kecepatan, lokasi titik awal perencanaan horizon, batasan dermaga dengan kanal. Kapal dibedakan berdasarkan jenis muatan yaitu Conventional Liner merupakan kapal barang biasa, Full Container memuat petikemas (kontainer), General Cargo merupakan kapal angkut serbaguna, RoRo misalnya kapal ferry dan Bulk Carrier yang dapat mengangkut beberapa jenis muatan curah dalam satu kapal.



Gambar 2.1 Ilustrasi Bulk Carrier (Hwang, 2005)

- 3. Biaya
- 4. Biaya transportasi laut diklasifikasikan kedalam beberapa kategori sebagai berikut (Stopford, 2009):
 - a. Biaya operasional meliputi gaji awak kapal, asuransi, administrasi, perbaikan rutin.
 - b. Biaya pemeliharaan periodik meliputi dry docking dan spesian survei.
 - c. Biaya perjalanan (*Voyage Cost*) meliputi biaya pelabuhan, biaya kapal pandu (tugboat) dan bahan bakar.
 - d. Biaya penanganan kargo meliputi biaya pemuatan kargo, pembongkaran kargo dan penyimpanan kargo.
 - e. Bunker cost adalah konsumsi bahan bakar saat kondisi laden dan ballast (menyeimbangkan kapal) dan saat kapal melakukan pemuatan atau pembongkaran muatan.

- f. *Flushing between loads* meliputi biaya pencucian kompartemen saat sebelum mengganti muatan.

2.1.3 Skema Penyewaan Kapal

Jenis-jenis kontrak penyewaan kapal antara lain :

1. *Time Charter*, kapal disewa untuk periode waktu tertentu. Penyewa menentukan titik tujuan dan rute yang akan dilalui oleh kapal sewa, menanggung bahan bakar, biaya pelabuhan dan gaji awak kapal. Pihak pemilik kapal berhak untuk mempertahankan hak atas kapal serta nahkoda dan awak kapal merupakan orang-orang yang dipekerjakan oleh pemilik kapal. Sedangkan penyewa kapal berhak untuk menentukan bagaimana kapal tersebut akan digunakan selama dalam batas-batas yang ditentukan dalam perjanjian penyewaan kapal *time charter*. Dalam skema ini, risiko keterlambatan yang terjadi menjadi milik pihak penyewa. Sewa kapal umumnya mengatur beberapa kejadian tertentu terkait kerusakan mesin kapal, kekurangan awak kapal dan lain-lain yang bukan merupakan tanggung jawab pihak penyewa. (Mark, 2001).
2. *Voyage Charter*, kapal disewa untuk satu perjalanan mengangkut kargo dari satu pelabuhan ke pelabuhan lain. Penyewa menanggung biaya pelabuhan, bahan bakar, gaji awak kapal. Penyewa membayar dengan dasar lump-sum (setiap satuan kargo yang dibawa). Bila melebihi waktu kontrak maka penyewa membayar biaya demurrage. Apabila kurang dari waktu kontrak maka pemilik membayar dispatch kepada penyewa (Cooe & Young, 2014).
3. Bareboat Charter, kapal disewa dalam jangka tahunan diaman penyewa mengontrol penuh legalitas dan seluruh biaya kapal. Penyewa mempunyai hak penguasaan penuh atas kapal.
4. Liner Charter, kapal disewa berdasarkan rute dan mempertimbangkan jenis barang yang diangkut. Pembayaran dihitung per kontainer yang diangkut. Penyewa menanggung biaya operasi dan seluruh biaya perjalanan.

Tabel 2.3 berikut berisi kalsifikasi skema penyewaan kapal berdasarkan penanggung biaya perjalanan, biaya operasi dan biaya kapital.

Tabel 2.3 Klasifikasi Skema Penyewaan Kapal

Keterangan	Biaya Perjalanan	Biaya Operasi	Biaya Capital
<i>Time Charter</i>	Penyewa	Pemilik	Pemilik
<i>Voyage Charter</i>	Pemilik	Pemilik	Pemilik
<i>Bareboat Charter</i>	Penyewa	Penyewa	Pemilik
<i>Line Charter</i>	Pemilik	Pemilik	Pemilik

Sumber : Desita, 2018

2.2 Manajemen Persediaan Dalam *Supply Chain*

Persediaan adalah bagian dari total aset perusahaan. *Inventory* umumnya merepresentasikan sekitar 20%-60% dari total aset pada neraca keuangan (Arnold, et al., 2008). Adanya persediaan dapat menyebabkan munculnya biaya sehingga biaya operasional akan meningkat. Pengelolaan persediaan yang baik diperlukan karena manajemen persediaan yang baik berpengaruh besar terhadap kinerja finansial perusahaan.

Salah satu cara mengelola persediaan untuk menghadapi ketidakpastian adalah menentukan jadwal *replenishment* yang disebut *reorder point* (ROP) yang dihitung dengan rumus berikut (Waters, 2003).

$$ROP = \text{demand during lead time} + \text{safety stock} \quad (2.1)$$

Apabila *demand* dan *lead time* bersifat stokastik maka perhitungan ROP diperoleh dengan rumus (Waters, 2003) :

$$ROP = LT \times D + (Z \times \sqrt{LT \times \sigma_D^2 + D^2 \times \sigma_{LT^2}}) \quad (2.2)$$

Dimana :

LT = *Lead time*

D = *Average Demand*

Z = *Safety Factor*

σ_D = Standar Deviasi *Demand*

σ_{LT} = Standar Deviasi *Lead Time*

Ketika demand terdistribusi normal, cara lain untuk menghitung ROP adalah dengan menentukan *service level*. *Service level* ditentukan dengan menghitung persentase pesanan yang dapat dipenuhi dalam satu bulan. Menurut Tersine (1994), berikut adalah salah satu cara menentukan *service level*.

$$\text{Service level} = 1 - \left(\frac{\text{number of cycles with stockout}}{\text{total number of order cycles}} \right) \quad (2.3)$$

2.3 Simulasi

Simulasi adalah suatu proses meniru kejadian nyata pada suatu waktu tertentu (Kelton et al., 2000). Simulasi model sering digunakan ketika karakteristik rantai pasokan tidak praktis dan sulit untuk dimodelkan dengan pendekatan analitis (Riddals et al., 2000) atau ketika sistem menggabungkan variabel stokastik dan ketidakpastian, misalnya dalam kasus persediaan yang kompleks (Fleish dan Tellkamp, 2005). Praktek simulasi dilakukan dengan *software* seperti Arena, Stella, Vensim atau Promodel dimana hasil statistik dari performansi sistem akan ditampilkan berupa ringkasan sehingga dapat dianalisis.

Simulasi tepat digunakan untuk memodelkan sebuah sistem yang kompleks (Terzi & Cavalieri, 2004) dimana kompleksitas sebuah sistem disebabkan oleh interdependensi dan variabilitas. Interdependensi adalah keterikatan beberapa variabel dalam sistem. Variabilitas adalah adanya variabel yang beragam dalam sebuah sistem (Desita, 2018) atau adanya keberagaman waktu proses dan ketidakpastian pada kejadian-kejadian tertentu (Siswanto et al., 2017).

2.3.1 Klasifikasi Simulasi

Simulasi dibedakan menjadi tiga jenis berdasarkan karakteristiknya, yaitu (Law & Kelton, 2000) :

1. Simulasi Dinamis dan Statis

Simulasi dinamis dan statis dibedakan berdasarkan pengaruhnya terhadap waktu. Simulasi dinamis yaitu simulasi yang memiliki pengaruh terhadap waktu atau berubah-ubah seiring berjalannya waktu. Aplikasi pada simulasi dinamis misalnya sistem sirkulasi parkir yang kondisinya berubah-ubah seiring berjalannya waktu. Simulasi statis merupakan representasi dari sebuah sistem pada saat waktu tertentu dan merupakan simulasi yang tidak memiliki pengaruh terhadap waktu. Penerapan sederhananya adalah ketika sebuah variabel dimasukkan ke dalam rumus tertentu untuk memperoleh hasilnya. Contohnya program spreadsheet, variabel-variabel dan persamaan ditentukan sehingga hanya perlu memasukkan nilai input untuk mendapatkan output.

2. Simulasi Kontinu dan Diskrit

Simulasi kontinu dan diskrit dibedakan berdasarkan perubahan tiap satuan waktu. Simulasi kontinu memiliki variabel yang berubah secara terus-menerus dalam skala waktu tertentu, misalnya aliran gas dalam pipa. Simulasi diskrit merupakan simulasi pada suatu sistem yang memiliki variabel yang dapat berubah seketika hanya pada titik waktu tertentu. Contohnya sistem sirkulasi parkir yang memperlihatkan pergerakan dan urutan kejadian yang terjadi pada kendaraan pada waktu-waktu tertentu.

3. Simulasi Deterministik dan Stokastik

Simulasi deterministik dan stokastik dibedakan berdasarkan sifat probabilistik. Simulasi deterministik tidak memiliki variabel yang bersifat probabilistik sehingga output dari simulasi ini bersifat pasti atau tidak random. Contoh simulasi deterministik adalah menghitung persamaan diferensial pada reaksi kimia. Sedangkan simulasi stokastik memiliki variabel probabilistik dan bersifat *random input random output* (RIRO). Contoh dari simulasi stokastik adalah pada sistem antrian dan persediaan.

2.3.2 Keuntungan Model Simulasi

Berikut adalah keuntungan yang diperoleh dalam menggunakan teknik simulasi (Kakiay, 2004):

1. Mampu memodelkan keterkaitan dan ketergantungan antar elemen pada suatu sistem yang tidak mampu diperoleh dari metode analitis.
2. Menghemat waktu, simulasi dapat dilakukan hanya dalam hitungan menit bahkan detik sehingga menghemat waktu pekerjaan yang bila dilakukan membutuhkan waktu yang lama.
3. Memperluas waktu, simulasi digunakan untuk menunjukkan perubahan struktur dari sebuah sistem nyata yang tidak diteliti pada waktu aktual. Karen aitu simulasi dapat membantu mengubah sistem hanya dengan memasukkan data kondisi aktual.
4. Mengatur sumber yang bervariasi, dapat terlihat ketika analisa statistik digunakan untuk meninjau hubungan antara variabel bebas dengan variabel terkait dimana variabel tersebut merupakan fakto-faktor yang akan dibentuk di dala percobaan.
5. Mengoreksi kesalahan perhitungan. Simulasi dengan komputer dapat melakukan perhitungan dengan akurat.
6. Dapat dihentikan dan dijalankan kembali. Simulasi pada komputer dapat dihentikan untuk meninjau atau mencatat semua keadaan yang relevan tanpa berdampak buruk pada program simulasi tersebut.
7. Mudah direplikasi (diperbanyak). Simulasi dengan komputer dapat dilakukan berulang dan setiap saat. Misalnya mengubah variabel, perubahan parameter, pada kondisi operasi ataupun memperbanyak output.

2.3.3 Simulasi Discrete Event

Simulasi *Discrete Event* adalah pendekatan simulasi dimana perubahan status pada model simulasi terjadi pada titik-titik diskrit tertentu pada suatu waktu yang dipicu oleh suatu kejadian tertentu. Status variabel hanya berubah ketika terdapat suatu kejadian tertentu sebagai pemicunya. Misalnya ketika suatu unit entitas keluar dari sistem karena telah selesai diproses maka variabel jumlah total output akan berubah saat itu juga. Simulasi *Discrete Event* dapat digunakan pada sistem yang mengandung proses atau entitas yang bersifat kontinyu, namun saat simulasi disederhanakan dengan pendekatan diskrit. Misalnya pada oil refinery,

pergerakan entitas minyak bersifat kontinu tetapi disimulasikan secara diskrit (misalnya setiap x barel dianggap 1 entitas). Selain itu digunakan pada sistem yang jelas memiliki entitas diskrit dan kejadian yang juga bersifat diskrit (Siswanto et al, 2017).

Sebelum pengembangan model dimulai, perlu memastikan bahwa pemilihan metode simulasi sebagai pendekatan dalam penelitian ini sudah merupakan keputusan yang tepat. Berikut adalah pertanyaan-pertanyaan yang diajukan pada tahap identifikasi permasalahan untuk mendapat kesimpulan apakah metode simulasi tepat digunakan dalam penelitian ini :

1. Apakah proses pada sistem tersebut tergambar dengan jelas?

Apabila jawaban dari pertanyaan ini adalah proses-proses dalam sistem tidak tergambar dengan jelas atau tidak terdapat kontrol untuk menjalankan sistem untuk mengikuti prosedur atau standar tertentu secara sistematis, maka simulasi tidak dapat meniru sistem tersebut, sehingga model simulasi tidak akan memberikan banyak informasi untuk membantu perbaikan performansi sistem.

2. Apakah proses dilakukan secara repetitif dan teratur (misalnya durasi proses, kebutuhan sumber daya, kapan proses dilaksanakan)?

Jawaban pertanyaan ini terkait dengan data-data dan keteraturan detail proses dalam sistem. Simulasi hanya dapat menirukan sistem yang dilakukan berulang/repetitif. Apabila sistem bersifat unik dan tidak berulang maka simulasi tidak dapat memprediksi perilaku sistem.

3. Apakah tiap proses saling bergantung satu sama lain?

4. Apakah terdapat variabilitas pada elemen sistem yang diamati?

Pertanyaan ketiga dan keempat dilakukan untuk mengukur kompleksitas sistem karena simulasi tepat digunakan untuk sistem yang bersifat kompleks. Apabila kompleksitas suatu sistem rendah maka pendekatan analitis atau matematis lebih tepat digunakan karena usaha yang dibutuhkan untuk melakukan pendekatan simulasi dianggap terlalu besar untuk sistem masalah yang tidak kompleks.

5. Apakah potensi penghematan biaya lebih besar dari biaya yang dikeluarkan untuk melakukan studi simulasi?

Perlu dipastikan bahwa manfaat yang didapatkan dengan melakukan simulasi akan lebih besar daripada biaya untuk melakukan simulasi (biaya tenaga ahli, software simulasi, biaya pengambilan data, dan biaya risiko).

6. Apakah sistem riil telah ada? Apakah eksperimen langsung pada sistem tersebut akan mengeluarkan biaya lebih sedikit?

7. Apakah pihak manajemen bersedia mendukung proyek tersebut?

Simulasi hanya bisa dilaksanakan apabila didukung oleh manajemen karena dapat memudahkan dalam pengambilan data dan pihak manajemen merupakan pihak yang paling memahami sistem. Pihak manajemen juga berperan dalam membantu mengidentifikasi error dalam model dengan cara ikut berperan dalam proses validasi dan verifikasi.

2.3.4 Sistem

Sistem adalah komponen-komponen yang tersusun secara sistematis dan setiap komponen berkontribusi terhadap perilaku sistem tersebut sehingga apabila suatu komponen dihilangkan maka akan mempengaruhi perilaku sistem (Daellenbach, 2005).

Elemen sistem adalah komponen yang menyusun sebuah sistem (Harrel, et al., 2000). Elemen mendiskripsikan oleh siapa, apa, dimana, kapan dan bagaimana entitas diproses melalui sudut pandang simulasi. Elemen sistem dibagi menjadi empat yaitu:

1. *Entity* (entitas) adalah objek yang diproses pada sistem, memiliki karakteristik yang melekat yang disebut atribut, misalnya kapasitas, warna dan kondisi.
2. Aktifitas adalah kegiatan yang berlangsung pada sistem yang membutuhkan waktu dan *resource*.
3. *Resources* adalah fasilitas untuk melakukan kegiatan mengolah entitas pada sistem. Pada umumnya *resources* memiliki batasan dan kapasitas untuk menangani entitas pada aktifitas.
4. *Control* adalah sebuah batasan untuk mengendalikan sistem serta mengindikasikan bagaimana, kapan dan dimana aktifitas dilakukan.

Kontrol membawa informasi dan logika mengenai cara sistem seharusnya berjalan.

Selain empat elemen sistem, terdapat tiga variabel yang mempengaruhi model simulasi yaitu :

1. *Decision variable*, merupakan variabel yang independen yang diputuskan dalam sistem sehingga dapat menyebabkan perubahan status jika nilai variabel ini diganti.
2. *Response variabel*, merupakan variabel yang muncul akibat perlakuan dalam sistem. Variabel ini disebut juga sebagai *output variable*.
3. *State variable*, merupakan status dari sebuah sistem pada waktu tertentu.

2.4 Validasi Dan Verifikasi

Dalam pendekatan simulasi, *real system* diterjemahkan kedalam model konseptual, dimana selanjutnya model tersebut diterjemahkan menjadi model simulasi. Pada proses penerjemahan tersebut ada kemungkinan terjadi error yang menyebabkan gap antara model simulasi dengan sistem yang sebenarnya. Validasi dan verifikasi dilakukan untuk mengurangi dan mengeliminasi eror tersebut.

2.4.1 Validasi

Validasi dilakukan untuk memastikan model konseptual dan model simulasi yang dibangun sudah mempresentasikan kondisi sistem yang nyata (Siswanto et al., 2017). Validasi dilakukan dengan membandingkan performansi hasil simulasi dengan sistem nyata dengan melakukan pengujian statistik. Misalnya uji hipotesis rataan dua populasi *dan analysis of variance* (ANOVA) dengan hipotesis awal tidak terdapat perbedaan antara metrik performansi. Model dikatakan valid apabila tidak didapatkan adanya perbedaan.

Berikut beberapa alternatif untuk melakukan validasi model secara kualitatif.

1. Melihat animasi dan tampilan model (visual), untuk mengetahui apakah urutan aktivitas yang seharusnya dialami entitas sudah sesuai dengan sistem yang sebenarnya.

2. Membandingkan model dengan sistem aktual. Misalnya perbandingan output secara umum (performansi akhir), output sebagian (performansi pada satu stasiun kerja tertentu), membandingkan input model dan data historis serta kondisi-kondisi atau asumsi yang berlaku pada model dan sistem aktual.
3. Membandingkan dengan model lain yang dibuat, misalnya model matematis, model simulasi sederhana, dan model analitis lainnya.
4. Melakukan uji sensitivitas dengan mengubah suatu variabel untuk melihat apakah variabel responnya berubah sesuai dengan seharusnya.
5. Uji data historis yaitu membandingkan data output simulasi dengan menggunakan data historis sebagai input langsung simulasi. Apabila data input sama persis dengan kondisi sebenarnya, maka output simulasi juga akan sama atau mendekati sama dengan sistem aktual.

Secara statistik, metode yang digunakan untuk validasi suatu model adalah membandingkan performansi model dengan sistem aktual. Apabila data pada sistem aktual tersedia, uji statistik dapat dengan mudah dilakukan. Uji student's t dilakukan untuk menentukan apakah data sampel dari kedua populasi dan sistem aktual memiliki parameter populasi yang sama, sedangkan F test dapat dilakukan untuk menguji persamaan variansi dari sistem aktual dan model simulasi. Uji student's t pada dasarnya adalah uji hipotesa pada dua parameter populasi yang bertujuan untuk membuktikan secara statistik apakah kedua populasi berbeda secara signifikan. Uji t dikembangkan oleh William Seeely Gosset pada 1915, awalnya menggunakan nama samaran Student dan huruf t yang terdapat dalam uji t berasal dari huruf terakhir. Adapun langkah-langkah untuk melakukan uji student's t adalah (Siswanto et al., 2017) :

1. Tentukan hipotesa awal dan hipotesa alternatif untuk membandingkan rata-rata output pada sistem aktual (μ_1) dan rata-rata output pada model simulasi (μ_2) sebagai berikut :

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

Apabila H_0 secara statistik dapat dibuktikan benar, maka artinya sistem aktual dan model simulasi tidak berbeda secara signifikan atau model

dapat dikatakan valid. Namun apabila yang diterima adalah pernyataan kedua atau H_1 , artinya model tidak valid.

2. Hitung rata-rata dan standar deviasi dari masing-masing sampel atau populasi yang diperbandingkan, dan kemudian tentukan nilai standar deviasi yang merupakan gabungan dari dua populasi berdasarkan persamaan berikut ini :

$$s_p \sqrt{\frac{(n_1-1)s_1^2 + (n_2-1)s_2^2}{n_1+n_2-2}} \quad (2.4)$$

Dimana :

s_1 = standar deviasi sistem aktual

s_2 = standar deviasi model simulasi

n_1 = jumlah data pada sampel 1

n_2 = jumlah data pada sampel 2

s_p = standar deviasi gabungan

3. Tentukan tingkat signifikansi dan alpha (α). Berikutnya cari nilai t kritis pada tabel student's t pada $\frac{1}{2} \alpha$ serta derajat kebebasan (df) sebesar $df=n_1+n_2-2$. Pada software ARENA, interval estimasi dari nilai output dihitung dengan menggunakan $\alpha= 0.05$ sehingga biasanya uji statistik dan perhitungan lainnya juga menggunakan nilai alpha tersebut.
4. Hitung nilai t dari data yang diuji menggunakan rumus berikut ini :

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{s_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (2.5)$$

Dimana :

\bar{x}_1 dan \bar{x}_2 = rata-rata sampel dari populasi 1 dan populasi 2.

Karena H_0 menyatakan bahwa kedua populasi sama atau $\mu_1 = \mu_2$, maka $\mu_1 - \mu_2 = 0$.

5. Kesimpulan diambil dengan membandingkan nilai t dari alpha dan nilai t dari data. Apabila nilai t data berada di daerah penerimaan, maka simpulkan bahwa output sistem aktual dan output model simulasi tidak berbeda secara signifikan. Artinya model dapat dikatakan valid.

2.4.2 Verifikasi

Verifikasi model dilakukan untuk memastikan bahwa model simulasi sudah menggambarkan model konseptual dengan benar, sesuai dengan alur logika dan cara kerja proses yang sebenarnya. Ada dua tahap dalam verifikasi yang dilakukan untuk mendeteksi *syntax error* dan *semantic error*. *Syntax error* meliputi kesalahan gramatik dan kesalahan notasi yang menyebabkan simulasi tidak berjalan sesuai harapan. *Semantic error* adalah kesalahan logis pada model simulasi yang menyebabkan perilaku pada model tidak sesuai harapan (Harrell, et al., 2000). Adapun kedua tahapannya adalah, tahap pertama adalah *debugging* yaitu memastikan tidak ada kesalahan pada saat model simulasi berjalan. Tahap kedua adalah memastikan logika aliran simulasi sesuai alur logis. Perhitungan matematis juga dilakukan untuk memastikan tidak ada kesalahan dalam model.

Berikut beberapa cara untuk melakukan verifikasi model (Siswanto et al., 2017).

1. Meninjau ulang kode dan teks pada model untuk menguji apakah ada *error* dan ketidakkonsistenan pada model. Pengujian dilakukan dengan metode *bottom up* dan *bottom down*. Pada *bottom up*, modul terkecil diuji terlebih dahulu kemudian dua atau tiga modul diuji hingga seluruh sistem diuji dan diverifikasi. Pada metode *top down*, verifikasi dilakukan dari modul utama terlebih dahulu.
2. Memeriksa kewajaran *output* dengan membandingkan hasil simulasi dengan hasil perhitungan secara analitis.
3. Melihat animasi.
4. Menggunakan fasilitas lacak dan debug yang tersedia dalam software. Dalam Arena debug dilakukan dengan menekan tombol F4, kemudian akan muncul informasi apakah terdapat *syntax error* pada model. Tetapi cara ini tidak dapat digunakan untuk menemukan *semantic error*.

Pendekatan validasi dapat dilakukan dengan statistik yaitu F-test dimana membandingkan salah satu parameter output dari model simulasi dan model sebenarnya. Sementara itu verifikasi lebih mengarah pada kesesuaian antara maksud pembuat model dan model yang dihasilkan, maka pendekatannya juga

lebih banyak mengarah pada peninjauan dan pemeriksaan kembali bagian-bagian model dan kesesuaian dengan dengan model yang dijadikan referensi.

2.5 Replikasi Simulasi

Karakter input yang random dalam simulasi menyebabkan simulasi dilakukan secara berulang. Satu kali percobaan dengan suatu model simulasi mewakili satu sampel. Dengan banyaknya proses dan entitas dalam suatu simulasi maka hasil percobaan (*run*) berbeda dengan percobaan lainnya. Untuk mendapatkan sample sejumlah n , maka perlu dilakukan percobaan sebanyak n kali. Tanpa pengulangan atau replikasi, output model simulasi tidak dapat membentuk rentang estimasi. Untuk mendapatkan estimasi pada interval yang diterima, maka n harus ditentukan sedemikian rupa. Semakin kecil rentang suatu estimasi, semakin baik kualitas informasi yang diberikan.

Untuk mengetahui nilai n dalam simulasi dapat dilakukan langkah-langkah sebagai berikut (Siswanto et al., 2018):

1. Melakukan percobaan dengan n tertentu, misalnya $n = 5$.
2. Jalankan model simulasi dan dapatkan output. Nilai *halfwidth* (hw) atau eror dapat diperoleh dari output *software* Arena secara langsung atau eror dihitung menggunakan rumus:

$$hw = e = t_{\alpha/2, n-1} \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (2.6)$$

Dimana :

S = standar deviasi

$t_{\alpha/2, n-1}$ = nilai tabel pada $\alpha/2$ dan derajat kebebasan (df) = $n-1$.

Nilai hw juga dapat diperoleh dari output Arena secara langsung.

hw menentukan panjang rentang estimasi dari sebuah parameter yang menjadi fokus dalam model simulasi. Dalam estimasi rentang yang baik adalah rentang yang pendek pada derajat kepercayaan tinggi (90%, 95% atau 99%). Panjang rentang estimasi dipengaruhi besarnya standar deviasi dan jumlah sampel. Meningkatkan jumlah sampel atau jumlah replikasi dalam simulasi akan menurunkan nilai hw .

3. Lakukan evaluasi terhadap nilai hw , apabila nilainya sudah memuaskan maka gunakan n pada percobaan pertama tadi, tidak perlu menghitung nilai n' lagi. Apabila menginginkan nilai hw yang lebih kecil lagi maka hitung n' dengan menggunakan *halfwidth* baru (hw') dengan rumus :

$$n' \cong n \frac{hw^2}{(hw')^2} \quad (2.7)$$

4. Lakukan percobaan menggunakan n' dan cek kembali apakah rentang hw' sesuai dengan yang diinginkan.
5. Apabila parameter yang menjadi fokus amatan lebih dari satu maka n' dihitung sesuai dengan masing-masing hw yang diinginkan pada tiap parameter tersebut ($n1'$ dan $n2'$). Jumlah replikasi dipilih pada nilai n' tertinggi agar hw dari semua parameter dapat terpenuhi.

2.6 Uji Hipotesis dan ANOVA

Bagian penting dari simulasi adalah menginterpretasikan hasil. Ada beberapa skenario yang dikembangkan ketika menjalankan simulasi untuk menentukan faktor-faktor yang berpengaruh signifikan terhadap *output* simulasi. Analisis skenario dilakukan untuk membandingkan hasil simulasi dan skenario-skenario yang dikembangkan. Analisis yang benar diperlukan untuk meyakinkan bahwa kesimpulan yang diambil sudah benar-benar solid dan berdasar. Perbandingan skenario dapat dilakukan pada dua skenario atau lebih.

2.7 Perbandingan Skenario

Apabila hanya ada dua skenario, uji hipotesis dapat dilakukan untuk mengetahui perbedaan antar skenario. Pada pengujian hipotesis, *null hypothesis* dinotasikan dengan H_0 sedangkan *alternative hypothesis* dinotasikan dengan H_1 . Persamaan uji hipotesis untuk mengetahui perbedaan skenario pada level α tertentu dengan persamaan :

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 \text{ atau ekuivalen dengan } H_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \text{ atau ekuivalen dengan } H_1 : \mu_1 - \mu_2 \neq 0$$

Untuk membandingkan lebih dari dua skenario prinsip yang digunakan pada dasarnya sama dengan membandingkan dua skenario. Metode yang paling

umum digunakan adalah *one way* Anova. Skenario akan berkembang sesuai dengan faktorial dari semua faktor yang ada sehingga memerlukan metode ANOVA untuk mengetahui perbedaan antar skenario (Montgomery, et al., 2011). Metode Anova mengasumsikan bahwa populasi yang dibandingkan memiliki distribusi normal dengan variansi yang sama untuk semua populasi. ANOVA digunakan untuk menganalisa signifikansi perbedaan dari populasi yang ada. Hipotesis nol pada uji ANOVA adalah bahwa semua populasi adalah sama. Ketika hipotesis diterima, menunjukkan bahwa nilai rata-rata dari variabel yang diuji tidak berbeda secara signifikan. Metode ini akan digunakan dalam analisis faktor, yang ANOVA akan diperiksa apakah ada faktor atau kombinasi beberapa hasil faktor output yang berbeda secara signifikan. Sama dengan uji hipotesis, null hypothesis pada uji ANOVA juga dinotasikan dengan H_0 dan *alternative hypothesis* dinotasikan dengan H_1 dengan level α tertentu pada persamaan berikut :

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$ untuk alternatif sebanyak k

$H_1 : \mu_i \neq \mu_j$ untuk setidaknya satu pasang $i \neq j$

Apabila keputusannya adalah menolak H_0 , artinya terdapat setidaknya salah satu populasi yang berbeda sehingga perlu dilakukan *least significant difference* (LSD) test untuk mengetahui skenario mana yang menghasilkan output yang berbeda secara signifikan.

$$LSD(\alpha) = t_{(df(error), \alpha/2)} \sqrt{\frac{2(MSE)}{n}} \quad (2.8)$$

Apabila rumus $|x_i - x_j| > LSD(\alpha)$ benar maka disimpulkan bahwa μ_i dan μ_j berbeda secara signifikan pada level α yang telah ditentukan. Hal ini berarti terdapat perbedaan yang signifikan antara skenario i dan skenario j.

2.8 Penelitian Sebelumnya

Ringkasan penelitian sebelumnya yang digunakan dalam penelitian ini dipaparkan dalam tabel 2.4 berikut :

Tabel 2.4 Ringkasan Literatur mengenai Distribusi/Pengiriman jalur laut

No	Judul	Tujuan Penelitian	Jenis Industri (Produk)	Metode	Sub Sistem/Ruang Lingkup
1.	Shipment planning at oil refineries using column generation and valid inequalities (Persson, J. A., & Maud, G., 2005).	Optimisasi model untuk perencanaan pengiriman dan jumlah distribusi minyak menggunakan kapal dari kilang minyak untuk memenuhi kebutuhan <i>demand</i> di depot.	<i>Nynas oil refinery company</i>	<i>Column generation, valid inequalities and constraint branching</i>	Perencanaan pengiriman dan jumlah kuantiti pada distribusi jalur laut.
2.	<i>Inventory constrained maritime routing and scheduling for multi-commodity liquid bulk</i> (Al-Khayyal, F., & Hwang, S., 2007)	Membuat model untuk menemukan biaya routing terendah untuk pickup dan delivery pada distribusi jalur maritim.	Produk Curah	<i>Mixed-integer nonlinear program</i>	<i>Maritime routing and scheduling for multiple product (cargo routing and inventory routing problems).</i>
3.	<i>Marine inventory routing: shipments planning</i> (Ronen, 2007)	Menentukan kapan dan berapa banyak produk yang harus dikirimkan, menentukan armada yang digunakan untuk meminimasi biaya pengiriman dengan mempertimbangkan	Produsen Minyak	<i>Mixed integer-programming</i>	<i>Marine Inventory Routing</i>

		batasan kapasitas.			
4.	Omya Hustadmarmor Optimizes its supply chain for delivering calcium carbonate to European paper Manufacturers. (Dauzère-Pérès, 2007)	Menentukan jumlah dan jadwal pengiriman kapal untuk calcium carbonate dengan batasan kapasitas penyimpanan.	Calcium Carbonate untuk produksi kertas.	<i>Decision-Support System (DSS), linear-integer-programming</i>	Distribusi jalur laut.
5.	<i>Computers & Industrial Engineering Solving the ship inventory routing and scheduling problem with undedicated compartments</i> (Siswanto et al., 2011).	Menemukan biaya terkecil yang memenuhi batasan kapasitas penyimpanan.	Multiple bulk liquid product.	<i>Mixed integer-programming & set of heuristic.</i>	Distribusi jalur laut.
6.	<i>Maritime inventory routing with multiple products : A case study from the cement industry</i> (Christiansen	Membangun model untuk perencanaan pengiriman multi produk semen dari pabrik menuju regional silo, dengan batasan inventori pada pabrik	Produsen Semen	<i>Heruristic Genetic Arlorithm</i>	<i>Maritime Inventory Routing</i>

	et al., 2011)	dan silo dan kapasitas kargo kapal.			
7.	<i>Near-optimal heuristics and managerial insights for the storage constrained, inbound inventory routing problem</i> (Natarajarathinam et al., 2012)	Menentukan rute dan inventori sparepart yang dikirim untuk perakitan/manufaktur dengan batasan kapasitas armada.	Inbound parts untuk kebutuhan rakitan dan manufaktur	<i>Heuristic</i>	<i>Inbound inventory routing</i>
8.	<i>The inventory-routing problem with transshipment</i> (Coelho & Laporte, G., 2012)	Menintegrasikan <i>routing</i> dan <i>inventory decision</i> dengan formulasi yang mengijikan transshipment dari supplier ke pelanggan dan antar pelanggan untuk mengurangi total biaya.		<i>Inventory-Routing Problem with Transshipment (IRPT) dan Heuristic</i>	<i>Integrasi Inventory and Routing decision.</i>
9.	<i>A maritime inventory routing problem: Practical approach</i> (Song, J.-H., & Furman, K. C., 2013)	Menentukan penjadwalan optimal dari distribusi <i>single bulk product</i> dengan <i>multiple port</i> untuk meminimumkan biaya transportasi.	Produk Curah	<i>Algorithmic framework of an optimization based heuristi.</i>	<i>Practical maritime inventory routing problem (MIRP)</i>

10.	<i>An integrated shipment planning and storage capacity decision under uncertainty: a simulation study</i> (Pujawan, 2015)	Mencari solusi optimal untuk biaya logistik dengan menggunakan metode simulasi untuk mengintegrasikan parameter keputusan operasional dan strategi yaitu pengiriman dan kapasitas penyimpanan dibawah ketidakpastian.	Produsen Semen di Gresik	Simulasi <i>Discrete Event</i>	Perencanaan pengiriman dan kapasitas penyimpanan.
11.	Model Simulasi Integrasi Perencanaan Pengiriman Dan Kapasitas Penyimpanan Untuk Bahan Baku Gandum (Salo, 2019)	Membangun model dan skenario dari integrasi distribusi dan kapasitas silo untuk mengoptimalkan keseimbangan antara biaya pengiriman dan <i>service level</i> .	Produsen Tepung Terigu	Simulasi <i>Discrete Event</i>	Perencanaan pengiriman dan kapasitas penyimpanan dengan mempertimbangkan biaya <i>demurrage</i> .

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

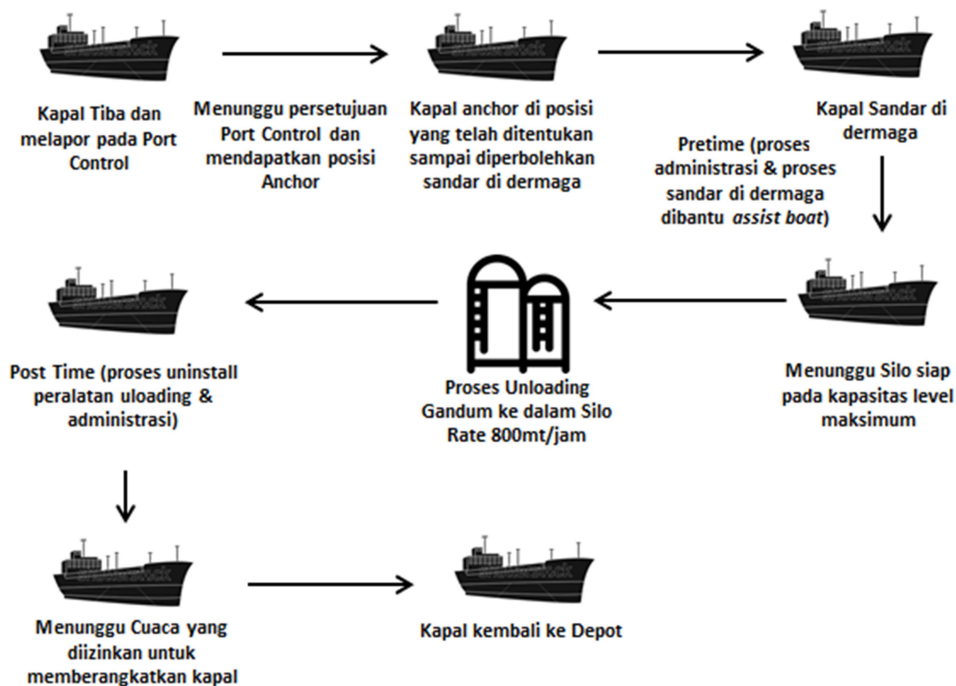
Bab ini mencakup seluruh langkah yang dilakukan dalam penelitian ini. Langkah-langkah tersebut terdiri dari beberapa tahap yaitu definisi permasalahan, studi literatur, pengumpulan data, memproses data, pembuatan model, validasi dan verifikasi data, eksperimen skenario, tes ANOVA, analisis dan kesimpulan dan saran.

3.1 Identifikasi Permasalahan

Pada tahap awal dilakukan studi lapangan dan studi literatur untuk mengidentifikasi permasalahan.

3.1.1 Studi Lapangan

Studi lapangan dilakukan dengan melihat secara langsung permasalahan yang ada di lapangan. Ringkasan situasi permasalahan di lapangan pada gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Ringkasan Situasi Permasalahan

Dari ringkasan permasalahan, elemen-elemen permasalahan dapat diidentifikasi. Adapun elemen-elemen permasalahan yang meliputi pengambil keputusan, objektif atau tujuan yang ingin dicapai oleh pengambil keputusan, kriteria keputusan, ukuran performansi, alternatif keputusan atau skenario, dan konteks (Daellenbach & McNickle, 2005).

1. Objektif pengambil keputusan adalah meminimalisir terjadinya stockout untuk meningkatkan *service level* dan meminimasi biaya.
2. Kriteria keputusan dari pengambil keputusan adalah meningkatkan *service level* dan meminimasi total biaya distribusi yang meliputi biaya penyewaan kapal dan biaya operasional dari distribusi Gandum.
3. Ukuran performansi dengan mengevaluasi skenario yang telah ditetapkan berdasarkan pada performansi sistem hasil simulasi. Ukuran performansi yang digunakan pada penelitian ini adalah *service level* dan total biaya distribusi. *Service level* dihitung berdasarkan tingkat *coverage days* gandum.
4. Alternatif skenario pada permasalahan ini adalah jam operasi pelabuhan, penetapan *reorder point* dan kapasitas kapal. Pada tahap ini digunakan pendekatan simulasi dalam penentuan skenario dasar.
5. Konteks pada permasalahan ini adalah *demand rate* atau permintaan gandum pada dari produksi.

3.1.2 Studi Literatur

Studi literatur merupakan tahapan mengumpulkan landasan teori dan referensi dari berbagai sumber literatur yang relevan dengan penelitian ini. Pada tahap ini dilakukan identifikasi variabel-variabel yang terkait dengan penelitian ini.

3.2 Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data untuk mendapatkan gambaran dari kondisi yang sebenarnya. Data dikumpulkan selama satu tahun dari departemen PPIC, Produksi dan Disitribusi dari perusahaan penggilingan gandum. Sebagian besar data merupakan data historis yang diperoleh dari

perusahaan. Teknik pengumpulan data adalah dengan metode wawancara dan pengunduhan data dari *database* perusahaan.

Data yang dikumpulkan antara lain :

1. Data struktural yaitu data aktifitas kapal, proses distribusi gandum secara maritim, jenis kapal, skema penyewaan kapal, lokasi pelabuhan muat (untuk menentukan jarak dan waktu tempuh), jenis gandum, jenis pelabuhan, lokasi pelabuhan bongkar dan jenis pelabuhan bongkar.
2. Data operasional yaitu jadwal kapal dan *time windows* (jam operasional) pelabuhan.
3. Data numerik yaitu kapasitas kapal, kapasitas silo, *production rate*, *demand rate*, *loading* dan *unloading rate*, jarak antar pelabuhan, waktu tempuh kapal, waktu *pretime* dan waktu *postime*, biaya transportasi, biaya *penalty/demurrage*.

Pada penelitian ini penentuan elemen sistem adalah sebagai berikut:

- a. Entitas : kapal yang mendistribusikan gandum
- b. *Resource* : semua fasilitas pelabuhan yang digunakan oleh entitas (lokasi *anchor*, dermaga, fasilitas *loading* dan *unloading*).
- c. Proses : aktifitas yang dikenakan pada entitas berupa urutan proses yang digambarkan pada gambar 3.1 di atas.

3.3 Variabel Sistem

Variabel sistem dalam simulasi terdiri dari variabel keputusan, variabel respon dan variabel status. Pada sistem distribusi gandum secara maritim atau melalui jalur laut, variabel keputusannya adalah jumlah kapasitas kapal yang akan digunakan. Sedangkan variabel respon yang digunakan dalam permasalahan ini adalah tingkat *inventory* gandum di pelabuhan tujuan atau pelabuhan *demand* dan *service level* dari perusahaan. Variabel status dari sistem distribusi gandum ini adalah status dari kapal yang digunakan apakah kapal tersebut *busy* atau *idle*.

Variabel sistem yang ada pada sistem distribusi gandum melalui jalur laut terdapat pada tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Variabel Sistem Distribusi Gandum Jalur Laut

Variabel Keputusan	Variabel Respon	Variabel Status
Kapasitas Kapal	Biaya	Status Kapal (<i>Idle/Busy</i>)
ROP	<i>Service level</i>	Status Dermaga (<i>Idle/Busy</i>)
Jam kerja pelabuhan		

3.4 Pemrosesan Data

Pada tahap ini data yang telah dikumpulkan diproses untuk memperoleh parameter untuk menggambarkan kondisi aktual yang digunakan untuk membangun model simulasi. Data aktifitas kapal dikumpulkan untuk menentukan siklus aktifitas kapal dan pola distribusi setiap aktifitas. *Distribution fitting* dilakukan dengan *software* Arena. *Distribution fitting* yang dilakukan dengan pendekatan *goodness of fit test* merupakan suatu uji hipotesa dengan menentukan dugaan awal bahwa data memiliki distribusi tertentu. Pola distribusi akan digunakan sebagai input parameter dalam simulasi. Proses parameter lain seperti waktu siklus dan total biaya per ton akan digunakan untuk kepentingan validasi.

Selain itu pola distribusi permintaan berdasarkan data historis, level inventori di tiap silo dan penjadwalan kapal juga diproses dengan *distribution fitting* untuk mengetahui bagaimana penjadwalan kapal perusahaan yang akan divalidasi dengan menginterview pihak yang berkaitan di perusahaan.

3.5 Pembuatan Model

Pada tahap ini dilakukan pembuatan model konseptual yang ditampilkan dalam bentuk bagan siklus aktifitas dan bagan alur logika untuk setiap skenario. Setelah model konseptual dibuat, tahap selanjutnya adalah membuat model simulasi diskrit dengan menggunakan *software* ARENA. Dengan mengkombinasikan parameter, kapasitas kapal dan silo, detail proses distribusi gandum melalui laut, maka simulasi ARENA bisa dibuat.

Model simulasi dipilih dibandingkan model heuristik karena dengan simulasi, sistem yang bersifat tidak pasti, integrasi keputusan pada distribusi dan kapasitas penyimpanan bisa diperiksa dan seberapa efektif bisa meningkatkan

kinerja sistem sehingga distribusi lebih efisien. Untuk itu dibutuhkan validasi dan verifikasi model.

3.6 Validasi dan Verifikasi

Verifikasi model dilakukan untuk memastikan bahwa model sesuai dengan alur logika dan cara kerja proses yang sebenarnya. Verifikasi dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama adalah *debugging* yaitu memastikan tidak ada kesalahan pada saat model simulasi berjalan. Tahap kedua adalah memastikan logika simulasi logis dan sesuai dengan aliran logika yang telah dibuat di awal.

Validasi dilakukan dengan membandingkan *output* simulasi dengan sistem nyata dengan cara uji statistik. Proses ini membandingkan *cycle time*, *service level*, dan biaya dari sistem distribusi gandum. Uji hipotesis menggunakan *t-test distribution* untuk menguji apakah hasil simulasi secara signifikan berbeda dengan data asli. Jika hasil simulasi tidak berbeda secara signifikan dari data asli, maka model simulasi dinyatakan valid.

3.7 Skenario Dan Eksperimen

Setelah melakukan validasi dan verifikasi model simulasi, maka dibuat beberapa skenario perbaikan. Dalam penelitian ini dilakukan desain *full factorial* untuk membuat skenario yang menghasilkan beberapa kombinasi *service level*, kapasitas silo, jumlah armada kapal, dan jam operasional. Skenario akan diuji satu per satu pada model simulasi untuk mengetahui output berupa variabel respon dari masing-masing skenario.

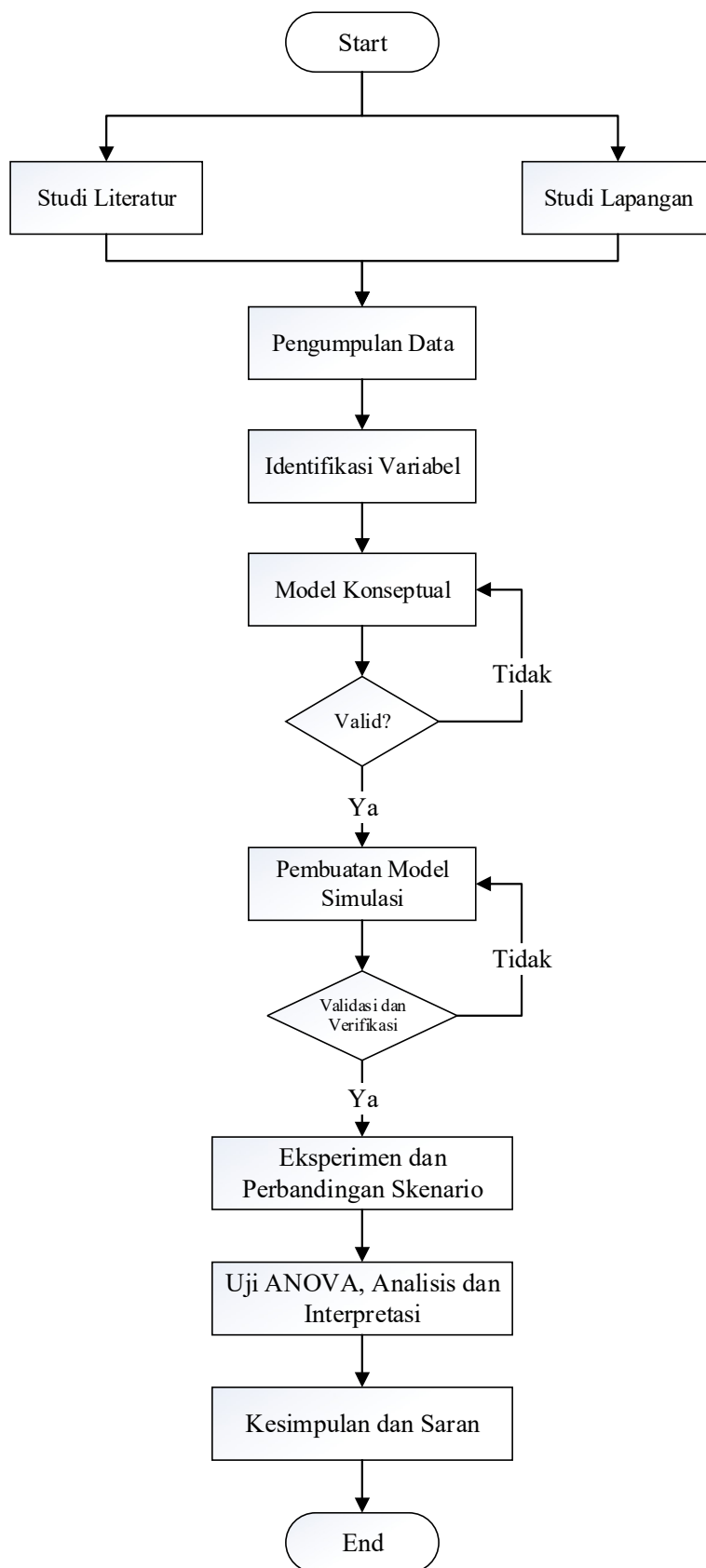
3.8 Hasil simulasi dan Uji ANOVA

Model simulasi dibuat untuk mengevaluasi dampak dari kombinasi keputusan penyimpanan dan distribusi pada *service level* dan biaya distribusi per ton. Diharapkan dapat mengoperasikan jumlah armada kapal yang lebih sedikit namun tetap mencapai *service level* yang ditetapkan. Keseluruhan *service level* dan biaya distribusi dikumpulkan dari setiap replikasi.

Setelah mendapatkan output simulasi, uji ANOVA dilakukan untuk mengetahui faktor atau kombinasi mana yang secara signifikan berpengaruh terhadap hasil pengukuran.

3.9 Analisa dan Kesimpulan

Setelah hasil dari uji ANOVA didapatkan dilakukan analisis signifikansi faktor untuk mengetahui faktor atau kombinasi mana yang secara signifikan berpengaruh terhadap hasil pengukuran. Analisis efisiensi logistik dilakukan dengan membandingkan semua skenario untuk mendapatkan skenario yang paling baik. Tahap terakhir dari penelitian ini adalah penarikan kesimpulan dari keseluruhan hasil yang diperoleh dalam penelitian ini serta saran-saran yang dapat diberikan untuk penelitian kedepannya. Diagram alir dari metodologi penelitian digambarkan pada Gambar 3.2. berikut:



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Bab ini menjelaskan mengenai pengumpulan data-data yang digunakan dalam penelitian ini dan pengolahannya. Pengolahan data menggunakan *software* simulasi diskrit (ARENA).

4.1 Pengumpulan Data

Bagian ini menjelaskan mengenai pengumpulan data untuk mendapatkan gambaran dari kondisi yang sebenarnya. Data dikumpulkan selama satu tahun dari departemen PPIC, Produksi dan departemen terkait lainnya dari perusahaan. Sebagian besar data merupakan data historis yang diperoleh dari perusahaan. Teknik pengumpulan data adalah dengan metode wawancara dan pengunduhan data dari SAP dan *database* perusahaan. Data yang dikumpulkan adalah data aktifitas kapal, biaya transportasi, kapasitas silo, data historis *inventory*, *demand* dari produksi, dan manajemen proses pengiriman gandum secara maritim.

4.1.1 Aktifitas Kapal

Data aktifitas kapal meliputi aktifitas dan durasi setiap siklus pengiriman gandum, perjalanan kapal dari depo ke pelabuhan dan kembali ke depo. Data dianalisa untuk mengetahui kondisi eksisting.

4.1.2 Biaya Transportasi

Biaya transportasi meliputi biaya penyewaan kapal, biaya asuransi, *loading* dan *unloading*. Komponen biaya digunakan untuk menghitung total biaya dari setiap skenario. Tetapi tidak semua biaya masuk dalam model simulasi karena tidak berpengaruh pada performa distribusi, misalnya biaya asuransi, *loading* dan *unloading*. Biaya asuransi merupakan biaya tetap yang ada pada setiap pengiriman dengan nilai yang tetap dan tidak dipengaruhi oleh perubahan skenario. Biaya *loading* dan *unloading* juga diabaikan karena besarnya biaya tetap

setiap ton dari pengiriman dan tidak dipengaruhi oleh faktor-faktor yang diperiksa dalam penelitian ini.

4.1.3 Data *Inventory* dan Permintaan Produksi

Selain data mengenai aktivitas kapal dan biaya, data penting lainnya yang perlu dikumpulkan adalah data *inventory*. Data *inventory* meliputi kapasitas setiap silo, *service level*, jumlah *demand* gandum dari departemen produksi. Total kapasitas silo saat ini adalah 210.000 ton. *Service level* sebesar 78.41% dengan data *demand* gandum seperti yang tertera pada tabel 1.1 sebelumnya.

4.1.4 Proses Distribusi Gandum Secara Maritim

Data meliputi regulasi, rute dan hambatan-hambatan dalam pengiriman gandum dikumpulkan untuk mengetahui kondisi eksisting didapatkan melalui wawancara dengan personil departemen terkait. Pada kondisi eksisting, kapal berangkat saat kapal sudah tersedia di depot. Hal ini dikarenakan waktu siklus yang cukup lama dan skema penyewaan kapal yang dilakukan adalah skema penyewaan *time charter* sehingga *utilitas* kapal harus dimaksimalkan, karena apabila *utilitas* kapal sedikit akan menimbulkan kerugian bagi perusahaan. Pada data operasional perusahaan, pelabuhan bongkar dapat melayani kapal mulai dari jam 7 pagi sampai jam 7 malam.

Berikut adalah data struktural pelabuhan *supply (loading)* dan *demand (unloading)* yang digunakan dalam penelitian ini. Ada tiga pelabuhan *supply* dan 1 pelabuhan tujuan (bongkar) seperti pada tabel 4.1 berikut ini :

Tabel 4.1 Data Pelabuhan Supply dan Demand

No.	Nama Pelabuhan	Lokasi	Keterangan
1	Geraldton Port	Australia	Pelabuhan <i>Supply</i>
2	Prince Rupert Port	Canada	Pelabuhan <i>Supply</i>
3	Washington Port	USA	Pelabuhan <i>Supply</i>
4	Pelabuhan Tanjung Perak	Indonesia	Pelabuhan <i>Demand</i>

Tabel 4.2 Data Jarak Pelabuhan Supply Menuju Pelabuhan Bongkar

No.	Nama Pelabuhan	Jarak
1	Geraldton Port-Tanjung Perak	2.396,50 km
2	Prince Rupert Port-Tanjung Perak	12.382,18 km
3	Washington Port-Tanjung Perak	16.448,88 km

Tabel 4.3 Data Kapasitas Kapal Yang Digunakan

No.	Nama Kapal	Kapasitas
1	OAC	15.000 MT
2	OAM	15.000 MT
3	OHR	12.000 MT
4	RUBI	6000 MT
5	CAN#01	5000 MT
6	SARIND	12.500 MT
7	OG	17.000 MT
8	EMI	17.000 MT
9	BI	20.000 MT
10	DI	20.000 MT

Tabel 4.4 Data Biaya Sewa Per Hari Kapal Yang Digunakan

No.	Nama Kapal	Biaya Sewa Per Hari (USD)
1	OAC	\$3,000
2	OAM	\$3,000
3	OHR	\$2,700
4	RUBI	\$1,000
5	CAN#01	\$2,800
6	SARIND	\$3,200
7	OG	\$4,000
8	EMI	\$3,000

9	BI	\$3,000
10	DI	\$3,000

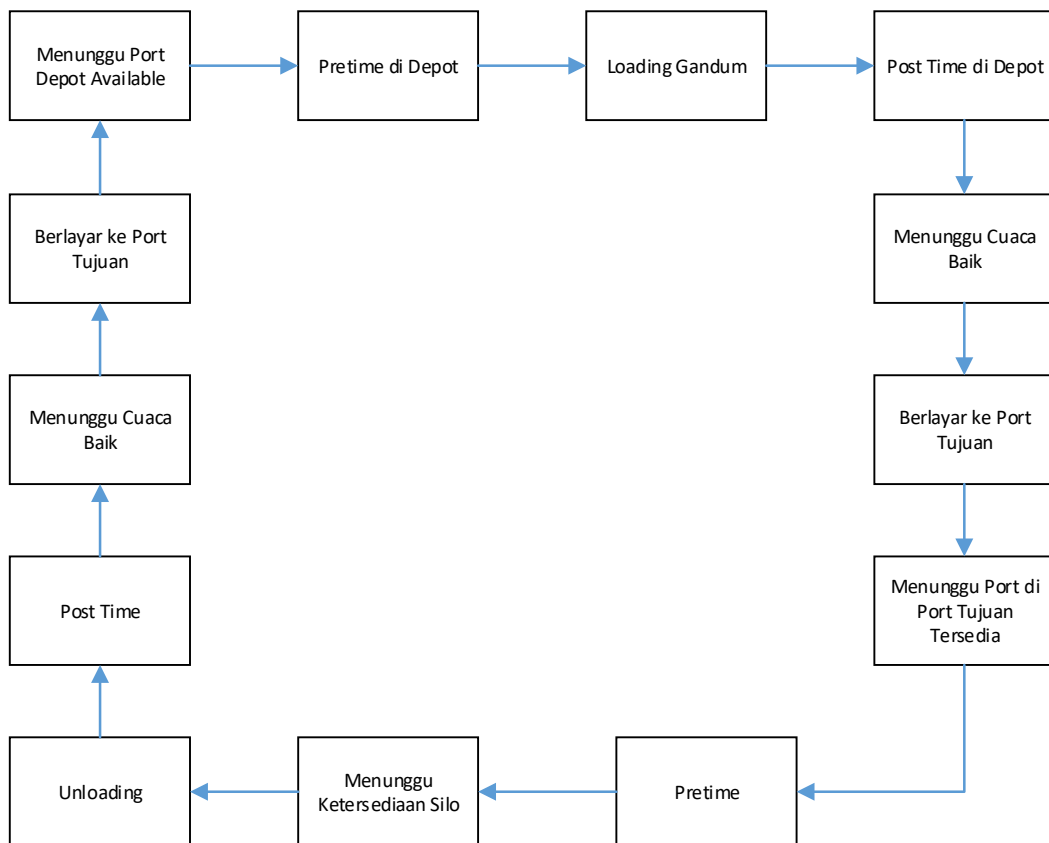
4.2 Pengolahan Data

Pada sub bab ini, data-data yang telah diperoleh diolah untuk menggambarkan performa kondisi eksisting dan mendefenisikan input parameter untuk membangun model. Proses pengolahan data dilakukan dengan melakukan *fitting distribution* pada data-data numerik. *Fitting distribution* merupakan suatu uji hipotesa dengan menentukan dugaan awal bahwa data memiliki distribusi tertentu. Proses *fitting distribution* berfungsi untuk mengetahui distribusi apa yang sesuai pada data numerik tersebut. Nilai distribusi inilah yang akan menjadi input bagi software simulasi diskrit.

Salah satu contoh hasil *fitting distribution* adalah pada data *Pretime* saat *unloading* gandum dari *Port B*. Dari hasil *fitting distribution* diketahui bahwa *Pretime unloading* gandum dari *Port Supply B* adalah berdistribusi normal dengan rata-rata 5.44 jam dan standar deviasi sebesar 0.89. Nilai *corresponding p-value* >0.15 yang menyatakan hasil ini tingkat kepercayaan terbukti secara statistik lebih dari 15%. *Square error* sebesar 0.02 nilainya cukup kecil sehingga hasil ini bisa digunakan sebagai input dalam pembuatan model. Proses *fitting distribution* dilakukan pada seluruh aktivitas kapal pada sistem yang diamati. Distribusi yang dipilih pada disesuaikan dengan distribusi alaminya serta distribusi yang memiliki *square error* terkecil

4.2.1 Siklus Aktivitas Kapal

Aktifitas kapal dapat digambarkan dengan mengklasifikasikan tahap-tahap aktivitas. Pada penelitian ini aktifitas kapal terbagi menjadi 13 tahap yang digambarkan pada gambar 4.3 di bawah ini.



Gambar 4.1 Diagram Aktivitas Kapal

Gambar 4.1 menggambarkan siklus aktivitas kapal dengan penjelasan sebagai berikut :

1. Menunggu *Port Depot*, pada tahap ini kapal menunggu dengan posisi *anchor* di dekat dermaga karena adanya antrian kapal yang masuk ke dermaga.
2. Aktivitas *Pretime* di depot meliputi persiapan berlabuh, instalasi peralatan *loading*, administrasi dan dokumen legal.
3. *Loading* gandum meliputi proses pengisian gandum ke kapal. Durasi proses ini beragam bergantung pada cuaca dan kapasitas kapal.
4. *Post time* di depot meliputi proses pelepasan peralatan *loading*, proses administrasi, dan persiapan berangkat kembali ke depot.
5. Menunggu cuaca baik, proses ini bersifat stokastik bergantung pada kondisi cuaca. Proses ini hanya terjadi apabila kondisi cuaca buruk dan menyebabkan kapal tidak bisa berangkat dengan alasan keamanan. Dari

total 67 jadwal keberangkatan kapal, tercatat 15 jadwal kapal yang tertunda karena cuaca buruk.

6. Berlayar ke *Port* tujuan, tahap ini meliputi perjalanan dari *port* awal menuju *port* tujuan. Durasi perjalanan diperoleh dari data historis perusahaan.
7. Menunggu ketersediaan *port* tujuan, proses ini terjadi saat kapal menunggu dermaga siap untuk menerima kedatangan kapal. Durasi bervariasi bergantung pada kondisi antrian kapal. Semakin banyak antrian kapal maka semakin lama durasinya.
8. *Pretime*, proses ini sama dengan *pretime* pada *port supply* yaitu berkaitan dengan administrasi dan instalasi alat. Namun pada *port* tujuan, *pretime* berkaitan dengan persiapan kapal untuk sandar di dermaga dan peralatan yang di instal adalah untuk tujuan *unloading* gandum ke silo.

Tabel 4.5 Data *Pretime* Sebelum *Unloading* Kapal dari Port B

No	<i>PRETIME</i> (<i>Unloading</i> kapal dari Port B)
1	5.5
2	5.6
3	5
4	6
5	5.8
6	5
7	4.5
8	5.9
9	4.3
10	5.6
11	4.6
12	5
13	6

14	6
15	8
16	4.3

Data tersebut selanjutnya diproses dengan *Input Analyzer* seperti dan diperoleh *norm mean* 5.44 dan standar deviasi 0.89. *Corresponding p-value* >0.15 yang menyatakan hasil ini tingkat kepercayaan terbukti secara statistik lebih dari 15%. *Square error* sebesar 2.20% nilainya cukup kecil sehingga hasil ini bisa digunakan sebagai input dalam pembuatan model.

- Menunggu ketersediaan silo, proses transfer gandum hanya bisa dilakukan apabila terdapat ruang yang cukup dalam silo. Apabila tidak terdapat ruang yang cukup untuk *unloading*, maka harus menunggu kapasitas silo mencapai level maksimum. Untuk menghitung maksimum *inventory level* untuk *unloading* (ILU) menggunakan rumus berikut :

$$ES + DR \times UT = SC \quad (4.1)$$

Dimana :

ES = kapasitas kosong silo (*empty space silo*)

DR = *demand rate*

UT = *unloading time*

SC = *ship capacity*

UR = *unloading rate*

SS = *Silo size*

$$UT = \frac{SC}{UR} \quad (4.2)$$

Persamaan diatas menjadi :

$$ES + dr \times \frac{SC}{UR} = SC \quad (4.3)$$

$$ILU = SS - ES \quad (4.4)$$

$$ILU = SS - SC \left(1 - \frac{DR}{UR}\right) \quad (4.5)$$

Apabila *inventory level* gandum dalam silo lebih tinggi dari ILU maka kapal harus menunggu sampai *inventory* berada dibawah nilai ILU.

10. *Unloading* pada tahap ini adalah proses transfer gandum ke silo yang nantinya akan ditransfer ke produksi sesuai demand dari pihak produksi yang berlangsung selama durasi

$$UT = \frac{SC}{UR}$$

11. *Post Time*, proses ini meliputi uninstal peralatan *unloading*, administrasi dokumen-dokumen, dan surveyor.
12. Menunggu cuaca baik. Kapal hanya bisa berangkat untuk berlayar kembali ke depot apabila cuaca baik. Kejadian terjadinya cuaca buruk bersifat stokastik dan ditentukan dengan *historical probability*.
13. Berlayar kembali ke *port* awal, merupakan tahap akhir dari siklus kapal dimana setelah semua proses selesai kapal akan kembali berlayar ke *port* awal.

4.2.2 Perhitungan Biaya

Adapun biaya yang akan dihitung yaitu biaya transportasi (*shipping cost*). Biaya transportasi adalah biaya sewa kapal untuk periode tertentu. Sistem penyewaan kapal pada penelitian ini berbasis *time-chartered* dengan perhitungan biaya menggunakan rumus berikut :

$$SH = OCR + OCT + FCR + FCT \quad (4.6)$$

Dimana :

SC = *shipping cost*

OCR = *daily off road chartering rate*

OCT = *off road time in days*

FCR = *daily full chartering rate*

FCT = *full chartering time in days*

4.2.3 Service Level

Data *service level* diperoleh dari data historis perusahaan yang digambarkan pada tabel 4.6 di bawah ini.

Tabel 4.6 Data *Service Level* Perusahaan Kondisi Eksisting

Bulan	Total Demand	Fullfill Demand	Service Level
1	75,845	74,500	98.23%
2	90,929	90,929	100.00%
3	74,502	74,502	100.00%
4	71,855	71,855	100.00%
5	78,196	63,500	81.21%
6	77,144	65,200	84.52%
7	91,592	55,000	60.05%
8	82,300	36,750	44.65%
9	79,374	55,290	69.66%
10	67,761	64,500	95.19%
11	61,166	40,779	66.67%
12	82,321	33,500	40.69%
		Average	78.41%

Rumus yang digunakan untuk menentukan *service level* adalah sebagai berikut:

$$\text{Service level} = 1 - \left(\frac{\text{number of cycles with stockout}}{\text{total number of order cycles}} \right) \quad (4.7)$$

4.3 Model Simulasi

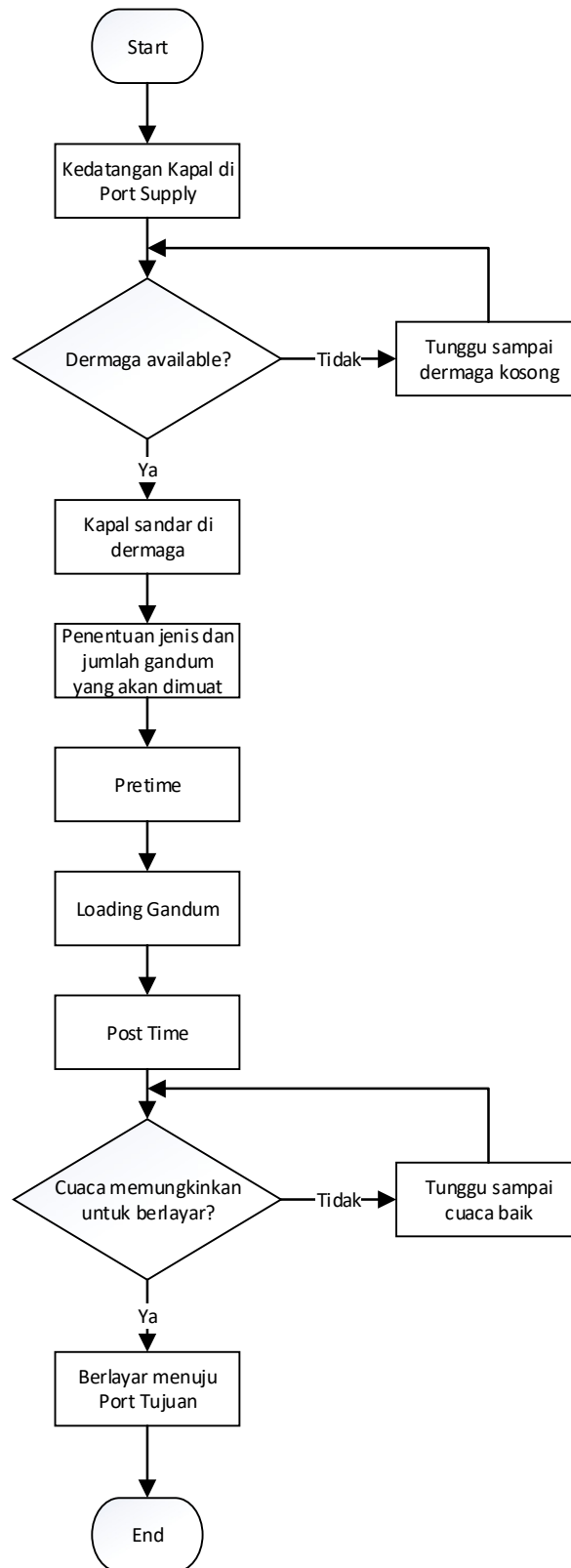
Sub bab ini akan membahas mengenai model simulasi dan tahapan-tahapannya mulai dari pembuatan model konseptual, perancangan model simulasi diskrit, penentuan jumlah replikasi, verifikasi model, validasi model, dan eksperimen.

4.3.1 Model Konseptual

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai model konseptual yang menggambarkan logika dalam model simulasi yang dibuat. Model konseptual dibagi menjadi model konseptual berlayar dari tiap depot menuju *port demand*, model konseptual *unloading* dan transfer gandum ke produksi, model konseptual pemilihan jumlah dan jenis gandum yang diangkut.

4.3.2 Model Konseptual Loading Gandum di Pelabuhan Supply

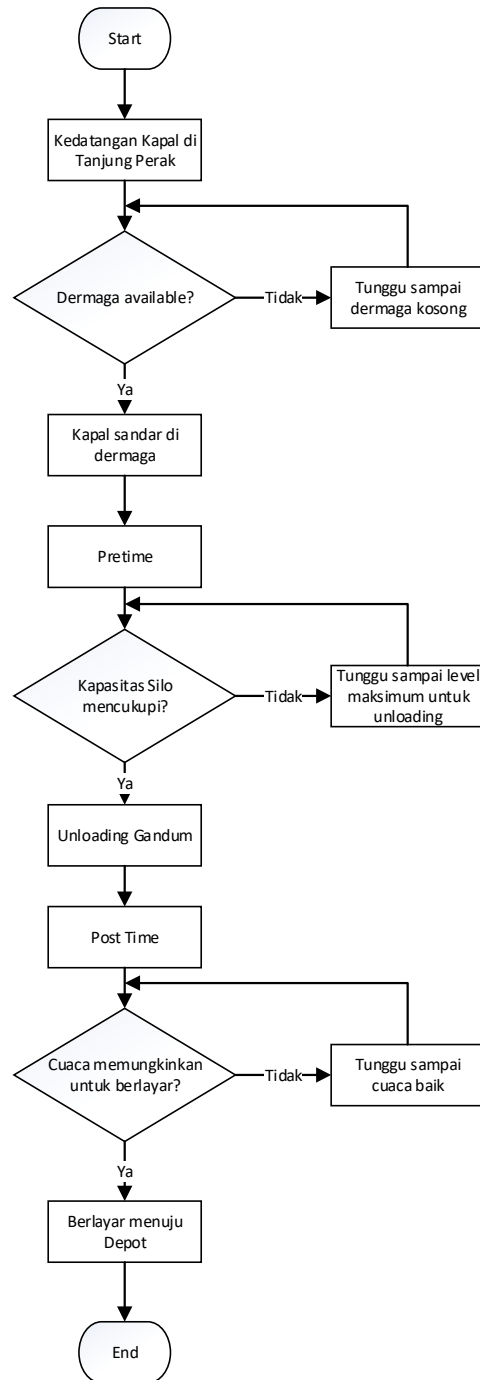
Pada bagian ini berisi penjelasan mengenai proses kapal berlayar dari *Port supply* menuju *Port Demand* pada sistem eksisting yang digambarkan pada diagram berikut.



Gambar 4.2 Alur Proses Loading Gandum di *Port Supply*

4.3.3 Model Konseptual *Unloading* Gandum di Pelabuhan Demand

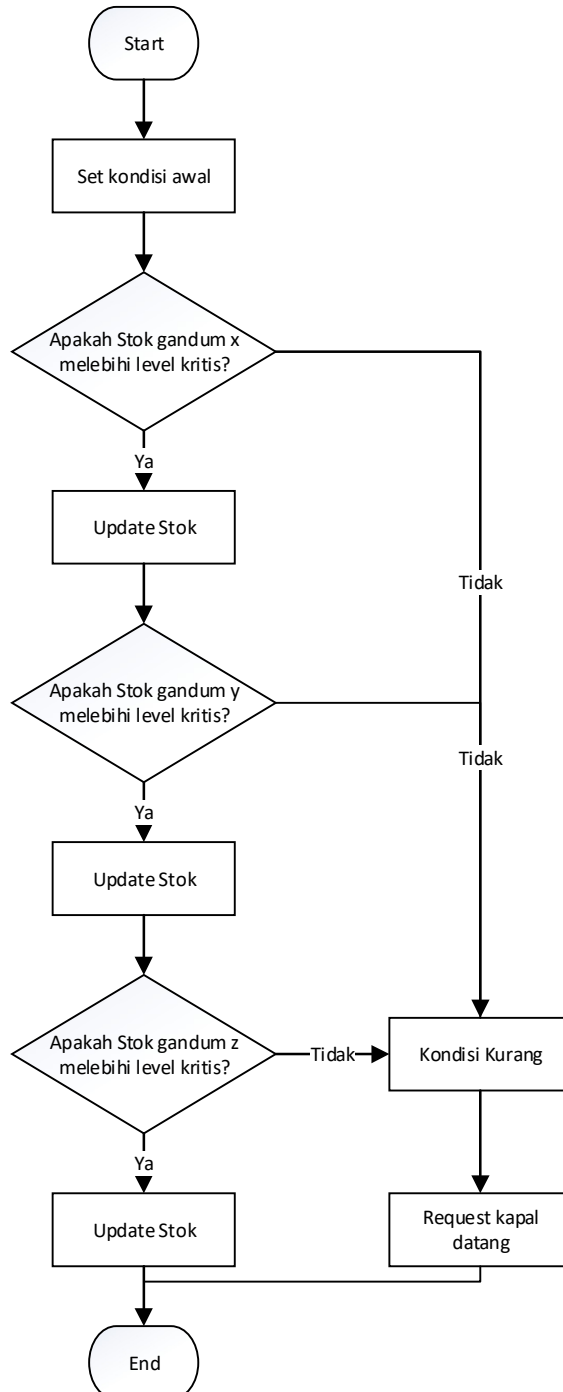
Pada bagian ini berisi penjelasan mengenai proses setelah kapal tiba di *Port Demand* dan proses *unloading* pada sistem eksisting yang digambarkan pada diagram berikut.



Gambar 4.3 Alur Proses Unloading Gandum di *Port Demand*

4.3.4 Model Konseptual *Update Inventory* Pelabuhan *Demand*

Pada bagian ini menjelaskan model konseptual mengenai *update inventory*.



Gambar 4.4 Proses Update *Inventory*

4.3.5 Model Building

Model simulasi dibuat menggunakan software ARENA yang menggambarkan set aktivitas kapal sampai transfer gandum ke produksi. Model ini terdiri dari lima bagian, yang pertama adalah *unloading ship arrival model* yang menggambarkan kedatangan kapal yang membawa gandum. Kedua adalah *tidal window model*, model ini menentukan apakah kapal bisa berlayar atau bersandar yang bergantung pada cuaca. Ketiga adalah *unloading wheat model*, model ini menggambarkan proses penurunan gandum ke silo. Keempat adalah *demand factory model* yang menggambarkan permintaan gandum dari bagian produksi. Kelima adalah *service level model*, model ini untuk menghitung *service level* setiap bulannya.

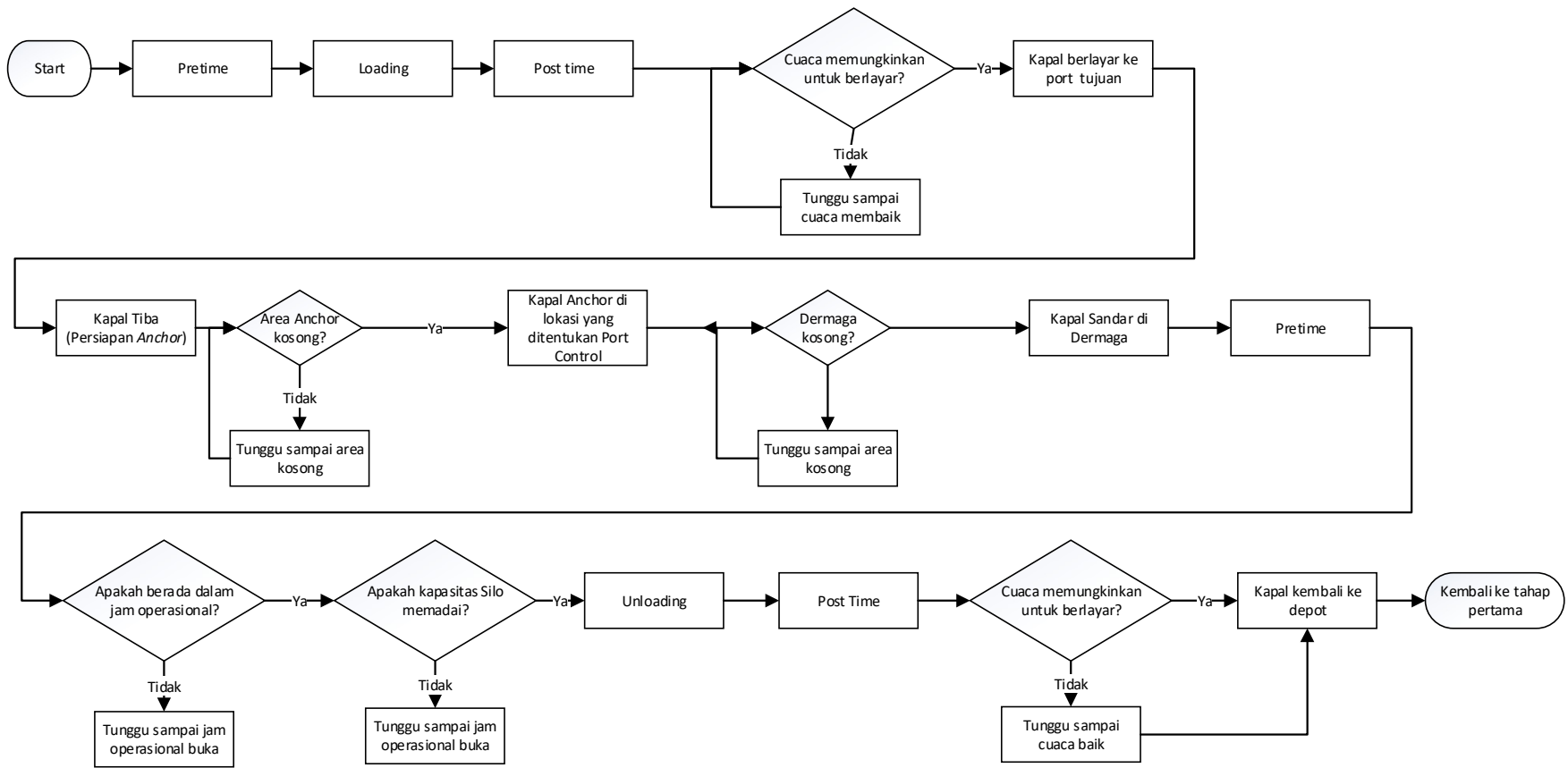
Kapal berangkat dari tiga depot menuju satu pelabuhan tujuan. Pada kondisi sistem saat ini, kapal berangkat ke pelabuhan tujuan kapanpun apabila kapal sudah tersedia di depot. Tidak ada aturan atau prioritas tertentu kapal mana yang harus berangkat terlebih dahulu. Alur aktivitas kapal digambarkan pada gambar 4.7 di bawah ini dengan penjelasan sebagai berikut.

1. Langkah pertama dimulai dengan *generate sailing time* ke pelabuhan tujuan.
2. Setelah kapal tiba, cek apakah kapal bisa masuk ke proses *docking*. Apabila ya maka kapal masuk proses *docking*, apabila tidak maka *hold* sampai cuaca memungkinkan.
3. *Generate* waktu aktivitas *pretime*, lalu masuk ke proses *pretime* kapal.
4. Cek apakah kapasitas silo memungkinkan untuk proses *unloading* gandum. Jika kapasitas silo memungkinkan maka masuk ke proses *unloading*, jika tidak maka tunggu sampai kapasitas silo mencukupi untuk proses *unloading*.
5. Proses *unloading*.
6. *Update inventory* di silo.
7. *Generate* waktu untuk aktivitas *post time* kemudian proses kapal untuk *post time*.

8. Cek apakah cuaca memungkinkan untuk kapal berlayar. Jika ya set kapal kembali berlayar, jika tidak tidak *generate delay time* dan tunda keberangkatan kapal.

9. Berlayar kembali ke pelabuhan *demand/depot*.

Setelah semua tahap dilalui maka order akan terbuang (*disposed*) dari sistem.



Gambar 4.5 Diagram Alir Aktifitas Kapal

4.4 Perhitungan Jumlah Replikasi

Penentuan jumlah replikasi dilakukan untuk mendapatkan hasil simulasi yang akurat karena parameter yang digunakan pada metode simulasi bersifat stokastik dan sifat dari simulasi sendiri. Untuk menghitung jumlah replikasi yang dibutuhkan dimulai dengan mencoba replikasi awal dan menghitung interval estimasi nilai rata-rata populasi atau *half-width* dari sample replikasi yang telah dicoba (Law and Kelton, 2000). Rumus untuk menghitung *half-width* adalah :

$$hw = e = \frac{t_{n-1, 1-\frac{\alpha}{2}} \times \sqrt{\frac{std^2}{n}}}{|\bar{x}|} \quad (4.8)$$

Dimana

t = nilai t diperoleh dari tabel distribusi student's t

α = tingkat error

n = jumlah replikasi

std = standar deviasi populasi

$|\bar{x}|$ = nilai rata-rata

Nilai *service level* digunakan untuk menghitung jumlah replikasi. Pertama ditentukan *running* simulasi dilakukan sebanyak 10 kali replikasi. Hasil dari 10 replikasi terdapat dalam tabel 4.7 berikut.

Tabel 4.7 Output *Running* Awal Penentuan Jumlah Replikasi

Replikasi	<i>Service Level</i>
1	76.03%
2	90.25%
3	81.13%
4	77.83%
5	83.78%
6	64.74%
7	81.38%
8	80.45%
9	75.30%

10	89.49%
----	--------

Nilai α yang digunakan adalah 0.05 atau 5%, maka perhitungan *half-width* adalah sebagai berikut :

$$t =$$

$$\alpha = 0.05$$

$$n = 10$$

$$\text{std} = 0.07366353$$

$$|\bar{x}| = 80.04\%$$

$$hw = \frac{t_{n-1, 1-\frac{\alpha}{2}} \times \sqrt{\frac{\text{std}^2}{n}}}{|\bar{x}|}$$

$$hw = \frac{2.262157 \times \sqrt{\frac{0.07366353^2}{10}}}{80.04\%}$$

$$hw = 0.0658380$$

Melalui perhitungan diperoleh nilai hw sebesar 0.0658380 dimana nilai ini lebih besar dari nilai $\alpha = 0.05$, maka dilakukan perhitungan untuk nilai n' . Perhitungan nilai n' menggunakan rumus berikut:

$$n' = \left| \frac{z_{\left(\frac{\alpha}{2}\right) \times \text{std}}}{\left(\frac{\gamma}{1+\gamma}\right) \bar{x}} \right|^2 \quad (4.9)$$

$$n' = \left| \frac{1.9599639 \times 0.07366353}{\left(\frac{0.05}{1+0.05}\right) 80.04\%} \right|^2$$

$$n' = 14.3497 \approx 15$$

Berdasarkan perhitungan diatas diperoleh nilai replikasi yang dibutuhkan yaitu sebanyak 15. Maka dilakukan percobaan kedua dengan langkah yang sama

seperti percobaan pertama tetapi menggunakan 15 replikasi. Hasil dari 15 replikasi terdapat dalam tabel 4.8 berikut.

Tabel 4.8 *Output Running* Dengan 15 Replikasi

Replikasi	<i>Service Level</i>
1	76.03%
2	90.25%
3	81.13%
4	77.83%
5	83.78%
6	64.74%
7	81.38%
8	80.45%
9	75.30%
10	89.49%
11	94.92%
12	84.13%
13	72.94%
14	82.09%
15	77.90%

Setelah *output running* dengan 15 replikasi didapatkan, selanjutnya dilakukan perhitungan nilai hw dan n' seperti pada percobaan pertama. Pada percobaan kedua didapatkan nilai hw sebesar 0.051 dan nilai n' sebesar $14.38116 \approx 15$. Karena nilai n' sama dengan percobaan 1 maka tidak perlu dilakukan percobaan berikutnya. Jumlah replikasi ini akan digunakan untuk menganalisa *output* model simulasi eksisting dan skenario.

4.5 Verifikasi dan Validasi Model

Model simulasi yang sudah dibuat selanjutnya akan diverifikasi dan divalidasi. Kedua proses ini dilakukan untuk memastikan bahwa model simulasi sudah sesuai dengan kondisi yang sebenarnya.

4.5.1 Verifikasi Model

Verifikasi model dilakukan untuk menentukan apakah model simulasi telah berjalan dengan benar dan sesuai dengan yang diinginkan. Dengan verifikasi dapat diketahui apakah ada *error* di dalam model simulasi, dimana *error* bisa terjadi karena logika model dan informasi tidak konsisten. Verifikasi dilakukan dengan menguji *syntac error* dan *semantic error*. *Syntac error* berupa kesalahan penulisan kode atau notasi yang menyebabkan simulasi tidak berjalan dengan benar. Sedangkan *semantic error* merupakan adalah kesalahan logika pada model. Uji *syntac error* dilakukan dengan *debugging* dengan menekan tombol F4 pada ARENA. Tidak ditemukan eror dalam model simulasi, sehingga model yang dibuat sudah lolos verifikasi.

Verifikasi *semantic error* bisa dilakukan dengan dengan memeriksa kewajaran output beberapa proses simulasi secara terpisah untuk melihat apakah model berjalan sesuai dengan desain awal. Uji verifikasi dilakukan dengan membandingkan hasil pada simulasi dengan hasil perhitungan secara analitis dari perusahaan. *Demand*, *fullfilled demand* dan *Service level* diperiksa dengan membandingkan hasil dari ARENA dengan *service level* dari data perusahaan. Perbandingan *demand*, *fullfilled demand* dan *Service level* antara hasil simulasi dan aktual tertera pada tabel 4.9 di bawah ini.

Tabel 4.9 Perbandingan *demand*, *fullfilled demand* dan *Service level* antara hasil simulasi dan aktual

Bulan	<i>Total Demand</i>		<i>Fullfill Demand</i>		<i>Service Level</i>	
	Aktual	Arena	Aktual	Arena	Aktual	Arena
1	75,845	75,845	74,500	74,396	98%	98%
2	90,929	90,929	90,929	90,929	100%	100%
3	74,502	74,502	74,502	74,502	100%	100%
4	71,855	71,855	71,855	71,855	100%	100%
5	78,196	78,196	63,500	63,265	81%	81%
6	77,144	77,144	65,200	65,090	85%	84%
7	91,592	91,592	55,000	54,566	60%	60%
8	82,300	82,300	36,750	36,350	45%	44%
9	79,374	79,374	55,290	55,290	70%	70%
10	67,761	67,761	64,500	64,873	95%	96%

11	61,166	61,166	40,779	40,779	67%	67%
12	82,321	82,321	33,500	33,736	41%	41%
Average					78%	78%

Dari perbandingan hasil pada tabel diatas dapat dilihat bahwa output dari Arena dapat dikatakan sama. Dengan begitu perhitungan *demand*, *fullfilled demand* dan *Service level* pada model ARENA telah lolos verifikasi.

4.5.2 Validasi Model

Validasi berfungsi untuk memastikan model yang dibuat sesuai dengan sistem yang sebenarnya dimana model dikatakan valid jika hasil model simulasi tidak memiliki perbedaan yang signifikan terhadap hasil kondisi sistem eksisting.

Validasi dilakukan dengan uji hipotesis dua populasi dimana H_0 (*Null Hypothesis*) menyatakan tidak ada perbedaan signifikan antara hasil simulasi dengan sistem nyata, dan sebaliknya H_1 (*alternative hypothesis*) menyatakan bahwa terdapat perbedaan signifikan antara rata rata output hasil simulasi dengan sistem nyata.

Validasi model dilakukan dengan melihat nilai t-stat dan membandingkan dengan nilai *t-critical two tail*. Umumnya semua nilai *t-stat* berada dalam rentang negatif sampai positif dari nilai tersebut, yang berarti bahwa tidak ada perbedaan secara signifikan antara hasil simulasi dan data sebenarnya. Hasil ini memvalidasi model simulasi yang berarti model yang dibuat bisa merepresentasikan sistem yang sebenarnya. Validasi dilakukan dengan membandingkan data *service level* setiap bulan dari perusahaan dengan *service level* hasil simulasi. Nilai tingkat kepercayaan yang digunakan sebesar 95%. Hasil uji dicantumkan pada tabel 4.10 di bawah ini.

Tabel 4.10 Hasil *T-Test: Paired Two Sample for Means*

	<i>Model Eksisting</i>	<i>Hasil Simulasi</i>
Mean	0.784051288	0.800384009
Variance	0.047556537	0.009231968
Observations	12	12
Pearson Correlation	0.72692262	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	11	
t Stat	-0.348706087	
P(T<=t) one-tail	0.366946401	
t Critical one-tail	1.795884819	
P(T<=t) two-tail	0.733892802	
t Critical two-tail	2.20098516	

Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa nilai *t-stat* berada di area penerimaan sehingga H_0 diterima atau output simulasi dan output data historis tidak berbeda secara signifikan. Nilai *P value* = 0.733892802 lebih besar dari nilai taraf kesalahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu 5% atau 0.05 maka H_0 diterima karena terdapat cukup bukti untuk menyatakan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara output model simulasi dengan output sistem eksisting. Secara statistik H_0 dibuktikan benar, hal ini menandakan bahwa hasil simulasi dan sistem sebenarnya tidak berbeda secara signifikan. Hasil validasi ini menandakan bahwa model simulasi yang dibuat bisa merepresentasikan sistem yang sebenarnya dan hasil simulasi lolos uji validasi.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

ANALISA DAN INTERPRETASI

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai hasil simulasi yang dilakukan berdasarkan skenario. Hasil simulasi sebelum skenario dilakukan akan dibandingkan dengan hasil setelah skenario dilakukan. Selain itu akan dilakukan analisis perbandingan dari kombinasi beberapa skenario.

5.1 Eksperimen

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh skenario terbaik yang dapat diterapkan sebagai upaya meningkatkan *service level*. Selain itu akan dilakukan evaluasi dampak dari tiap skenario terhadap biaya. Pada sub bab ini akan dilakukan uji coba terhadap skenario-skenario alternatif yang telah ditentukan.

5.1.1 Kondisi Eksisting

Pada sistem distribusi perusahaan saat ini, jumlah kapal yang digunakan dalam sistem distribusi adalah 10 kapal dengan kapasitas muat yang beragam. Kapal mendistribusikan gandum dari tiga pelabuhan *supply* menuju satu pelabuhan *demand* dengan sistem *dedicated*. Setiap kapal hanya membawa satu jenis gandum tertentu. Enam kapal yang membawa gandum 1 berasal dari *Port supply 1*, 2 kapal yang membawa gandum 2 berasal dari *Port supply 2*, dan 2 kapal yang membawa gandum 3 berasal dari *Port supply 3*. Pada kondisi eksisting, kapal berangkat saat kapal sudah tersedia di depot. Hal ini dikarenakan skema penyewaan kapal yang digunakan oleh perusahaan adalah skema *time charter* sehingga *utilitas* kapal harus dimaksimalkan, karena apabila *utilitas* kapal sedikit akan menimbulkan kerugian bagi perusahaan.

Dari data kondisi eksisting yang dikumpulkan selama satu tahun, diperoleh *service level* sebesar 78.4%. Seperti yang sudah dijelaskan di bab 1 bahwa *service level* mengalami penurunan pada bulan ke 5 dan kembali naik pada bulan ke 10, lalu turun lagi pada bulan ke 11 dan 12. Dari data histori perusahaan diketahui bahwa penurunan *service level* ini dikarenakan adanya keterlambatan

kapal sehingga stok gandum kurang dan tidak bisa memenuhi *demand* dari produksi.

5.1.2 Perancangan Eksperimen

Dalam penelitian ini dilakukan eksperimen faktor pada model simulasi yang telah dibuat. Faktor terdiri dari tiga faktor dasar dan kombinasi faktor. Adapun faktor yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu :

1. Faktor 1 : *Operating Hour Port*. Saat ini pelabuhan *port supply* dapat melayani kapal mulai dari jam 7 pagi sampai jam 7 malam. Dalam faktor ini dilakukan perpanjangan jam kerja pelabuhan menjadi 24 jam dengan tujuan mengurangi waktu tunggu kapal.
2. Faktor 2 : *Reorder Point*. Pada kondisi eksisting, kapal akan berangkat kapanpun kapal siap di depot. Namun pada faktor ini, kapal hanya akan berangkat apabila stok gandum berada pada titik *reorder point*.
3. Faktor 3 : Menambah kapasitas kapal. Penambahan kapasitas secara signifikan akan berpengaruh terhadap kenaikan *service level* karena jumlah gandum yang datang akan lebih banyak sehingga diharapkan *demand* dari produksi akan terpenuhi. Untuk mengetahui jumlah kapasitas yang dapat ditambahkan, dilakukan wawancara dengan departemen terkait di perusahaan.

Desain eskperimen untuk kombinasi faktor dihitung dengan menggunakan *full factorial* yang terdapat pada tabel 5.1 berikut ini :

Tabel 5.1 Desain Eksperimen

No	Faktor	Level	Jumlah Level
1	Operating Hour Port	1 = 12 jam	2
		2 = 24 jam	
2	Reorder Point	1= unlimited	2
		Level 2	
		Gandum 1 45.513 Ton Gandum 2 = 20.032Ton Gandum 3 = 69.609 Ton	
3	Penambahan Kapasitas Kapal	1 = 146.000 MT	3
		2 = 162.000 MT	
		3 = 195.000 MT	
Total jumlah skenario			12
Replikasi			15
Jumlah eksperimen			180

Dimana :

1. Faktor 1 : *Operating Hour Port*, terdiri dari :
 Level 1 : eksisting (12 jam kerja)
 Level 2 : 24 jam kerja
2. Faktor 2 : *Reorder Point*, terdiri dari :
 Level 1 : eksisting (kapal datang kapanpun kapal tersedia di depot)
 Level 2 : pengaplikasian ROP
3. Faktor 3 : Penambahan Kapasitas kapal, terdiri dari :
 Level 1 : eksisting (kapasitas kapal 146.000 mt)
 Level 2 : kapasitas kapal 162.000 mt
 Level 3 : kapasitas kapal 195.000 mt

Ada tiga faktor yang digunakan, dimana faktor satu terdiri dari dua level, faktor dua terdiri dari 2 level dan faktor 3 terdiri dari 3 level yang menghasilkan 12 kombinasi skenario. Dengan menggunakan replikasi sebanyak 15, maka terdapat 180 eksperimen.

5.1.3 Faktor 1 : *Operating Hour Port*

Faktor pertama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah memperpanjang *Operating Hour Port*. Saat ini pelabuhan *port supply* dapat melayani *unloading* kapal mulai dari jam 7 pagi sampai jam 7 malam. Apabila kapal datang diluar jam kerja maka kapal akan menunggu sampai jam kerja dimulai lagi untuk proses *unloading*. Dalam faktor ini dilakukan perpanjangan jam kerja pelabuhan menjadi 24 jam. Penerapan faktor ini akan meningkatkan biaya operasional karena akan menambah jam kerja dan jumlah personel pelabuhan. Dengan menerapkan faktor ini diharapkan dapat mengurangi waktu tunggu kapal. Tabel 5.2 di bawah ini adalah hasil simulasi dari faktor 1.

Tabel 5.2 Hasil Simulasi Faktor 1

Bulan	<i>Total Demand</i>	<i>Fullfill Demand</i>	<i>Service Level</i>
1	81,110	75,977	93.78%
2	78,998	76,317	96.66%
3	80,736	73,338	90.52%
4	77,650	70,646	91.09%
5	78,507	64,218	81.38%
6	78,208	57,918	74.16%
7	77,499	59,686	77.15%
8	78,949	56,456	70.72%
9	84,898	63,459	74.88%
10	79,590	57,705	72.45%
11	78,789	57,011	72.37%
12	76,274	59,487	78.13%
Total	951,207	772,218	81.18%

Total *service level* pada sistem eksisting adalah 78.41%, sementara *service level* hasil penerapan faktor 1 adalah 81.18%, sehingga penerapan faktor pertama memberikan peningkatan *service level* sebesar 2.77%.

5.1.4 Faktor 2 : *Reorder Point*

Faktor kedua yang diterapkan dalam adalah *reorder point* (ROP). Seperti penjelasan pada sub bab sebelumnya bahwa pada kondisi eksisting, kapal akan

berangkat kapanpun kapal siap di depot karena skema penyewaan *time charter* yang digunakan oleh perusahaan sehingga utilitas kapal harus dimaksimalkan. Namun pada skenario ini, kapal akan berangkat apabila stok gandum berada pada titik tertentu. Perhitungan ROP sebagai berikut :

Tabel 5.3 Perhitungan ROP Gandum

Keterangan	Gandum 1	Gandum 2	Gandum 3
<i>Demand</i> terbesar tiap bulan (ton)	30,000	29,000	52,000
Rata-rata <i>demand</i> tiap bulan (ton)	24,567	17,933	36,333
<i>Lead Time</i> (Hari)	47	19	45
<i>Lead Time</i> (Bulan)	1.5666667	0.6333333	1.5
Standar Deviasi	4270.9023	5273.3176	9185.7927
<i>Service Level</i> 95%	95%	95%	95%
<i>Service Factor</i>	1.6448536	1.6448536	1.6448536
<i>Safety Stock</i>	7025.0091	8673.8356	15109.284
ROP	45,513	20,032	69,609

Dari tabel diatas didapatkan ROP untuk setiap gandum. Gandum 1 sebesar 45.513 ton, gandum 2 20.032 ton dan gandum 3 69.609 ton. Penerapan faktor ini diharapkan akan meningkatkan performa pada sistem. Hasil simulasi dari faktor 2 terdapat dalam tabel 5.4 di bawah ini.

Tabel 5.4 Hasil Simulasi Faktor 2

Bulan	Total Demand	Fullfill Demand	Service Level
1	81,110	75,977	93.78%
2	83,384	80,652	96.77%
3	75,685	71,057	93.99%
4	83,114	77,899	93.69%
5	78,563	72,918	91.83%
6	79,953	71,481	89.21%
7	78,657	68,083	86.93%
8	78,593	70,069	89.39%
9	78,603	66,107	84.67%

10	79,869	72,417	90.78%
11	81,344	76,268	94.21%
12	79,010	76,085	96.10%
Total	957,885	879,012	91.77%

Total *service level* pada sistem eksisting adalah 78.41%, sementara *service level* hasil penerapan faktor 2 adalah 91.77%, sehingga penerapan faktor kedua memberikan peningkatan *service level* sebesar 13.36%.

5.1.5 Faktor 3 : Penambahan Kapasitas Kapal

Faktor ketiga yang diterapkan adalah penambahan kapasitas kapal. Penambahan kapasitas secara signifikan akan berpengaruh terhadap kenaikan *service level* karena jumlah gandum yang datang akan lebih banyak sehingga diharapkan *demand* dari produksi akan terpenuhi. Data penambahan kapasitas kapal terdapat pada tabel 5.5 di bawah ini.

Tabel 5.5 Data Penambahan Kapasitas Kapal Faktor 3

No.	Nama Kapal	Kapasitas Eksisting	Penambahan 1	Penambahan 2
1	OAC	15.000 MT	20.000 MT	25.000 MT
2	OAM	15.000 MT	27.000 MT	20.000 MT
3	OHR	12.000 MT	15.000 MT	20.000 MT
4	RUBI	6000 MT	10.000 MT	12.000 MT
5	CAN#01	5000 MT	7000 MT	10.000 MT
6	SARIND	12.500 MT	15.000 MT	17.000 MT
7	OG	17.000 MT	20.000 MT	22.000 MT
8	EMI	17.000 MT	20.000 MT	25.000 MT

9	BI	20.000 MT	23.000 MT	27.000 MT
10	DI	20.000 MT	22.000 MT	25.000 MT

Dari hasil wawancara dengan pihak terkait di perusahaan, diputuskan bahwa faktor penambahan kapasitas kapal ini ada dua jenis, yang pertama (level 2) menambah kapasitas kapal total menjadi 162.000 *metric ton* dan yang kedua (level 3) menjadi 195.000 *metric ton*.

Hasil simulasi dari faktor ketiga (level 2 dan level 3) terdapat dalam tabel 5.6 dan tabel 5.7 di bawah ini.

Tabel 5.6 Data Penambahan Kapasitas Kapal Faktor 3 (level 2)

Bulan	Total Demand	Fullfill Demand	Service Level
1	79,608	74,885	94.25%
2	81,637	78,246	95.89%
3	81,258	68,909	84.73%
4	84,261	72,617	85.91%
5	80,498	70,205	86.77%
6	74,709	64,929	86.39%
7	77,559	62,673	79.82%
8	78,006	69,447	89.19%
9	76,059	58,819	76.99%
10	79,691	61,799	77.34%
11	79,020	59,542	75.15%
12	80,080	62,864	78.65%
Total	952,386	804,936	84.52%

Dari tabel diatas dapat terlihat bahwa total *service level* hasil penerapan faktor 3 level 2 adalah 84.52%, sehingga penerapan faktor kedua memberikan peningkatan *service level* sebesar 6.11%.

Tabel 5.7 Data Penambahan Kapasitas Kapal Faktor 3 (level 3)

Bulan	Total Demand	Fullfill Demand	Service Level
1	81,110	75,977	93.78%
2	78,998	77,945	98.67%

3	80,736	76,318	94.53%
4	77,494	75,674	97.65%
5	78,507	69,363	88.35%
6	78,208	63,354	81.41%
7	77,499	67,627	87.26%
8	78,949	63,333	80.22%
9	84,898	70,442	82.97%
10	79,590	63,385	79.64%
11	78,789	64,963	82.45%
12	76,274	68,104	89.29%
Total	951,051	836,485	88.02%

Dari tabel diatas dapat terlihat bahwa total *service level* hasil penerapan faktor 3 level 3 adalah 88.02%, sehingga penerapan faktor kedua memberikan peningkatan *service level* sebesar 9.61%. Perubahan *service level* dari semua faktor terdapat dalam tabel 5.8 di bawah ini.

Tabel 5.8 Perubahan *Service Level* Dari Semua Faktor

Faktor	<i>Service level</i>		Perubahan
	Faktor	Eksisting	
1	81.18%	78.41%	2.77%
2	91.77 %	78.41%	13.36%
3 (level 2)	84.52%	78.41%	6.11%.
3 (level 3)	88.02%	78.41%	9.61%

Dari tabel 5.8 dapat terlihat bahwa seluruh faktor yang diterapkan mampu meningkatkan *service level*. Faktor dengan peningkatan *service level* tertinggi adalah faktor 2 yaitu penerapan *reorder point* mampu menaikkan *service level* sebanyak 13.36%, yang kedua adalah faktor 3 (level 3) yaitu penambahan kapasitas kapal mampu menaikkan *service level* sebanyak 9.61%. Yang ketiga adalah faktor 3 (level 3) mampu menaikkan *service level* sebanyak 6.11%. Keempat adalah faktor 1 penambahan *operating hour port*, mampu menaikkan *service level* sebesar 2.77%.

5.1.6 Kombinasi Skenario

Setelah simulasi faktor dasar dilakukan, selanjutnya dilakukan kombinasi beberapa faktor menghasilkan 12 skenario. *Service level* dari kombinasi faktor dapat dilihat pada tabel 5.9 di bawah ini.

Tabel 5.9 Hasil Kombinasi Faktor

Skenario	Faktor 1 (<i>Operating Hour Port</i>)	Faktor 2 (<i>Reorder Point</i>)	Faktor 3 (Kapasitas Kapal)	<i>Service level</i>
1	1	1	1	81.13%
2	1	1	2	84.52%
3	1	1	3	88.02%
4	1	2	1	91.77%
5	1	2	2	88.58%
6	1	2	3	86.90%
7	2	1	1	81.18%
8	2	1	2	85.55%
9	2	1	3	77.50%
10	2	2	1	92.36%
11	2	2	2	88.68%
12	2	2	3	86.00%

Dari tabel 5.9 dapat diketahui bahwa *service level* tertinggi diperoleh dari kombinasi faktor nomor 10 yaitu penambahan jam operasi pelabuhan menjadi 24 jam, pengaplikasian ROP dan kapasitas kapal sebesar 146.000 mt mampu meningkatkan *service level* sebesar 13.95% dari *service level* eksisting.

5.2 Uji One-way Anova

Skenario terbaik dipilih dari eksperimen yang telah dilakukan terhadap performance measurement atau parameter yang telah ditentukan. Namun sebelum itu akan dilakukan perbandingan faktor-faktor yang ada dengan menggunakan metode *One-Way ANOVA*. *One-Way Anova* adalah teknik statistik yang digunakan untuk membandingkan rata-rata lebih dari dua kelompok. Ini menguji hipotesis nol bahwa sampel dalam kelompok yang berbeda tersebut diambil dari populasi yang sama. Pada penelitian ini uji anova dilakukan untuk

membandingkan rata-rata *service level* pada setiap hasil simulasi dari 12 skenario.

Uji anova pada penelitian ini menguji hipotesis matematis sebagai berikut.

$$H_0 : \mu_{111} = \mu_{112} = \mu_{113} = \mu_{121} = \mu_{122} = \mu_{123} = \mu_{211} = \mu_{212} = \mu_{213} = \mu_{221} = \mu_{222} = \mu_{223}$$

H1 : Terdapat minimal 1 μ_i yang berbeda

Apabila hipotesis 0 ditolak, maka tes *post hoc* digunakan untuk mendapatkan gambaran yang benar mengenai kelompok mana yang berbeda signifikan (Verma, 2012). Pengambilan keputusan dilihat berdasarkan nilai *p-value* atau nilai sig. Pada output SPSS. Apabila nilai sig. < taraf kesalahan (α) yaitu 0.05 maka H0 ditolak dan sebaliknya apabila nilai sig. > taraf kesalahan (α) yaitu 0.05 maka H0 diterima. Hasil uji anova terdapat dalam tabel 5.10 sebagai berikut.

Tabel 5.10 Uji ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2583.640	11	234.876	4.205	0.000
Within Groups	7372.693	132	55.854		
Total	9956.333	143			

Berdasarkan tabel 5. dapat dilihat bahwa nilai *p-value* yang dihasilkan adalah lebih kecil dari 0.05, sehingga H₀ ditolak yang berarti bahwa terdapat minimal 1 *service level* yang berbeda. Untuk itu perlu dilakukan uji Post Hoc untuk mengetahui *service level* mana yang memiliki perbedaan signifikan. Uji *Post Hoc* atau dapat disebut sebagai uji perbandingan ganda dilakukan dengan prosedur uji Tukey. Uji Tukey dilakukan untuk menguji hipotesis sebagai berikut.

$$H_0 : \mu_i = \mu_j$$

$$H_1 : \mu_i \neq \mu_j$$

Tabel 5.11 Uji *Post Hoc* dengan Prodesur Tukey.

Skenario (I)	Skenario (J)	<i>Mean Difference (I-J)</i>	<i>Std. Error</i>	Sig.	Keterangan
111	112	-3.14333	3.05106	0.997	Tidak berbeda signifikan
	113	-6.90500	3.05106	0.508	Tidak berbeda signifikan
	121	-10.66583*	3.05106	0.030	Berbeda signifikan
	122	-7.76500	3.05106	0.322	Tidak berbeda signifikan
	123	-5.94917	3.05106	0.726	Tidak berbeda signifikan
	211	0.00583	3.05106	1.000	Tidak berbeda signifikan
	212	-4.12583	3.05106	0.970	Tidak berbeda signifikan
	213	3.41750	3.05106	0.993	Tidak berbeda signifikan
	221	-11.19417*	3.05106	0.018	Berbeda signifikan
	222	-7.75750	3.05106	0.324	Tidak berbeda signifikan
	223	-5.00667	3.05106	0.890	Tidak berbeda signifikan
112	111	3.14333	3.05106	0.997	Tidak berbeda signifikan
	113	-3.76167	3.05106	0.985	Tidak berbeda signifikan
	121	-7.52250	3.05106	0.371	Tidak berbeda signifikan
	122	-4.62167	3.05106	0.934	Tidak berbeda signifikan
	123	-2.80583	3.05106	0.999	Tidak berbeda signifikan
	211	3.14917	3.05106	0.997	Tidak berbeda signifikan
	212	-0.98250	3.05106	1.000	Tidak berbeda signifikan
	213	6.56083	3.05106	0.588	Tidak berbeda signifikan
	221	-8.05083	3.05106	0.269	Tidak berbeda signifikan
	222	-4.61417	3.05106	0.935	Tidak berbeda signifikan

	223	-1.86333	3.05106	1.000	Tidak berbeda signifikan
113	111	6.90500	3.05106	0.508	Tidak berbeda signifikan
	112	3.76167	3.05106	0.985	Tidak berbeda signifikan
	121	-3.76083	3.05106	0.985	Tidak berbeda signifikan
	122	-0.86000	3.05106	1.000	Tidak berbeda signifikan
	123	0.95583	3.05106	1.000	Tidak berbeda signifikan
	211	6.91083	3.05106	0.506	Tidak berbeda signifikan
	212	2.77917	3.05106	0.999	Tidak berbeda signifikan
	213	10.32250*	3.05106	0.043	Berbeda signifikan
	221	-4.28917	3.05106	0.960	Tidak berbeda signifikan
	222	-0.85250	3.05106	1.000	Tidak berbeda signifikan
	223	1.89833	3.05106	1.000	Tidak berbeda signifikan
	121	111	10.66583*	3.05106	0.030
112		7.52250	3.05106	0.371	Tidak berbeda signifikan
113		3.76083	3.05106	0.985	Tidak berbeda signifikan
122		2.90083	3.05106	0.998	Tidak berbeda signifikan
123		4.71667	3.05106	0.925	Tidak berbeda signifikan
211		10.67167*	3.05106	0.030	Berbeda signifikan
212		6.54000	3.05106	0.593	Tidak berbeda signifikan
213		14.08333*	3.05106	0.001	Berbeda signifikan
221		-0.52833	3.05106	1.000	Tidak berbeda signifikan
222		2.90833	3.05106	0.998	Tidak berbeda signifikan
223		5.65917	3.05106	0.784	Tidak berbeda signifikan
122	111	7.76500	3.05106	0.322	Tidak berbeda

					signifikan
	112	4.62167	3.05106	0.934	Tidak berbeda signifikan
	113	0.86000	3.05106	1.000	Tidak berbeda signifikan
	121	-2.90083	3.05106	0.998	Tidak berbeda signifikan
	123	1.81583	3.05106	1.000	Tidak berbeda signifikan
	211	7.77083	3.05106	0.321	Tidak berbeda signifikan
	212	3.63917	3.05106	0.989	Tidak berbeda signifikan
	213	11.18250*	3.05106	0.018	Berbeda signifikan
	221	-3.42917	3.05106	0.993	Tidak berbeda signifikan
	222	0.00750	3.05106	1.000	Tidak berbeda signifikan
	223	2.75833	3.05106	0.999	Tidak berbeda signifikan
123	111	5.94917	3.05106	0.726	Tidak berbeda signifikan
	112	2.80583	3.05106	0.999	Tidak berbeda signifikan
	113	-0.95583	3.05106	1.000	Tidak berbeda signifikan
	121	-4.71667	3.05106	0.925	Tidak berbeda signifikan
	122	-1.81583	3.05106	1.000	Tidak berbeda signifikan
	211	5.95500	3.05106	0.724	Tidak berbeda signifikan
	212	1.82333	3.05106	1.000	Tidak berbeda signifikan
	213	9.36667	3.05106	0.101	Tidak berbeda signifikan
	221	-5.24500	3.05106	0.856	Tidak berbeda signifikan
	222	-1.80833	3.05106	1.000	Tidak berbeda signifikan
211	111	-0.00583	3.05106	1.000	Tidak berbeda

					signifikan
	112	-3.14917	3.05106	0.997	Tidak berbeda signifikan
	113	-6.91083	3.05106	0.506	Tidak berbeda signifikan
	121	-10.67167*	3.05106	0.030	Berbeda signifikan
	122	-7.77083	3.05106	0.321	Tidak berbeda signifikan
	123	-5.95500	3.05106	0.724	Tidak berbeda signifikan
	212	-4.13167	3.05106	0.970	Tidak berbeda signifikan
	213	3.41167	3.05106	0.993	Tidak berbeda signifikan
	221	-11.20000*	3.05106	0.017	Berbeda signifikan
	222	-7.76333	3.05106	0.322	Tidak berbeda signifikan
	223	-5.01250	3.05106	0.890	Tidak berbeda signifikan
212	111	4.12583	3.05106	0.970	Tidak berbeda signifikan
	112	0.98250	3.05106	1.000	Tidak berbeda signifikan
	113	-2.77917	3.05106	0.999	Tidak berbeda signifikan
	121	-6.54000	3.05106	0.593	Tidak berbeda signifikan
	122	-3.63917	3.05106	0.989	Tidak berbeda signifikan
	123	-1.82333	3.05106	1.000	Tidak berbeda signifikan
	211	4.13167	3.05106	0.970	Tidak berbeda signifikan
	213	7.54333	3.05106	0.367	Tidak berbeda signifikan
	221	-7.06833	3.05106	0.470	Tidak berbeda signifikan
	222	-3.63167	3.05106	0.989	Tidak berbeda signifikan
	223	-0.88083	3.05106	1.000	Tidak berbeda signifikan
213	111	-3.41750	3.05106	0.993	Tidak berbeda signifikan

	112	-6.56083	3.05106	0.588	Tidak berbeda signifikan
	113	-10.32250*	3.05106	0.043	Berbeda signifikan
	121	-14.08333*	3.05106	0.001	Berbeda signifikan
	122	-11.18250*	3.05106	0.018	Berbeda signifikan
	123	-9.36667	3.05106	0.101	Tidak berbeda signifikan
	211	-3.41167	3.05106	0.993	Tidak berbeda signifikan
	212	-7.54333	3.05106	0.367	Tidak berbeda signifikan
	221	-14.61167*	3.05106	0.000	Berbeda signifikan
	222	-11.17500*	3.05106	0.018	Berbeda signifikan
	223	-8.42417	3.05106	0.209	Tidak berbeda signifikan
221	111	11.19417*	3.05106	0.018	Berbeda signifikan
	112	8.05083	3.05106	0.269	Tidak berbeda signifikan
	113	4.28917	3.05106	0.960	Tidak berbeda signifikan
	121	0.52833	3.05106	1.000	Tidak berbeda signifikan
	122	3.42917	3.05106	0.993	Tidak berbeda signifikan
	123	5.24500	3.05106	0.856	Tidak berbeda signifikan
	211	11.20000*	3.05106	0.017	Berbeda signifikan
	212	7.06833	3.05106	0.470	Tidak berbeda signifikan
	213	14.61167*	3.05106	0.000	Berbeda signifikan
	222	3.43667	3.05106	0.993	Tidak berbeda signifikan
	223	6.18750	3.05106	0.674	Tidak berbeda signifikan
222	111	7.75750	3.05106	0.324	Tidak berbeda signifikan
	112	4.61417	3.05106	0.935	Tidak berbeda signifikan
	113	0.85250	3.05106	1.000	Tidak berbeda signifikan
	121	-2.90833	3.05106	0.998	Tidak berbeda signifikan
	122	-0.00750	3.05106	1.000	Tidak berbeda

					signifikan
	123	1.80833	3.05106	1.000	Tidak berbeda signifikan
	211	7.76333	3.05106	0.322	Tidak berbeda signifikan
	212	3.63167	3.05106	0.989	Tidak berbeda signifikan
	213	11.17500*	3.05106	0.018	Berbeda signifikan
	221	-3.43667	3.05106	0.993	Tidak berbeda signifikan
	223	2.75083	3.05106	0.999	Tidak berbeda signifikan
223	111	5.00667	3.05106	0.890	Tidak berbeda signifikan
	112	1.86333	3.05106	1.000	Tidak berbeda signifikan
	113	-1.89833	3.05106	1.000	Tidak berbeda signifikan
	121	-5.65917	3.05106	0.784	Tidak berbeda signifikan
	122	-2.75833	3.05106	0.999	Tidak berbeda signifikan
	123	-0.94250	3.05106	1.000	Tidak berbeda signifikan
	211	5.01250	3.05106	0.890	Tidak berbeda signifikan
	212	0.88083	3.05106	1.000	Tidak berbeda signifikan
	213	8.42417	3.05106	0.209	Tidak berbeda signifikan
	221	-6.18750	3.05106	0.674	Tidak berbeda signifikan
	222	-2.75083	3.05106	0.999	Tidak berbeda signifikan

Berdasarkan tabel 5.11 Diatas dapat dilihat bahwa terdapat beberapa skenario dengan rata-rata *service level* yang saling berbeda signifikan (nilai *p-value* atau sig. < 0.05).

5.3 Analisis Skenario Terhadap Biaya

Trade off antara *service level* dengan biaya sudah merupakan hal yang lazim dalam logistik apalagi jika level *inventory* yang ada bergantung pada *supply* dan *demand* yang tidak pasti. Pada umumnya level *inventory* yang tinggi akan menyebabkan biaya yang tinggi dan begitu juga sebaliknya. Dalam suatu sistem distribusi, pada umumnya akan terlihat hubungan yang kuat serta *trade off* antara *service level* dan biaya yang perlu dikeluarkan oleh perusahaan. Pada skenario yang diuji, umumnya jika biaya logistik dinaikkan, maka akan berpengaruh pada naiknya *service level* perusahaan. Namun dalam penelitian ini, akan diusahakan bagaimana memilih skenario dengan *service level* yang tinggi namun biaya yang ekonomis bagi perusahaan (Frota Neto, et al., 2008).

Pada bagian ini dilakukan analisis dampak masing-masing skenario terhadap biaya. Skenario pertama yaitu penambahan jam operasi pelabuhan berdampak pada penambahan personel yang bertugas sehingga mengakibatkan peningkatan biaya. Skenario kedua yaitu pengaplikasian ROP tidak mengakibatkan penambahan biaya dikarenakan skenario ini hanya mengubah jadwal keberangkatan kapal dimana pada kondisi eksisting kapal berangkat dari depo kapanpun kapal tersedia. Pengaplikasian ROP pada skenario 2 ini, mengakibatkan kapal berangkat ketika stok gandum pada silo mencapai titik tertentu. Skenario ketiga yaitu penambahan kapasitas kapal mengakibatkan penambahan biaya dikarenakan adanya peraturan pada kontrak dengan perusahaan kapal bahwa setiap penambahan 1000 mt gandum, perusahaan akan membayar sebesar \$5000 USD. Adapun dampak tiap skenario terhadap biaya terdapat dalam tabel 5.12 berikut.

Tabel 5.12 Biaya Untuk Setiap Faktor

Keterangan Per Tahun		Biaya (USD)	Kenaikan Biaya (USD)
Kondisi Eksisting		\$10,439,000	-
Faktor 1	<i>Operating Hour Port</i>	\$10,463,828	\$24,828
Faktor 2	<i>Reorder Point</i>	\$0	\$0
Faktor 3 level 2	Penambahan Kapasitas kapal	\$10,5190,000	\$80,000
Faktor 3 level 3	Penambahan Kapasitas kapal	\$10,738,000	\$245,000

Dari tabel 5.10 diketahui bahwa biaya pada kondisi eksisting adalah \$10,439,000. Faktor 2 tidak mengakibatkan biaya tambahan sama sekali, skenario pertama mengakibatkan penambahan biaya sebesar \$24.828. Faktor dengan peningkatan biaya terbesar adalah Faktor 3 (kapasitas kapal 162.000 mt) yaitu \$80.000 dan (kapasitas kapal 195.000 mt) \$245.000.

Data perbandingan *service level* dan biaya ditampilkan pada tabel 5.13 di bawah ini.

Tabel 5.13 Data Perbandingan *Service Level* Dan Biaya

Skenario	Faktor 1 (<i>Operating Hour Port</i>)	Faktor 2 (<i>Reorder Point</i>)	Faktor 3 (Kapasitas kapal)	<i>Service level</i>	Biaya
1	1	1	1	81.13%	\$10,439,000
2	1	1	2	84.52%	\$10,519,000
3	1	1	3	88.02%	\$10,684,000
4	1	2	1	91.77%	\$10,439,000
5	1	2	2	88.58%	\$10,519,000
6	1	2	3	86.90%	\$10,684,000
7	2	1	1	81.18%	\$10,463,828
8	2	1	2	85.55%	\$10,543,828
9	2	1	3	77.50%	\$10,708,828
10	2	2	1	92.36%	\$10,463,828
11	2	2	2	88.68%	\$10,543,828
12	2	2	3	86.00%	\$10,708,828

Dari tabel 5.13 di atas dapat dilihat bahwa kombinasi skenario nomor 10 menghasilkan *service level* tertinggi. Kombinasi skenario nomor 10 adalah kombinasi antara penambahan jam operasi pelabuhan menjadi 24 jam, pengaplikasian ROP dan kapasitas kapal sebesar 146.000 mt dengan *service level*

sebesar 92.36% atau naik sebesar 13.95% dari *service level* eksisting dengan jumlah biaya \$10,463,828.

Sementara itu biaya terendah dihasilkan oleh skenario 2 yaitu pengaplikasian ROP dengan biaya sebesar \$10,439,000 dan *service level* sebesar 91.77%.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab 6 ini akan dijelaskan mengenai kesimpulan dari hasil penelitian tesis dan saran yang berkaitan dengan hasil penelitian tugas akhir dan jugabagi penelitian selanjutnya.

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penelitian ini mengembangkan rancangan model dengan mengevaluasi tiga skenario yang mampu meningkatkan *service level* yaitu jam operasi pelabuhan, penetapan *reorder point*, dan penambahan kapasitas kapal. Sistem eksisting bisa diperbaiki dan ditingkatkan dengan mengimplementasikan kombinasi dari beberapa skenario.
2. Skenario yang paling berpengaruh terhadap *service level* adalah skenario 2 yaitu *reorder point*, mampu meningkatkan *service level* sebanyak 13.36%, yang kedua adalah skenario 3 (level 3) yaitu penambahan kapasitas kapal mampu menaikkan *service level* sebanyak 9.61%. Yang ketiga adalah skenario 3 (level 2) mampu menaikkan *service level* sebanyak 6.11%. Keempat adalah skenario 1 penambahan *operating hour port*, mampu menaikkan *service level* sebesar 2.77%. Kombinasi skenario yang paling berpengaruh terhadap *service level* adalah kombinasi skenario nomor 10 yaitu penambahan jam operasi pelabuhan menjadi 24 jam, pengaplikasian ROP dan kapasitas kapal sebesar 146.000 mt mampu meningkatkan *service level* sebesar 13.95%.
3. Faktor 2 tidak mengakibatkan biaya tambahan sama sekali, faktor pertama mengakibatkan penambahan biaya sebesar \$24.828. Faktor dengan peningkatan biaya terbesar adalah skenario 3 (kapasitas kapal 162.000 mt) yaitu \$80.000 dan (kapasitas kapal 195.000 mt) \$245.000.

4. Penelitian ini mampu memperlihatkan *trade off* antara biaya dan *service level*. Ketika *service level* naik maka diikuti oleh kenaikan biaya, dan penurunan *service level* juga diikuti oleh penurunan biaya. Pada skenario dengan *service level* tertinggi, kenaikan *service level* sebesar 13.95% diikuti kenaikan biaya sebesar \$2,172 USD.

6.2 Saran

Dari hasil penelitian ini, adapun saran yang dapat diberikan bagi penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut

1. Saran bagi pihak perusahaan, untuk meningkatkan *service level* sebaiknya memilih penerapan kombinasi skenario nomor 10 yaitu kombinasi antara penambahan jam operasi pelabuhan menjadi 24 jam, pengaplikasian ROP dan kapasitas kapal sebesar 146.000 mt, dengan *service level* sebesar 92.36% atau naik sebesar 13.95% dari *service level* eksisting dengan jumlah biaya \$10,463,828. Dan apabila perusahaan menginginkan peningkatan *service level* namun dengan biaya yang rendah maka perusahaan sebaiknya memilih skenario 2 yaitu pengaplikasian ROP dengan jumlah biaya sebesar \$10,439,000 dan *service level* sebesar 91.77%.
2. Penelitian ini hanya menganalisa tiga skenario yaitu yaitu jam operasi pelabuhan, penetapan *reorder point*, dan penambahan kapasitas kapal. Penelitian selanjutnya bisa menganalisa skenario tambahan misalnya penambahan kecepatan proses *loading* dan *unloading* gandum yang diharapkan mampu meningkatkan *service level*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Khayyal, F., & Hwang, S.-J. (2007), "Inventory constrained maritime routing and scheduling for multi-commodity liquid bulk, Part I: Applications and model", *European Journal of Operational Research*, Vol. 176, No.1, pp. 106-130. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.06.047>
- Christiansen, M., Fagerholt, K., Flatberg, T., Haugen, Ø., Kloster, O., & Lund, E. H. (2011). Maritime inventory routing with multiple products : A case study from the cement industry. *European Journal of Operational Research*, 208(1), 86–94. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2010.08.023>
- Christiansen, M., Fagerholt, K., Nygreen, B., & Ronen, D. (2013). Ship routing and scheduling in the new millennium. *European Journal of Operational Research*, 228(3), 467–483. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.12.002>
- Chopra, S., & Meindl, P. (2007). *Supply Chain Management. Strategy, planning & Operation*: Springer.
- Coelho, L. C., & Laporte, G. (2012). Computers & Operations Research The inventory-routing problem with transshipment, 39, 2537–2548. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2011.12.020>
- Dauzère-Pérès, S., Nordli, A., Olstad, A., Haugen, K., Koester, U., Per Olav, M. (2007), "Omya Hustadmarmor optimizes its supply chain for delivering calcium carbonate to European paper manufacturers", *Interfaces*, Vol. 37, No. 1, pp. 39-51. <https://doi.org/10.1287/inte.1060.0276>
- Daelenbach, H. G. & McNickle, D. C., 2005. *Management Science: Decision Making Through System Thinking*. 1st ed. New York: Palgrave Macmillan.
- Duclos, L. K., Vokurka, R. J., & Lummus, R. R. (2003). A conceptual model of supply chain flexibility A conceptual model of supply chain flexibility. <https://doi.org/10.1108/02635570310480015>
- Engbrethsen, E. (2018). PT US CR. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.11.067>
- Coelho, L. C., & Laporte, G. (2012). Computers & Operations Research The

- inventory-routing problem with transshipment, 39, 2537–2548.
<https://doi.org/10.1016/j.cor.2011.12.020>
- Harrel, C., Ghosh, B.K. & Bowden, R. O., 2000. *Simulation Using Promodel*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill.
- Hwang, S., 2005. Inventory Constrained Maritime Routing and Scheduling for Multi-Commodity Liquid Bulk, Georgia: s.n.
- Kakiyai, T. J., 2004. *Dasar Teori Antrian Untuk Kehidupan Nyata*. Yogyakarta: ANDI.
- Karlin, S. (1960). Dynamic Inventory Policy with Varying Stochastic Demands. *Management Science*, 6(3), 231–258. <https://doi.org/10.1287/mnsc.6.3.231>
- Gudheus, T., & Kotzab, H. (2009). *Comprehensive Logistics*. S.l.: Springer.
- Kelton, W.D., Sadowski, R.P. & Sadowski, D.A., 2000. *Simulation With Arena*. 2nd ed. Boston: McGraw Hill.
- Law, A. M. & Kelton, W.D., 2000. *Simulation Modelling and Analysis*. 3rd ed. New York: McGraw-Hill.
- Natarajathinam, M., Stacey, J., & Sox, C. (2012). Near-optimal heuristics and managerial insights for the storage constrained, inbound inventory routing problem. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 42(2), 152–173. doi:10.1108/09600031211219663
- Nyoman Pujawan, Mansur Maturidi, Arief Benny Tjahjono, Duangpun Kritchanai, (2015), "An integrated shipment planning and storage capacity decision under uncertainty: a simulation study", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 45 Iss 9/10 pp. Permanent link to this document: <http://dx.doi.org/10.1108/IJPDLM-08-2014-0198>
- Montgomery, D. C., Runger, G. C., & Hubele, N.F. (2011). *Engineering Statistics*: Wiley.
- Panayides, M. P., (2006). Maritime Logistics and Global Supply Chains : Towards a Research Agenda, 3–18. <https://doi.org/10.1057/palgrave.mel.9100147>

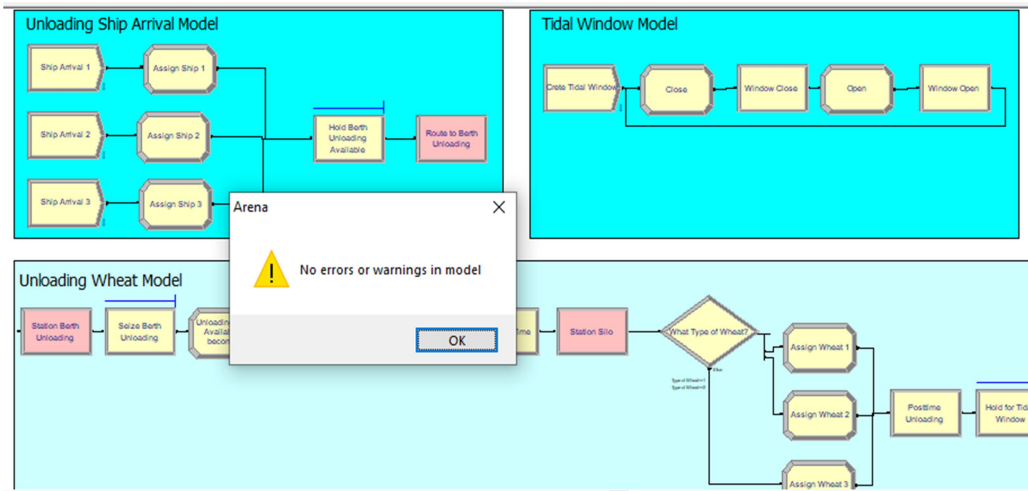
- Persson, J. A., & Göthe-Lundgren, M. (2005). Shipment planning at oil refineries using column generation and valid inequalities. *European Journal of Operational Research*, 163(3), 631–652. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.02.008>
- Poles, R. (2013). System Dynamics modelling of a production and inventory system for remanufacturing to evaluate system improvement strategies. *International Journal of Production Economics*, 144(1), 189–199. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.02.003>
- Pujawan, I. N., & Mahendrawati. (2010). *Supply Chain Management* (2 ed.). Surabaya: Guna Widya.
- Schofield, J., 2016. *Laytime and Demurrage*. 7 ed. London: informa Law from Routledge.
- Ronen, D. (2002), "Marine inventory routing: Shipments planning", *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 53, pp. 108-114
- Russ, B. F. (2005). OPTIMISING THE DESIGN OF MULTIMODAL FREIGHT TRANSPORT NETWORK IN INDONESIA, 6, 2894–2907.
- Schmitt, A. J. (2009). QUANTIFYING SUPPLY CHAIN DISRUPTION RISK USING MONTE CARLO AND DISCRETE-EVENT SIMULATION, 1237–1248.
- Siswanto, N., Essam, D., & Sarker, R. (2011). Computers & Industrial Engineering Solving the ship inventory routing and scheduling problem with undedicated compartments. *Computers & Industrial Engineering*, 61(2), 289–299. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2010.06.011>
- Siswanto Nurhadi, Latiffianti E., Wiratno, Stefanus E., (2018), *Simulasi Sistem Diskrit*, 1st edition, ITS Tekno Sains, Surabaya.
- Song, J. H., & Furman, K. C. (2013), "A maritime inventory routing problem: Practical approach", *Computers & Operations Research*, Vol. 40, No. 3, pp. 657-665. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2010.10.031>

- Strickland, J., 2014. *Verification & Validation for Modelling and Simulation*. New York : luu Inc.
- Stopford, M. (1997). *Maritime Economics*: Psychology Press.
- Tersine, R. J. (1994). *Principle of Inventory and Materials Managemnet*.
- Terzi, S., & Cavalieri, S. (2004). Simulation in the supply chain context: a survey, 53, 3–16. [https://doi.org/10.1016/S0166-3615\(03\)00104-0](https://doi.org/10.1016/S0166-3615(03)00104-0)
- Teixeira, E. L. S., Tjahjono, B., & Alfaro, S. C. A. (2012). A novel framework to link Prognostics and Health Management and Product–Service Systems using online simulation. *Computers in Industry*, 63(7), 669–679. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2012.03.004>
- Verma J. P., (2012), *Statistics and Research Methods in Psychology with Excel*, Springer Nature Pte Ltd., Singapore.

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1

Preview Pengecekan *Error (Debuging)* Pada Model ARENA



LAMPIRAN 2

Preview Demand, Fulfilled Demand dan Service Level Pada ARENA

	Demand	Fulfilled Demand	Service Level
January	Total Demand (1) : 3845.00	Total Fulfilled Demand (1) : 7439.00	Service Level (1) : 0.98
February	Total Demand (2) : 8929.00	Total Fulfilled Demand (2) : 8929.00	Service Level (2) : 1.00
Maret	Total Demand (3) : 7450.00	Total Fulfilled Demand (3) : 7450.00	Service Level (3) : 1.00
April	Total Demand (4) : 7185.00	Total Fulfilled Demand (4) : 7185.00	Service Level (4) : 1.00
May	Total Demand (5) : 8196.00	Total Fulfilled Demand (5) : 6326.00	Service Level (5) : 0.81
June	Total Demand (6) : 7144.00	Total Fulfilled Demand (6) : 6509.00	Service Level (6) : 0.84
July	Total Demand (7) : 7159.00	Total Fulfilled Demand (7) : 5436.00	Service Level (7) : 0.60
Agust	Total Demand (8) : 8230.00	Total Fulfilled Demand (8) : 6350.00	Service Level (8) : 0.44
September	Total Demand (9) : 9374.00	Total Fulfilled Demand (9) : 6529.00	Service Level (9) : 0.70
October	Total Demand (10) : 7761.00	Total Fulfilled Demand (10) : 6483.00	Service Level (10) : 0.96
November	Total Demand (11) : 6166.00	Total Fulfilled Demand (11) : 4079.00	Service Level (11) : 0.67
December	Total Demand (12) : 2321.00	Total Fulfilled Demand (12) : 3736.00	Service Level (12) : 0.41

LAMPIRAN 3

Perhitungan hw dan n replikasi

	Percobaan 1	Percobaan 2
Rep 1	76.03%	76.03%
Rep 2	90.25%	90.25%
Rep 3	81.13%	81.13%
Rep 4	77.83%	77.83%
Rep 5	83.78%	83.78%
Rep 6	64.74%	64.74%
Rep 7	81.38%	81.38%
Rep 8	80.45%	80.45%
Rep 9	75.30%	75.30%
Rep 10	89.49%	89.49%
Rep 11		94.92%
Rep 12		84.13%
Rep 13		72.94%
Rep 14		82.09%
Rep 15		77.90%
Rata2	80.04%	80.82%
St dev	0.07366353	7.45%
n	10	15
alpha	0.05	0.05
z	1.95996398	1.95996398
t	2.26215716	2.14478669
hw	0.06583804	0.05102324
n'	14.3497064	14.381158
pembulatan	15	15

LAMPIRAN 4

No	KAPAL YANG DATANG DARI PORT A	
	PRETIME	POST TIME
1	3.8	2.5
2	4.7	4
3	3.7	2.9
4	2.3	2.9
5	2.9	3.2
6	4.5	2.7
7	5.9	3
8	4.3	4
9	5.6	4
10	4.6	3.6
11	3	2.6
12	6	3.6
13	2.5	3.5
14	2.8	4
15	4.3	5
16	5.7	4
17	6	6
18	6.3	7
19	5.9	3.7
20	2.7	5
21	3.5	4
22	5.6	5.3
23	5.3	3.6
24	5.4	2
25	5.7	6
26	8	2.9
27	5	3.6
28	7	4.5
29	5.8	5

No	KAPAL YANG DATANG DARI PORT B	
	PRETIME	POST TIME
1	5.5	4.5
2	5.6	3.5
3	3.9	4.5
4	6	5
5	5.8	3
6	5	4
7	4.5	3
8	5.9	3
9	4.3	5
10	5.6	4
11	4.6	3
12	5	4
13	6	6.3
14	6	2.5
15	8	5
16	4.3	12

No	KAPAL YANG DATANG DARI PORT C	
	PRETIME	POST TIME
1	5.7	5.7
2	6	6
3	6.3	4
4	4	5
5	7	4
6	6	3.9
7	5.6	5.6
8	5.3	4
9	5.4	5.4
10	5.7	5.7
11	4.3	4.3
12	3.8	4
13	3.6	3.6
14	4.7	5
15	3.5	5.5
16	4	3.8
17	9	5.8
18	8.7	4

19	10	6
20	5	6
21	3.5	6.5
22	5.5	4.5

LAMPIRAN 5

Data Kedatangan Kapal di *PORT DEMAND*

Kapal dari Port A membawa gandum jenis A			
No	TANGGAL kedatangan	Nama Kapal	Berat Muatan Gandum (ton)
1	02-Jan	OAC	15,000
2	18-Jan	OAM	7,000
3	01-Feb	OHR	12,000
4	09-Feb	Rubi	6,000
5	22-Feb	Can#01	5,000
6	07-Mar	Sarind	12,500
7	22-Mar	OAC	12,000
8	05-Apr	OAM	15,000
9	14-Apr	OHR	15,500
10	27-Apr	Rubi	15,000
11	17-Mei	Can#01	10,000
12	22-Mei	Sarind	15,000
13	01-Jun	OAC	20,000
14	05-Jul	OAM	15,000
15	12-Jul	OHR	12,000
16	26-Jul	Rubi	10,000
17	09-Agu	Can#01	10,000
18	23-Agu	Sarind	15,000
19	06-Sep	OAC	11,000
20	14-Sep	OAM	6,000
21	04-Okt	OHR	10,000
22	18-Okt	Rubi	10,000
23	25-Okt	Can#01	6,000
24	01-Nov	Sarind	15,000
25	08-Nov	OAC	15,000
26	22-Nov	OAM	7,000
27	29-Nov	OHR	12,000
28	07-Des	Rubi	10,000
29	30-Des	Can#01	6,000

Kapal dari Port B membawa gandum jenis B			
No	TANGGAL kedatangan	Nama Kapal	Berat Muatan Gandum (ton)
1	04-Jan	OG	16,100
2	25-Jan	EmI	17,000
3	15-Feb	OG	17,000
4	08-Mar	EmI	14,500
5	29-Mar	OG	12,000
6	19-Apr	EmI	15,000
7	03-Mei	OG	12,000
8	24-Mei	EmI	11,700
9	07-Jun	OG	14,000
10	30-Jun	EmI	16,000
11	02-Agu	OG	15,000
12	30-Agu	EmI	14,000
13	20-Sep	OG	17,000
14	11-Okt	EmI	12,000
15	03-Nov	OG	12,000
16	12-Des	EmI	11,700

Kapal dari Port C membawa gandum jenis C			
No	TANGGAL kedatangan	Nama Kapal	Berat Muatan Gandum (ton)
1	11-Jan	BI	20,000
2	19-Jan	DI	15,000
3	12-Feb	BI	20,000
4	01-Mar	DI	15,000
5	15-Mar	BI	20,000
6	23-Mar	DI	20,000
7	12-Apr	BI	25,000
8	26-Apr	DI	20,000
9	10-Mei	BI	20,000
10	31-Mei	DI	15,000
11	21 june	BI	25,000
12	22 june	DI	20,000
13	06-Jul	BI	25,000

14	20-Jul	DI	20,000
15	03-Agu	BI	25,000
16	17-Agu	DI	20,000
17	13-Sep	BI	25,000
18	27-Sep	DI	20,000
19	5 oct	BI	15,000
20	19 oct	DI	14,500
21	15-Nov	BI	20,000
22	06-Des	DI	25,000

LAMPIRAN 6

DATA DURASI LOADING DAN UNLOADING

No	KAPAL YANG DATANG DARI PORT A	
	LOADING	UNLOADING
1	2.5	3.8
2	4.7	5.3
3	2.7	3.9
4	2.3	3
5	2.9	3.2
6	4.5	5.5
7	3	5.9
8	4.3	2
9	5.6	4
10	4.6	3.6
11	1.7	2.6
12	6	3.6
13	2.5	3.5
14	2.8	2.7
15	4.3	1.7
16	5.7	2.2
17	4	6
18	3.3	4
19	5.9	6
20	2.7	5
21	3.5	4
22	5.6	5.3
23	2.5	3.6
24	4	5.4
25	5.7	6
26	3	4.3
27	3.6	3.8
28	3.6	4.5
29	4.8	5.7

No	KAPAL YANG DATANG DARI PORT B	
	<i>LOADING</i>	<i>UNLOADING</i>
1	5.5	5.5
2	5.6	3.5
3	3.9	4.5
4	6	5
5	5.8	3
6	2.9	4
7	4.5	3
8	5.9	3
9	4.3	5.1
10	5.6	5
11	3.6	4
12	5	4
13	6	5.3
14	2.5	2.7
15	2.8	3
16	4.3	5.2

No	KAPAL YANG DATANG DARI PORT C	
	<i>LOADING</i>	<i>UNLOADING</i>
1	3.3	4.7
2	1.9	4.3
3	6.3	4
4	4	5
5	2.7	4.4
6	2.5	3.9
7	5.6	5.6
8	5.3	3.8
9	3.4	3.7
10	3.7	5
11	4.3	5
12	3.8	4
13	3.6	3.6
14	4.7	5
15	3.5	5.5
16	4	3.8
17	5.6	5.8

18	5.3	4
19	5.4	6
20	5	6
21	3.5	6.5
22	5.5	4.5

LAMPIRAN 7

Rekap Kedatangan Kapal Dari Semua *Port Supply*

No	TANGGAL kedatangan	Nama Kapal	Berat Muatan Gandum (ton)	Waktu antar kedatangan (hari)
1	02-Jan	OAC	15000	
2	04-Jan	OG	16100	2
3	11-Jan	BI	20000	7
4	18-Jan	OAM	7000	7
5	19-Jan	DI	15000	1
6	25-Jan	EmI	17000	6
7	01-Feb	OHR	12000	7
8	09-Feb	Rubi	6000	8
9	12-Feb	BI	20000	3
10	15-Feb	OG	17000	3
11	22-Feb	Can#01	5000	7
12	01-Mar	DI	15000	8
13	07-Mar	Sarind	12500	6
14	08-Mar	EmI	14500	1
15	15-Mar	BI	20000	7
16	22-Mar	OAC	12000	7
17	23-Mar	DI	20000	1
18	29-Mar	OG	12000	6
19	05-Apr	OAM	15000	7
20	12-Apr	BI	25000	7
21	14-Apr	OHR	15500	2
22	19-Apr	EmI	15000	5
23	26-Apr	DI	20000	7
24	27-Apr	Rubi	15000	1
25	03-Mei	OG	12000	6
26	10-Mei	BI	20000	7

27	17-Mei	Can#01	10000	7
28	22-Mei	Sarind	15000	5
29	24-Mei	EmI	11700	2
30	31-Mei	DI	15000	7
31	01-Jun	OAC	20000	1
32	07-Jun	OG	14000	6
33	21-Jun	BI	25000	14
34	22-Jun	DI	20000	1
35	30-Jun	EmI	16000	8
36	05-Jul	OAM	15000	5
37	06-Jul	BI	25000	1
38	12-Jul	OHR	12000	6
39	20-Jul	DI	20000	8
40	26-Jul	Rubi	10000	6
41	02-Agu	OG	15000	7
42	03-Agu	BI	25000	1
43	09-Agu	Can#01	10000	6
44	17-Agu	DI	20000	8
45	23-Agu	Sarind	15000	6
46	30-Agu	EmI	14000	7
47	06-Sep	OAC	11000	7
48	13-Sep	BI	25000	7
49	14-Sep	OAM	6000	1
50	20-Sep	OG	17000	6
51	27-Sep	DI	20000	7
52	04-Okt	OHR	10000	7
53	05-Okt	BI	15000	1
54	11-Okt	EmI	12000	6
55	18-Okt	Rubi	10000	7
56	19-Okt	DI	14500	1
57	25-Okt	Can#01	6000	6
58	01-Nov	Sarind	15000	7
59	03-Nov	OG	12000	2
60	08-Nov	OAC	15000	5
61	15-Nov	BI	20000	7
62	22-Nov	OAM	7000	7
63	29-Nov	OHR	12000	7
64	06-Des	DI	25000	7
65	07-Des	Rubi	10000	1
66	12-Des	EmI	11700	5

67	30-Des	Can#01	6000	18
----	--------	--------	------	----

LAMPIRAN 8

Data Durasi *Sailing Time*

No	DARI PORT A
1	34.5
2	38
3	42
4	31
5	40
6	29
7	30
8	31
9	33
10	36.5
11	40
12	34
13	31
14	35
15	36
16	37
17	32
18	34
19	28.5
20	28
21	29
22	40
23	34
24	45
25	53
26	36
27	47
28	33.5
29	38

No	DARI PORT B
1	14
2	9.5
3	13
4	20
5	10
6	12.5
7	17
8	19
9	17
10	8
11	12
12	9
13	16
14	8.5
15	12
16	9

No	DARI PORT C
1	44
2	39
3	35
4	41
5	39
6	44.5
7	41
8	36
9	45
10	45
11	38
12	39
13	33.5
14	40
15	34.5
16	35
17	45.5
18	42
19	36
20	48
21	41
22	37

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Lery Alfriany Salo. Penulis dilahirkan pada tanggal 25 April 1990 di Kota Rantepao, Kabupaten Toraja Utara, Sulawesi Selatan. Penulis merupakan anak kedua dari empat bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di TK Kristen Rantepao (1995- 1996), SD Kristen Disamakan Rantepao V (1996-2002), SMP Negeri 2 Rantepao (2002-2005), dan SMA Negeri 1 Rantepao (2005-2008). Penulis menempuh pendidikan S1 di Departemen Teknologi Industri Universitas Pelita Harapan Surabaya pada tahun 2008 dan lulus pada tahun 2012. Setelah lulus S1 penulis pernah bekerja sebagai *Section Head* di Departemen PPIC (*Production Planning and Inventory Control*) pada perusahaan Orang Tua Group di Pandaan selama dua tahun. Setelah itu Penulis bekerja di PT. Indofood Sukses Makmur Tbk div Flour Mills, juga pada departemen PPIC. Penulis akhirnya melanjutkan studi Pascasarjana di Departemen Teknik Sistem dan Industri, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya pada tahun 2017 dan lulus pada tahun 2020. Kritik dan Saran yang membangun dapat disampaikan melalui email: lery_salo@yahoo.com

Halaman ini sengaja dikosongkan