



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - IS184853

# **PENGEMBANGAN MODEL SISTEM DINAMIK UNTUK MENINGKATKAN KINERJA DISTRIBUSI PUPUK UREA (STUDI KASUS: PT PETROKIMIA GRESIK)**

## ***THE DEVELOPMENT OF DYNAMIC SYSTEM MODEL TO IMPROVE DISTRIBUTION PERFORMANCE OF UREA FERTILIZER (CASE STUDY: PT PETROKIMIA GRESIK)***

SYAUQI SASWATATA NAWAL ABADI  
NRP 052116 4000 0048

Dosen Pembimbing  
Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D

DEPARTEMEN SISTEM INFORMASI  
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2020



**TUGAS AKHIR - IS184853**

**PENGEMBANGAN MODEL SISTEM DINAMIK UNTUK  
MENINGKATKAN KINERJA DISTRIBUSI PUPUK UREA  
(STUDI KASUS: PT PETROKIMIA GRESIK)**

**SYAUQI SASWATATA NAWAL ABADI  
NRP 052116 4000 0048**

**Dosen Pembimbing  
Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D**

**DEPARTEMEN SISTEM INFORMASI  
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2020**

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

**UNDERGRADUATE THESIS - IS184853**

**THE DEVELOPMENT OF DYNAMIC SYSTEM MODEL TO  
IMPROVE DISTRIBUTION PERFORMANCE OF UREA  
FERTILIZER (CASE STUDY: PT PETROKIMIA GRESIK)**

**SYAUQI SASWATATA NAWAL ABADI  
NRP 052116 4000 0048**

**Supervisor  
Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D**

**INFORMATION SYSTEM DEPARTMENT  
Faculty of Intelligent Electrical and Informatics Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2020**

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

## LEMBAR PENGESAHAN

### **Pengembangan Model Sistem Dinamik untuk Meningkatkan Kinerja Distribusi Pupuk Urea (Studi Kasus: PT Petrokimia Gresik)**

### **TUGAS AKHIR**

Disusun Untuk Memenuhi Salah  
Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Sarjana Komputer (S.Kom)  
pada

Departemen Sistem Informasi  
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas (ELECTICS)  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh

**Syaqi Saswatata Nawal Abadi**  
**0521164000048**

Surabaya, 13 Agustus 2020

**Kepala Departemen Sistem Informasi**



**Dr. Mudjahidin, ST.,  
MT. NIP.**

**197010102003121001**



*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*



## LEMBAR PERSETUJUAN

# PENGEMBANGAN MODEL SISTEM DINAMIK UNTUK MENINGKATKAN KINERJA DISTRIBUSI PUPUK UREA (STUDI KASUS: PT PETROKIMIA GRESIK)

### TUGAS AKHIR

Disusun Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer  
pada  
Departemen Sistem Informasi  
Fakultas Teknologi Informasi dan Komunikasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**SYAUQI SASWATATA NAWAL ABADI**


NRP. 0521164000048

Disetujui Tim Penguji : Tanggal Ujian: Juni 2020  
Periode Wisuda : September 2020

**Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D**

  
**(Pembimbing I)**

**Dr. Mudjahidin, S.T., M.T**

  
**(Penguji I)**

**Andre Parvian Aristio, S.Kom., M.Sc**

  
**(Penguji II)**

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

# PENGEMBANGAN MODEL SISTEM DINAMIK UNTUK MENINGKATKAN KINERJA DISTRIBUSI PUPUK UREA (STUDI KASUS: PT PETROKIMIA GRESIK)

Nama Mahasiswa : Syauqi Saswatata Nawal Abadi  
NRP : 0521164000048  
Departemen : Sistem Informasi FTEIC-ITS  
Pembimbing I : Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D

## ABSTRAK

**Latar Belakang:** Sektor agraris atau pertanian merupakan salah satu sektor yang dijadikan andalan untuk menggerakkan perekonomian Indonesia. Untuk mencapainya, sektor pertanian tentu membutuhkan hasil pertanian yang berkualitas. Untuk menciptakan hasil pertanian yang berkualitas, pupuk menjadi salah satu komponen penting yang dapat meningkatkan kuantitas serta kualitas panen. Agar pupuk tersebut dapat tersalurkan dengan baik hingga sampai ketangan para petani, diperlukan adanya sistem distribusi pupuk yang optimal.

**Permasalahan:** Terjadi nonlinearitas pada sistem karena jumlah persediaan pupuk yang menipis, sehingga kapasitas produksi pupuk dinaikkan. Kenaikan kapasitas produksi tersebut berakibat terhadap jumlah persediaan pupuk yang menumpuk pada periode berikutnya. Dilakukannya produksi pupuk memiliki hubungan kausal yang positif dengan biaya distribusi, sehingga semakin banyak pupuk yang diproduksi maka akan berdampak pada biaya distribusi yang mengalami peningkatan.

**Tujuan:** Dilakukannya penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kinerja distribusi pupuk urea, khususnya pada Kabupaten Mojokerto. Peningkatan kinerja distribusi ini dikhususkan untuk dapat mengurangi biaya distribusi yang dikeluarkan dalam proses distribusi yang dilakukan.

**Metode:** Penelitian ini menggunakan metode sistem dinamik, dengan melakukan langkah-langkah pemodelan sesuai dengan

*alur jalannya sistem untuk kemudian dilakukan simulasi untuk mengetahui kinerja sistem yang saat ini berjalan. Metode pemodelan menggunakan sistem dinamik ini dapat dilakukan tanpa dengan mengubah jalannya sistem.*

**Hasil:** *Pemodelan yang dilakukan menghasilkan beberapa skenario. Skenario tersebut adalah skenario untuk menyesuaikan jumlah buruh angkut dengan kapasitas produksi dan skenario untuk meminimalkan jumlah pupuk yang rusak. Dengan dilakukannya kedua skenario tersebut, biaya distribusi pupuk urea ke Kabupaten Mojokerto oleh PT Petrokimia Gresik dapat berkurang sebesar Rp143.110.912,00*

**Nilai tambah:** *Hasil dari penelitian ini sekaligus dapat dijadikan acuan bagi PT Petrokimia Gresik untuk menurunkan biaya distribusi pupuk agar dapat berjalan dengan lebih optimal.*

**Kata Kunci:** *Distribusi, Pupuk, Kinerja, Biaya, Sistem Dinamik*

**THE DEVELOPMENT OF DYNAMICS SYSTEM  
MODEL TO IMPROVE DISTRIBUTION  
PERFORMANCE OF UREA FERTILIZER (CASE  
STUDY: PT PETROKIMIA GRESIK)**

**Name** : Syauqi Saswatata Nawal Abadi  
**NRP** : 0521164000048  
**Department** : Information System ELECTICS-ITS  
**Supervisor I** : Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D

**ABSTRACT**

**Background:** *Agricultural sector is one of the sector which is used to encourage the economy of Indonesia. In addition to that, the agricultural sector also need to produce quality agricultural products. To create quality agricultural products, fertilizer is one of many important component that can be used to increase quality and quantity of the crop yields. In order to distribute the fertilizer properly to the hands of the farmers, an optimal fertilizer distribution system is needed.*

**Problem:** *System nonlinearity occurred, because when the amount of fertilizers stocks is running low, fertilizer production capacity is increased. This increase in production capacity results in the amount of fertilizers stock which happen to accumulates in the next period. Fertilizer production has a positive causal relationship with distribution costs. When the production of fertilizers increased, it will have a similar impact on the distribution costs.*

**Objective:** *The objective of this research is to improve the distribution performance of urea fertilizer, especially in Mojokerto Regency. Improved distribution performance is devoted to reducing distribution costs incurred in the distribution process.*

**Method:** *This study uses a dynamic system modelling, by doing modeling steps in accordance with the flow of the system. Then, the model will be simulated to find out the current system performance. This dynamic system modeling methods could be done without changing the system.*

**Results:** *There are two scenarios produced in this study, the first one is a scenario to match the number of carrier labors with production capacity. The second scenario is a scenario to minimize the amount of damaged fertilizers. By doing these two scenarios, the distribution cost of urea fertilizer to Mojokerto Regency by PT Petrokimia Gresik could be reduced by Rp143.110.912,00.*

**Value Added:** *This research can be used as a reference for PT Petrokimia Gresik to reduce the cost of fertilizer distribution, so the distribution process of fertilizer could run more optimally.*

**Keywords:** *Distribution, Fertilizer, Performance, Cost, Dynamic System*

## SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Syauqi Saswatata Nawal Abadi  
NRP : 05211640000048  
Tempat/Tanggal lahir : Surabaya, 21 Juli 1998  
Fakultas/Departemen : FTEIC / Sistem Informasi  
Nomor Telp/Hp/email : 081330066468/okisyauqi94@gmail.com

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa penelitian/makalah/tugas akhir saya berjudul:

Pengembangan Model Sistem Dinamik untuk Meningkatkan Kinerja Distribusi Pupuk Urea (Studi Kasus: PT Petrokimia Gresik)

### **Bebas dari Plagiarisme dan Bukan Hasil Karya Orang Lain.**

Apabila dikemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian penelitian/makalah/tugas akhir tersebut terdapat indikasi plagiarisme, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan dan ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Surabaya, 18 Juni 2020



Syauqi Saswatata Nawal Abadi  
NRP. 05211640000048

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*



## KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim, puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat, nikmat, serta kesempatan sehingga penelitian tugas akhir dengan judul “Pengembangan Model Sistem Dinamik untuk Meningkatkan Kinerja Distribusi Pupuk Urea (Studi Kasus: PT Petrokimia Gresik)” dapat diselesaikan sebagai syarat kelulusan Departemen Sistem Informasi, Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Proses penyusunan tugas akhir ini tidak lepas dari bimbingan, bantuan, dukungan, doa, kritik, serta saran dari berbagai pihak. Dalam kesempatan ini, diucapkan terimakasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Syukur Alhamdulillah kehadirat Allah SWT, atas berkat dan rahmatnya tugas akhir ini dapat terselesaikan.
2. Kedua orang tua serta seluruh anggota keluarga yang telah memberikan semangat dan do’a dalam proses pengerjaan tugas akhir ini hingga dapat terselesaikan.
3. Bapak Dr. Mudjahidin, S.T., M.T, selaku Kepala Departemen Sistem Informasi ITS serta Bapak Nisfu Asrul Sani, S.Kom., M.Sc, selaku Kepala Program Studi S1 Sistem Informasi ITS serta seluruh dosen pengajar beserta staf dan karyawan di Departemen Sistem Informasi, FTEIC, ITS Surabaya.
4. Ibu Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D, selaku dosen wali dan pembimbing yang telah banyak meluangkan waktunya untuk memberikan ilmu, bimbingan, saran, serta motivasi selama proses pengerjaan tugas akhir ini hingga akhirnya dapat terselesaikan.
5. Bapak Ari Primantara berikut beberapa staffnya; Mas Fatih, Mbak Fanny, Mas Agus, Mas Yusuf serta beberapa staff lainnya selaku perwakilan dari pihak PT Petrokimia Gresik yang berperan penting dalam pengambilan data dan wawancara, serta memberikan pelajaran selama pengerjaan tugas akhir.
6. Teman-teman dekat yang menemani kehidupan perkuliahan selama empat tahun ini, yang dapat membantu

ketika sedang mengalami kesusahan dan menjadi teman untuk berdiskusi bersama.

7. Teman-teman dekat dari SMA Al Hikmah yang tetap menjaga pertemanan dari mulai berada di bangku SMA hingga kini telah diujung bangku perkuliahan.
8. Teman-teman seperjuangan topik Sistem Dinamik beserta seperbimbingan Bu Erma, yang menjadi sarana untuk bertukar ilmu dan pikiran sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.
9. Teman-teman seperjuangan Lab Sistem Enterprise, yang selalu berjuang dan menyemangati bersama serta menjadi sarana untuk bertukar ilmu dan pikiran sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.
10. Seluruh teman-teman ARTEMIS yang tidak dapat disebutkan satu per satu.
11. Kucing kesayangan, Gembeng, yang setia dan dapat menjadi penghibur ketika mengerjakan tugas akhir ini.
12. Serta pihak lainnya yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang turut membantu selama masa perkuliahan.

Terima kasih atas segala bantuan, motivasi, dukungan serta doa yang telah diberikan. Semoga selalu diberikan balasan atas kebaikan oleh Allah SWT. Tugas akhir ini tentu memiliki kekurangan baik dalam penelitian maupun hasil akhir. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan sebagai bahan perbaikan untuk penelitian kedepannya. Terakhir, semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca.

Surabaya, Juni 2020

Syauqi Saswatata Nawal Abadi

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
LEMBAR PERSETUJUAN.....	iii
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vii
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Permasalahan.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
1.6 Relevansi.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1. Penelitian Sebelumnya.....	9
2.2. Dasar Teori.....	13
2.2.1. Sistem distribusi.....	13
2.2.2. Pupuk urea.....	14
2.2.3. Simulasi sistem.....	14
2.2.4. <i>Causal loop diagram</i> .....	20
2.2.5. <i>Stock and flow diagram</i> .....	21
2.2.6. Vensim.....	22
BAB III METODOLOGI.....	23
3.1. Diagram Metodologi.....	23
3.2. Uraian Metodologi.....	25
3.2.1 Identifikasi kondisi dan permasalahan.....	25
3.2.2 Studi literatur.....	25
3.2.3 <i>Problem articulation (boundary selection)</i> ....	25
3.2.4 <i>Formulation of dynamic hypothesis</i> .....	27
3.2.5 <i>Formulation of simulation model</i> .....	27
3.2.6 <i>Testing</i> .....	28
3.2.7 <i>Policy design and evaluation</i> .....	33

## BAB IV PERANCANGAN MODEL DAN IMPLEMENTASI

35

4.1. Pengumpulan Data .....	35
4.1.1. Data Kapasitas Produksi.....	37
4.1.2. Data Pupuk Urea yang Disimpan di Gudang Gresik	39
4.1.3. Data Pengeluaran Pupuk Urea dari Gudang Gresik	40
4.1.4. Data Alokasi Pengiriman Pupuk Urea kepada Distributor .....	42
4.1.5. Data Komponen Biaya pada Lini Distribusi Pupuk Urea.....	43
4.2. <i>Problem Articulation (Boundary Selection)</i> .....	44
4.2.1. <i>Theme selection</i> .....	44
4.2.2. <i>Defining key variables</i> .....	45
4.2.3. <i>Time horizon</i> .....	46
4.2.4. <i>Dynamic problem definition (reference modes)</i> 47	
4.3. <i>Formulation of Dynamic Hypothesis</i> .....	48
4.3.1. <i>Initial hypothesis generation</i> .....	49
4.3.2. <i>Endogenous focus</i> .....	49
4.3.3. <i>Mapping</i> .....	50
4.4. <i>Formulation of A Simulation Model</i> .....	65
4.4.1. Formulasi pada Sub model <i>production</i> .....	66
4.4.2. Formulasi pada Sub model <i>main storage's costs</i> 69	
4.4.3. Formulasi pada Sub model <i>region's storage</i> <i>costs</i>	72
4.4.4. Sub model <i>distributor's cost</i> .....	74
4.4.5. Sub model <i>total distribution cost</i> .....	76
4.5. Verifikasi Model .....	77
4.6. <i>Model Testing</i> .....	79
4.6.1. Validasi variabel <i>production</i> .....	80
4.6.2. Validasi variabel <i>main storage's stocks</i> .....	82
4.6.3. Validasi variabel <i>general allocation</i> .....	85
4.6.4. Validasi variabel <i>distributor allocation</i> .....	88
4.7. Analisis Kondisi Eksisting ( <i>Base Model</i> ).....	91

4.7.1.	Analisis <i>base model production</i> .....	91
4.7.2.	Analisis <i>base model main storage's costs</i> .....	93
4.7.3.	Analisis <i>base model region storage's costs</i> ...	94
4.7.4.	Analisis <i>base model distributor's costs</i> .....	95
4.7.5.	Analisis <i>base model total distribution costs</i> ...	96
<b>BAB V PENGEMBANGAN SKENARIO DAN ANALISIS HASIL 99</b>		
5.1.	Pengembangan Skenario .....	99
5.1.1.	Skenario penyesuaian jumlah buruh angkut.	100
5.1.2.	Skenario meminimalkan jumlah pupuk yang rusak saat masa penyimpanan .....	106
5.1.3.	Skenario penyesuaian jumlah buruh angkut dan meminimalkan pupuk yang rusak .....	111
5.2.	Analisis Hasil .....	114
5.2.1.	Analisis hasil skenario penyesuaian buruh angkut	114
5.2.2.	Analisis hasil skenario meminimalkan jumlah pupuk yang rusak .....	118
<b>BAB VI PENUTUP .....</b>		<b>121</b>
6.1.	Kesimpulan .....	121
6.2.	Saran .....	122
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>125</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>		<b>129</b>
Lampiran A – Mengenai PT Petrokimia Gresik.....		129
Lampiran B – Data Hasil Simulasi Base Model.....		130
Lampiran C – Data Hasil Simulasi Skenario Pada Variabel <i>Total Distribution Cost</i> .....		133
<b>BIODATA PENULIS .....</b>		<b>135</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Kerangka Kerja Laboratorium Sistem Enterprise.	7
Gambar 2.1 Tahapan dalam Pengembangan Sistem .....	15
Gambar 3.1 Diagram Metodologi.....	24
Gambar 4.1 <i>Reference Modes</i> untuk Persediaan .....	47
Gambar 4.2 <i>Reference Modes</i> untuk Biaya Distribusi .....	48
Gambar 4.3 <i>Subsystem Diagram</i> .....	53
Gambar 4.4 Rancangan <i>Causal Loop Diagram</i> .....	54
Gambar 4.5 <i>Causes Tree</i> untuk Produksi .....	58
Gambar 4.6 <i>Causes Tree</i> untuk Biaya Distribusi Total.....	58
Gambar 4.7 SFD Submodel <i>Production</i> .....	59
Gambar 4.8 SFD Submodel <i>Main Storage's Cost</i> .....	60
Gambar 4.9 SFD Submodel <i>Region Storage's Cost</i> .....	61
Gambar 4.10 SFD Submodel <i>Distributor Storage's Cost</i> .....	62
Gambar 4.11 SFD Submodel <i>Total Distribution Cost</i> .....	63
Gambar 4.12 <i>Loop</i> yang Terdapat pada SFD .....	64
Gambar 4.13 <i>Loop</i> pada SFD .....	65
Gambar 4.14 Mengatur <i>Time Step</i> untuk <i>Base Model</i> .....	77
Gambar 4.15 Notifikasi Bahwa <i>Model is OK</i> .....	78
Gambar 4.16 Notifikasi Bahwa Satuan Telah Sesuai.....	78
Gambar 4.17 <i>Toolbar</i> yang Digunakan untuk Melakukan <i>Running Model</i> .....	79
Gambar 4.18 Pesan Konfirmasi Sebelum <i>Running Model</i> .....	79
Gambar 4.19 Grafik Perbandingan Variabel <i>Production</i> .....	82
Gambar 4.20 Grafik Perbandingan Variabel <i>Main Storage's Stocks</i> .....	85
Gambar 4.21 Grafik Perbandingan Variabel <i>General Allocation</i> .....	88
Gambar 4.22 Grafik Perbandingan Variabel <i>Distributor Allocation</i> .....	90
Gambar 4.23 Grafik Simulasi Variabel <i>Production</i> .....	92
Gambar 4.24 Grafik Simulasi Variabel <i>Main Storage's Stocks</i> .....	93
Gambar 4.25 Grafik Simulasi Variabel <i>Main Storage's Costs</i>	94
Gambar 4.26 Grafik Simulasi Variabel <i>Region Storage's Cost</i> .....	95

Gambar 4.27 Grafik Simulasi Variabel <i>Distributor Storage's Cost</i> .....	96
Gambar 4.28 Grafik Simulasi Variabel <i>Total Distribution Cost</i> .....	97
Gambar 5.1 Variabel <i>Carrier Labors</i> Sebelum Dilakukan Skenario.....	101
Gambar 5.2 Variabel <i>Carrier Labors</i> Setelah Dilakukan Skenario.....	102
Gambar 5.3 Grafik Perbandingan Biaya Buruh Angkut pada Skenario.....	104
Gambar 5.4 Variabel <i>Damaged Items</i> Setelah Dilakukan Skenario.....	107
Gambar 5.5 Grafik Perbandingan pada Variabel <i>Main Storage's Cost</i> .....	109
Gambar 5.6 Grafik Perbandingan pada Variabel <i>Main Storage's Cost</i> ketika Skenario Ketiga Dijalankan.....	112
Gambar 5.7 Grafik Perbandingan ketika Menggunakan Skenario Penyesuaian Jumlah Buruh .....	115
Gambar 5.8 Grafik Perbandingan Ketika Menggunakan Skenario Meminimalkan Jumlah Pupuk yang Rusak...	118

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Sebelumnya .....	9
Tabel 4.1 Rentang Waktu yang Digunakan.....	36
Tabel 4.2 Kapasitas Produksi Pupuk Urea .....	38
Tabel 4.3 Rata-Rata Persediaan pada Gudang Gresik.....	39
Tabel 4.4 Rata-Rata Pengeluaran dari Gudang Gresik.....	41
Tabel 4.5 Alokasi Pengiriman ke Distributor .....	42
Tabel 4.6 Komponen Biaya pada Lini Distribusi Pupuk Urea44	
Tabel 4.7 <i>Model Boundary Diagram</i> .....	51
Tabel 4.8 Persamaan pada <i>Production</i> .....	66
Tabel 4.9 Persamaan pada <i>Main Storage's Stocks</i> .....	68
Tabel 4.10 Komponen pada <i>Storage Managing Cost</i> .....	69
Tabel 4.11 Persamaan pada <i>Handling Cost</i> .....	70
Tabel 4.12 Persamaan untuk <i>Transportation Cost</i> .....	71
Tabel 4.13 Persamaan pada <i>Region Storage's Stocks</i> .....	72
Tabel 4.14 Persamaan pada <i>Region Storage's Cost</i> .....	74
Tabel 4.15 Persamaan pada <i>Distributor's Stocks</i> .....	75
Tabel 4.16 Persamaan pada <i>Distributor Storage's Cost</i> .....	76
Tabel 4.17 Persamaan pada <i>Total Distribution Cost</i> .....	76
Tabel 4.18 Perbandingan Data Variabel <i>Production</i> .....	80
Tabel 4.19 Validasi Variabel <i>Production</i> .....	81
Tabel 4.20 Perbandingan Data Variabel <i>Main Storage's Stocks</i> .....	83
Tabel 4.21 Validasi Variabel <i>Main Storage's Stocks</i> .....	84
Tabel 4.22 Perbandingan Data Variabel <i>General Allocation</i> .	85
Tabel 4.23 Validasi Variabel <i>General Allocation</i> .....	87
Tabel 4.24 Perbandingan Data Variabel <i>Distributor Allocation</i> .....	88
Tabel 4.25 Validasi Variabel <i>Distributor Allocation</i> .....	90
Tabel 5.1 Rancangan Skenario .....	100
Tabel 5.2 Formulasi Skenario Penyesuaian Buruh Angkut ...	102
Tabel 5.3 Perbandingan Biaya Buruh Angkut pada Skenario .....	104
Tabel 5.4 Formulasi Skenario Meminimalkan Jumlah Pupuk yang Rusak .....	108



Tabel 5.5 Perbandingan pada Variabel <i>Main Storage's Cost</i> .....	109
Tabel 5.6 Perbandingan pada Variabel <i>Main Storage's Cost</i> Ketika Menggunakan Skenario Ketiga.....	112
Tabel 5.7 Tabel Perbandingan ketika Menggunakan Skenario Penyesuaian Jumlah Buruh .....	116
Tabel 5.8 Tabel Perbandingan Ketika Menggunakan Skenario Meminimalkan Jumlah Pupuk yang Rusak .....	119



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

Pada bab pendahuluan ini akan diuraikan hal-hal yang terdiri atas: latar belakang permasalahan, rumusan masalah, batasan permasalahan, tujuan penelitian, manfaat penelitian serta relevansi dari penelitian yang dilakukan. Dengan adanya bab ini, gambaran umum permasalahan dan pemecahan masalah pada tugas akhir ini dapat dipahami.

### **1.1 Latar Belakang**

Sektor agraris merupakan salah satu sektor yang dijadikan andalan untuk menjadi penggerak perekonomian Indonesia. Besarnya kontribusi pada sektor agraris ini tidak terlepas dari peran para industri pupuk [1]. Namun, walaupun Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki sektor agraris yang cukup besar, masih terdapat banyak kendala yang menghalangi kemajuan pertanian di Indonesia. Salah satu kendalanya adalah mahalnya harga pupuk yang ditebus oleh para petani. Hal tersebut menyebabkan petani memilih untuk tidak mempergunakan pupuk, padahal pupuk merupakan komoditas yang memiliki peran yang besar dalam mempengaruhi faktor produksi, terutama jumlah produksi. Jika pelaksanaan dalam usaha pertanian dilakukan dengan kurang tepat dan benar, maka hasil produksi pertanian tentu tidak akan dapat mencapai hasil yang maksimal. Untuk menyikapi permasalahan tersebut, pemerintah menempuh kebijakan bantuan pupuk bersubsidi [2].

Pupuk bersubsidi adalah pupuk yang pengadaan dan penyalurannya mendapat subsidi atau keringanan dari pemerintah. Kebijakan Pupuk bersubsidi tersebut dilaksanakan dasar program pemerintah (SK Menperindag 306/MPP/Kep/4/2003), untuk memenuhi kebutuhan petani yang membutuhkan. Untuk mendapatkan Pupuk yang mendapat subsidi dari pemerintah tidak diberikan secara gratis tapi dapat dibeli dengan harga yang terjangkau. Pupuk yang disubsidikan oleh pemerintah adalah jenis pupuk Urea, SP-36, ZA, NPK Phonska dan pupuk organik [2].

Salah satu produsen pupuk subsidi adalah PT Petrokimia Gresik, yang merupakan salah satu perusahaan pupuk terbesar yang berada di bawah naungan Pupuk Indonesia Holding. PT Petrokimia Gresik memiliki kapasitas produksi yang mencapai ribuan ton per-harinya. Namun, besar produksi yang dilakukan dapat berubah sewaktu-waktu. Perubahan pada jumlah produksi tersebut berakibat pada persediaan (*stock*) pupuk yang menumpuk ketika musim tanam belum terjadi. Persediaan (*stock*) tersebut dipengaruhi oleh produksi, yang berperan sebagai *inflow* dari persediaan pupuk yang terdapat pada gudang. Persediaan tersebut kemudian akan disalurkan (*outflow*) menuju ke beberapa daerah penerima pupuk subsidi. Ketidakstabilan produksi tersebut dapat berakibat kepada para petani, dikarenakan naiknya harga pupuk dan turunnya produktivitas lahan karena jadwal pemupukan yang terlambat, sehingga akan menurunkan tingkat pendapatan dari para petani tersebut [3]. Tak jarang, hal tersebut mengakibatkan biaya distribusi pupuk yang kurang efisien karena pengiriman yang dilakukan tidak terdistribusi secara merata.

Ketidakstabilan produksi tersebut utamanya disebabkan oleh jumlah persediaan yang berada diambang minimal, sehingga produsen harus menaikkan jumlah produksinya [4]. Permasalahan tersebut merupakan salah satu bentuk permasalahan nonlinearitas yang dapat terjadi pada suatu sistem (*system nonlinearity*). Jumlah persediaan pupuk yang menipis mengakibatkan pihak PT Petrokimia Gresik untuk menaikkan kapasitas produksinya, sehingga persediaan pupuk yang ada dapat ditingkatkan. Namun, kenaikan jumlah produksi tersebut dapat berakibat terhadap jumlah persediaan pupuk yang menumpuk pada periode berikutnya. Selain itu, kegiatan produksi pupuk tersebut memiliki hubungan *causal* yang positif dengan biaya distribusi, sehingga semakin banyak pupuk yang diproduksi maka akan berdampak pada biaya distribusi yang mengalami peningkatan.

Secara umum, kegiatan produksi serta distribusi yang dilakukan oleh PT Petrokimia Gresik dapat digambarkan melalui hubungan kausal. Produksi merupakan *inflow* dari persediaan di

gudang yang merupakan *stock*, dimana *stock* tersebut menyebabkan *delay* pada *outflow* yang berupa pengiriman/distribusi ke daerah penerima. Kegiatan produksi tersebut memiliki hubungan kausal yang positif dengan biaya distribusi, sehingga semakin banyak pupuk yang diproduksi maka semakin besar pula biaya distribusinya.

Dari uraian permasalahan tersebut, terdapat beberapa penelitian menggunakan metode sistem dinamik yang dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan mengenai pertanian dan industri pupuk. Penelitian oleh Erma Suryani dan Hanim Maria Astuti pada tahun 2011, menggunakan metode Simulasi Sistem Dinamik untuk meningkatkan pangsa pasar yang dimiliki oleh industri pupuk berbentuk cairan. Penelitian ini menggunakan simulasi sistem dinamik sebagai metode untuk meningkatkan penjualan dari industri pupuk cair, sehingga dapat meningkatkan pangsa pasar dari pupuk cair tersebut. Pada penelitian ini, dilakukan lima tahapan dalam rangka untuk membuat model sistem dinamik. Pertama, dilakukan artikulasi permasalahan. Kedua, melakukan hipotesis. Ketiga, melakukan formulasi dari model yang akan dibuat. Keempat, melakukan pengujian. Kelima sekaligus menjadi yang terakhir adalah melakukan evaluasi dari hasil simulasi yang telah dilakukan, sekaligus memformulasikan strategi yang potensial [5].

Selain itu, Mala Rosa Apriliya, Erma Suryani dan Anisa Dzulkarnain telah melakukan penelitian menggunakan simulasi sistem dinamik pada tahun 2019 untuk meningkatkan kualitas hasil padi dalam mendukung upaya ketahanan pangan. Hasil dari pemodelan tersebut dapat digunakan sebagai alat bagi pemerintah dan pemangku kepentingan dalam mengembangkan strategi terkait dengan upaya untuk memastikan ketahanan pangan. Dalam penelitian ini dijelaskan bahwa produksi beras dipengaruhi oleh luas panen, produktivitas padi, dan mekanisme panen serta pasca panen. Sementara itu, produktivitas padi tergantung pada varietas benih, ketersediaan irigasi, pemupukan, dan serangan hama [6].

Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, diketahui bahwa pemodelan Sistem Dinamik dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah-masalah yang terjadi terkait dengan pertanian dan industri pupuk. Oleh karena itu, pada penelitian ini ditawarkan solusi dengan menggunakan pemodelan dan simulasi sebagai alat penyediaan dukungan untuk perencanaan, analisa, dan evaluasi sistem menggunakan model simulasi dinamik. Melalui model simulasi dinamik, analisis pada sistem dapat dilakukan dengan mempertimbangkan data historis yang ada, serta merancang skenario yang diperkirakan dapat memperbaiki biaya distribusi pupuk yang ada saat ini. Diharapkan dengan menggunakan Simulasi Sistem Dinamik, permasalahan terkait distribusi pupuk yang ada dapat terselesaikan, serta proses distribusi pupuk dapat berjalan dengan lancar sehingga para petani dapat memanfaatkan pupuk tersebut sesuai dengan kebutuhan yang diperlukan.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian yang telah dijelaskan pada latar belakang, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana sistem distribusi pupuk urea eksisting yang ada pada PT Petrokimia Gresik?
2. Faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi biaya distribusi pupuk urea yang dikeluarkan oleh PT Petrokimia Gresik?
3. Bagaimana meningkatkan efektivitas dari sistem distribusi pupuk urea pada PT Petrokimia Gresik, khususnya dalam hal biaya distribusi yang dikeluarkan?

## **1.3 Batasan Permasalahan**

Agar penelitian ini dapat menghasilkan pembahasan yang terfokus, maka ada beberapa batasan masalah yang harus diperhatikan. Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pemodelan yang dilakukan berfokus pada jenis pupuk urea subsidi yang diproduksi oleh PT Petrokimia Gresik.
2. Area distribusi yang dibahas dalam penelitian ini berfokus pada Kabupaten Mojokerto.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan uraian dari latar belakang permasalahan dan perumusan masalah yang telah dijelaskan, maka tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi sistem distribusi pupuk urea yang terjadi pada PT Petrokimia Gresik.
2. Melakukan pemodelan distribusi pupuk urea PT Petrokimia Gresik di Kabupaten Mojokerto menggunakan model sistem dinamik.
3. Mengembangkan skenario model sistem dinamik untuk meningkatkan kinerja operasional pada distribusi pupuk urea PT Petrokimia Gresik di Kabupaten Mojokerto, khususnya pada biaya distribusi yang dikeluarkan.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi perusahaan, penelitian ini dapat dijadikan bahan pertimbangan untuk melakukan perencanaan distribusi pupuk urea pada Kabupaten Mojokerto. Diharapkan, dari pemodelan sistem dinamik yang dilakukan pada penelitian ini, hal tersebut dapat membantu pihak PT Petrokimia Gresik untuk dapat meningkatkan kinerja dari proses distribusi pupuk urea pada area Kabupaten Mojokerto.
2. Bagi peneliti, diharapkan penelitian ini dapat dijadikan sebagai sarana pembelajaran dalam mengembangkan model kinerja distribusi pupuk urea.

## 1.6 Relevansi

Penelitian ini mengangkat topik mengenai pembuatan model sistem dinamik, dimana topik tersebut merupakan salah satu bidang keilmuan yang termasuk dalam lingkup penelitian Laboratorium Sistem Enterprise. Laboratorium Sistem Enterprise (SE) Departemen Sistem Informasi memiliki empat topik utama. Keempat topik tersebut diantaranya yaitu *customer relationship management* (CRM), *enterprise resource planning* (ERP), *supply chain management* (SCM) dan *business process management* (BPM). Dalam penelitian yang dikerjakan oleh penulis, *supply chain management* (SCM) menjadi topik utama yang menjadi pembahasan dalam penelitian ini. Penelitian ini sekaligus memiliki keterkaitan dengan mata kuliah Manajemen Rantai Pasok (MRP) dan juga Sistem Pendukung Keputusan Berbasis Model (SKBM). Berdasarkan topik dan relevansi dengan mata kuliah yang telah disebutkan, dapat dikatakan bahwa penelitian ini telah memiliki relevansi sesuai dengan kerangka kerja riset yang dimiliki oleh Laboratorium Sistem Enterprise pada Departemen Sistem Informasi.





**Gambar 1.1 Kerangka Kerja Laboratorium Sistem Enterprise**

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab tinjauan pustaka ini akan menjelaskan tinjauan pustaka atau referensi yang terkait dengan penelitian tugas akhir. Terdiri atas penjelasan mengenai studi yang telah dilakukan sebelumnya dan teori pendukung yang dapat membantu pemahaman selama pengerjaan tugas akhir.

### 2.1. Penelitian Sebelumnya

Beberapa penelitian yang telah dilakukan terlebih dahulu digunakan sebagai pedoman dan referensi dalam tugas akhir ini. Penelitian-penelitian tersebut dapat dilihat pada tabel 2.1:

**Tabel 2.1 Penelitian Sebelumnya**

No.	Penelitian Sebelumnya	
1.	Judul Paper	<i>Dynamic Simulation Model to Enhance Market Share of Liquid Fertilizer Industry</i>
	Penulis dan Tahun	Erma Suryani dan Hanim Maria Astuti, 2011.
	Deskripsi Umum Penelitian	Penelitian ini dilakukan untuk meningkatkan pangsa pasar dari industri pupuk yang berbentuk cairan (liquid fertilizer). Penelitian ini menggunakan simulasi sistem dinamik sebagai metode untuk meningkatkan penjualan dari industri pupuk cair, sehingga dapat meningkatkan pangsa pasar dari pupuk cair tersebut. Pada penelitian ini, dilakukan lima tahapan dalam rangka untuk membuat model sistem dinamik. Pertama, dilakukan artikulasi permasalahan. Kedua, melakukan hipotesis. Ketiga, melakukan formulasi dari model yang

		akan dibuat. Keempat, melakukan pengujian. Kelima sekaligus menjadi yang terakhir adalah melakukan evaluasi dari hasil simulasi yang telah dilakukan, sekaligus memformulasikan strategi yang potensial [5].
	Keterkaitan Penelitian	Pada literatur ini dapat digunakan sebagai acuan dalam melakukan pengerjaan tugas akhir ini dimana konsep metode simulasi sistem dinamik dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah yang berkaitan dengan produk komoditas pupuk. Literatur ini melakukan langkah-langkah dalam menyelesaikan sebuah permasalahan dengan menggunakan pendekatan sistem dinamik. Sehingga, literatur ini dapat digunakan untuk membantu memodelkan sebuah permasalahan, dan menyelesaikannya menggunakan pendekatan sistem dinamik.
2.	Judul Paper	<i>System Dynamics Simulation Model to Increase Paddy Production for Food Security</i>
	Penulis dan Tahun	Mala Rosa Aprillya, Erma Suryani, dan Anisa Dzulkarnain, 2019.
	Deskripsi Umum Penelitian	Penelitian ini menggunakan metode sistem dinamik untuk meningkatkan kualitas hasil padi dalam mendukung upaya ketahanan pangan. Nantinya, hasil dari pemodelan tersebut dapat digunakan sebagai alat bagi pemerintah dan pemangku

		<p>kepentingan dalam mengembangkan strategi terkait dengan upaya untuk memastikan ketahanan pangan. Dalam penelitian ini dijelaskan bahwa produksi beras dipengaruhi oleh luas panen, produktivitas padi, dan mekanisme panen serta pasca panen. Sementara itu, produktivitas padi tergantung pada varietas benih, ketersediaan irigasi, pemupukan, dan serangan hama [6].</p>
	Keterkaitan Penelitian	<p>Literatur ini dapat digunakan sebagai acuan dalam melakukan pengerjaan tugas akhir, karena literatur ini menggunakan metode sistem dinamik untuk menyelesaikan problematika yang ada. Pada literatur ini dilakukan langkah-langkah untuk menyelesaikan sebuah permasalahan dengan menggunakan pendekatan sistem dinamik. Sehingga, literatur ini dapat digunakan untuk membantu memodelkan sebuah permasalahan, dan menyelesaikannya menggunakan pendekatan sistem dinamik.</p>
3.	Judul Paper	<p>Model Sistem Dinamik untuk Meningkatkan Rasio Pemenuhan dan Efisiensi pada Manajemen Rantai Pasok Biodiesel Nasional</p>
	Penulis dan Tahun	<p>Ashma Hanifah Shalihah, 2017.</p>
	Deskripsi Umum Penelitian	<p>Dengan menggunakan model simulasi dinamik, penelitian ini berusaha untuk merancang skenario yang diperkirakan dapat memperbaiki</p>

		kondisi rantai pasok biodiesel. Selain itu, penelitian ini dilakukan untuk membantu pencapaian target mandatori dari pemerintah, sekaligus juga mengoptimalkan penggunaan biodiesel sebagai bahan bakar terbarukan [7].
	Keterkaitan Penelitian	Penelitian berbentuk Tugas Akhir ini menggunakan metode sistem dinamik untuk menyelesaikan problematika yang ada. Oleh karena itu, penelitian ini dapat dijadikan sebagai acuan. Penelitian berbentuk Tugas Akhir ini memodelkan sebuah permasalahan, dan menyelesaikannya menggunakan pendekatan sistem dinamik. Pemodelan sistem dinamik yang dilakukan pada penelitian dapat dijadikan acuan dalam membantu pengerjaan Tugas Akhir ini.
4.	Judul Paper	<i>Using System Dynamics Approach in Modeling the Integrated Farming Scenario to Increase Cassava Production in Indonesia</i>
	Penulis dan Tahun	Bambang Yudi, Maman Haeruman, Dini Rochdiani, dan Elly Rasmikayati, 2016.
	Deskripsi Umum Penelitian	Penelitian ini menggunakan pendekatan model sistem dinamik untuk meningkatkan produksi singkong di Indonesia. Selain untuk meningkatkan produksi singkong, model ini juga dapat digunakan untuk mensimulasikan skenario kebijakan

		dan memperkirakan kinerja model tersebut di masa mendatang [8].
	Keterkaitan Penelitian	Literatur ini menggunakan metode sistem dinamik untuk menyelesaikan problematika yang ada. Oleh karena itu, literatur ini dapat digunakan sebagai acuan dalam mengerjakan Tugas Akhir. Pada literatur ini dilakukan langkah-langkah untuk menyelesaikan sebuah permasalahan dengan menggunakan pendekatan sistem dinamik. Sehingga, literatur ini dapat digunakan untuk membantu memodelkan sebuah permasalahan, dan menyelesaikannya menggunakan pendekatan sistem dinamik.

## 2.2. Dasar Teori

Pada bagian ini, akan dijelaskan teori-teori yang menjadi landasan dalam mendukung penelitian ini.

### 2.2.1. Sistem distribusi

Distribusi berkaitan dengan alokasi barang yang dikirimkan oleh pengirim kepada sang penerima. Namun, secara umum distribusi adalah sebuah kegiatan yang didalamnya terdapat aktivitas perpindah material dan/atau kekuatan ekonomi, dimana perpindahan tersebut dapat berupa barang yang berwujud (*tangible*) maupun yang tidak berwujud (*intangible*) dari suatu subjek ekonomi ke subjek ekonomi lainnya. Dalam penelitiannya, Domschke dan Schield pada tahun 1994 menyatakan bahwa distribusi mencakup sistem dari semua aktivitas yang terkait dengan perpindahan barang yang bernilai ekonomi antara produsen dan konsumen. Dalam ranah barang-barang manufaktur, perpindahan tersebut memerlukan persiapan yang terkoordinasi sesuai dengan jenis dan volume serta ruang dan waktu yang dimiliki oleh barang tersebut

sehingga tenggat waktu pasokan dapat dipenuhi (order fulfillment) atau perkiraan permintaan dapat dipenuhi secara efisien [9].

### **2.2.2. Pupuk urea**

Pupuk Urea adalah salah satu jenis pupuk tunggal yang memiliki kandungan zat N (Nitrogen) yang tinggi. Dalam satu kemasan pupuk urea, zat Nitrogen yang terkandung mencapai 45-46%. Urea itu sendiri adalah zat yang mudah larut. Sehingga, pupuk urea yang diberikan pada tanaman dapat dengan lebih cepat terserap sebagai nutrisi bagi pertumbuhan tanaman tersebut. Namun, pupuk urea tentu memiliki kelemahan. Jika pupuk urea ini diaplikasikan ke permukaan tanah saja dan tidak dimasukkan ke dalam tanah, maka kandungan Nitrogen yang terdapat pada pupuk urea tersebut dapat mengalami kehilangan kandungan yang cukup tinggi. Kehilangan zat urea atau Nitrogen tersebut ke udara dapat mencapai 40% dari seluruh urea atau Nitrogen yang telah diaplikasikan [10]. Sebagai salah satu perusahaan pupuk terbesar yang terletak di Provinsi Jawa Timur, PT Petrokimia Gresik menyediakan pupuk urea sebagai salah satu produk unggulannya. Pupuk Urea yang diproduksi oleh PT Petrokimia Gresik di distribusikan ke 22 kota/kabupaten yang terdapat di seluruh Jawa Timur. Pupuk tersebut dikemas dalam kantong dengan isi 50 Kg dan memiliki warna putih untuk pupuk urea non subsidi dan berwarna merah muda untuk pupuk urea yang bersubsidi.

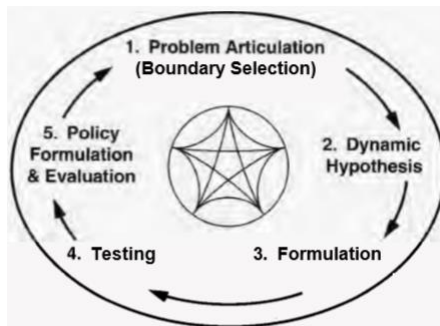
### **2.2.3. Simulasi sistem**

Simulasi merupakan sebuah teknik penyusunan model dari suatu keadaan nyata (sistem). Kemudian, dari model tersebut dilakukan percobaan. Simulasi merupakan salah satu metode kuantitatif yang fleksibel. Umumnya, penggunaan simulasi tepat digunakan untuk menganalisa interaksi masalah yang rumit dari sistem sedangkan penggunaan teknik analisa yang ada sangat terbatas. Simulasi dapat pula berguna untuk mengetahui pengaruh atau akibat dari suatu keputusan dalam



periode waktu tertentu. Dalam kata lain, simulasi sistem adalah teknik menyusun model untuk sebuah keadaan yang ada [11].

Dirancangnya sebuah model tentu memiliki tujuan yang ingin dicapai. Sebuah model dirancang agar perilaku yang terjadi pada suatu sistem yang dimodelkan tersebut dapat diketahui, sehingga dapat memperoleh pengetahuan dan dapat melihat lebih ke dalam isi perilaku sistem tersebut. Salah satu manfaat yang ditemukan dari penggunaan metode simulasi sistem, banyak ditemukan pada bidang perindustrian. Dengan melakukan pemodelan yang dilanjutkan dengan melakukan simulasi sistem, maka keadaan dari suatu sistem tersebut dapat diuji dan diketahui pengaruh beserta akibatnya, ketika dilakukan simulasi dengan merubah maupun melakukan modifikasi pada berbagai parameter maupun variabel yang ada [12].



**Gambar 2.1 Tahapan dalam Pengembangan Sistem**

Dalam mengembangkan model sistem dinamik, ada beberapa tahapan yang harus dilakukan. Menurut Sterman, tahapan-tahapan untuk mengembangkan model diantaranya adalah [4]:

### ***1. Problem articulation***

Sebelum melakukan pengembangan model, hal terpenting yang harus dilakukan adalah melakukan artikulasi permasalahan. Mengetahui permasalahan yang terdapat pada sistem serta memahami tujuan dilakukannya pemodelan adalah unsur terpenting untuk keberhasilan sebuah model. Agar sebuah model dapat berguna, model tersebut harus mengatasi masalah tertentu dan menyederhanakannya, daripada memodelkan

keseluruhan sistem secara detail. Pada tahapan ini, terdapat dua proses yang dilakukan:

a. ***Theme selection***

Sebelum melakukan proses *modelling* penting bagi seorang pemodel untuk mengetahui permasalahan apakah yang akan diatasi. Selain itu, tujuan model juga perlu diutarakan dengan jelas. Agar sebuah model dapat bermanfaat dan dapat mengatasi permasalahan yang ada, model tersebut harus memiliki tujuan yang jelas dan mengatasi masalahnya, serta membuatnya menjadi lebih sederhana daripada mencoba untuk mencerminkan seluruh sistem secara rinci.

b. ***Defining key variables***

Sebuah model yang dapat menyelesaikan masalah harus memiliki batasan tentang apa saja variabel yang perlu untuk berada di dalam model dan apa saja variabel yang tidak perlu. Hal selanjutnya adalah memberikan kriteria-kriteria untuk memutuskan apa yang dapat diabaikan sehingga hanya fitur-fitur penting yang diperlukan untuk memenuhi tujuan dikembangkannya model tersebut.

c. ***Setting the time horizon***

*Time Horizon* atau jangka waktu sebaiknya memiliki gambaran ke belakang yang cukup jauh, sehingga dapat menunjukkan bagaimana suatu masalah dapat terjadi, serta menggambarkan gejala dari masalah tersebut. Selain itu, jangka waktu juga harus diperpanjang ke masa depan agar dapat melihat pengaruhnya terhadap kebijakan yang diterapkan

d. ***Dynamic problem definition (reference modes)***

*Reference modes* atau mode referensi adalah satu set grafik dan data deskriptif lainnya yang menunjukkan perkembangan masalah dari waktu ke waktu. Hal ini diperlukan agar perkembangan dari perilaku sistem dari waktu ke waktu dapat diketahui, sehingga kemunculan sebuah permasalahan di masa mendatang dapat segera diketahui.

## 2. *Formulation of Dynamic hypothesis*

Hipotesis dinamik adalah sebuah teori yang dikembangkan untuk menjelaskan perilaku dari permasalahan terkait. Sebuah hipotesis dinamik menjelaskan tentang bagaimana permasalahan pada suatu sistem dapat terjadi, yang dapat membantu jalannya proses pemodelan agar fokus ke struktur atau bagian-bagian tertentu. Berikut ini adalah beberapa tahapannya:

### a. *Initial hypothesis generation*

Sebuah masalah terjadi karena penyebab tertentu. Oleh karena itu, dilakukan hipotesis awal untuk dapat memperkirakan penyebab awal terjadinya permasalahan pada sistem tersebut.

### b. *Endogenous focus*

Melakukan pemodelan pada sebuah sistem memiliki fokus terhadap variabel yang bersifat endogen. Variabel endogen adalah variabel yang mempengaruhi variabel lainnya yang terdapat pada sistem.

### c. *Mapping*

Pemodelan sistem dinamik menggunakan berbagai alat bantu yang dapat digunakan untuk mengomunikasikan batasan pada model serta merepresentasikan struktur penyebabnya. Beberapa alat bantu tersebut adalah; *Model boundary chart*, *subsystem diagram*, *causal loop diagram*, dan *stock and flow maps*.

## 3. *Formulation of a simulation model*

Ketika hipotesis dinamik, batasan model, dan model konseptual selesai dikembangkan, maka selanjutnya akan dilakukan pengujian. Dalam beberapa kesempatan, hipotesis dinamik dapat diuji secara langsung melalui pengumpulan data atau eksperimen pada sistem nyata. Namun pada kasus lainnya, eksperimen pada sistem nyata tidak mungkin untuk dilakukan sehingga perlu dilakukan percobaan pada dunia virtual. Untuk melakukannya, maka perlu dilakukan formalisasi model konseptual. Dengan melakukan formalisasi model konseptual,

maka konsep-konsep yang tidak jelas dan kontradiksi yang terdapat pada model dapat terselesaikan. Terdapat beberapa tahapan pada formulasi model; membuat spesifikasi dari struktur sistem beserta aturan dalam pengambilan keputusan, melakukan estimasi terhadap parameter, rumus perhitungan, serta kondisi awal pada model. Dan yang tahapan terakhir adalah melakukan berbagai macam pengujian untuk mengidentifikasi kekurangan dalam formulasi yang diusulkan dan meningkatkan pemahaman tentang sistem.

#### **4. *Testing***

Pengujian dilakukan untuk membandingkan perilaku pada sistem saat dilakukan simulasi dengan perilaku nyata dari sistem yang ada. Terdapat beberapa jenis pengujian, diantaranya adalah:

**a. *Boundary adequacy test***

Pengujian dilakukan terhadap kesesuaian pada batasan model terhadap tujuan pengembangan model. Pengujian ini dapat dilakukan dengan memastikan kelengkapan dan kesesuaian dari semua persamaan yang termasuk dalam variabel eksogen.

**b. *Structure assesment test***

Dilakukan pengujian terhadap kesesuaian struktur model, apakah konsisten dengan pengetahuan mengenai sistem nyata yang ada. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah model yang dikembangkan masuk akal dan tidak menyalahi aturan atau hukum dasar yang berlaku.

**c. *Dimensional concistency test***

Tahapan ini memastikan apakah satuan yang diberikan pada setiap variabel sudah konsisten dan masuk akal sesuai dengan kondisi yang ada pada dunia nyata, dengan melakukan inspeksi terhadap persamaan pada setiap variabel.

**d. *Parameter assessment***

Pengujian ini dilakukan dengan memastikan apakah setiap konstanta maupun variabel memiliki makna yang jelas dan sesuai dengan kondisi pada dunia nyata.

**e. *Extreme condition test***

Nilai ekstrim dimasukkan sebagai input pengujian, dimana pada dunia nyata nilai tersebut memiliki kemungkinan terjadi yang sangat kecil. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah model tetap berperilaku secara realistis walaupun dengan input yang memiliki nilai yang ekstrim.

**f. *Integration error test***

Pengujian dilakukan terhadap *time step* yang digunakan pada model, apakah hasil dari simulasi sensitif terhadap *time step*. Pengujian ini dapat dilakukan dengan memotong langkah waktu menjadi dua dan menjalankan modelnya.

**g. *Behaviour reproduction test***

Untuk melakukan pengujian ini, digunakan statistik deskriptif. Pengujian ini dilakukan untuk menghitung nilai *error* antara kumpulan data dengan hasil model dilakukan di setiap titik data yang ada.

**h. *Behaviour anomaly test***

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa penting sebuah relationship yang terdapat pada model. Jika modifikasi atau eliminasi relationship menyebabkan terjadinya perilaku anomali pada model, maka relationship tersebut adalah relationship yang penting.

**i. *Family member test***

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah model yang dikembangkan dapat merepresentasikan perilaku dari sistem lain yang memiliki kelas yang sama.

**j. *Surprise behaviour test***

*Surprise behaviour test* adalah pengujian untuk mengetahui apakah terjadi perilaku tertentu pada model ketika terjadi kondisi yang sebelumnya tidak dikenali atau tidak pernah terjadi.

**k. *Sensivity analysis***

Karena sebenarnya tidak ada model yang benar, maka perlu dilakukan pengujian terhadap ketidakpastian asumsi. Analisis sensitivitas dilakukan untuk

mengetahui apakah kesimpulan yang didapatkan dapat berubah ketika terdapat variasi pada asumsi

1. ***System improvement test***

Tujuan akhir pemodelan adalah untuk menyelesaikan masalah. *System Improvement Test* melakukan penilaian apakah proses pemodelan membantu mengubah sistem menjadi lebih baik.

5. ***Policy design and evaluation***

Setelah sebuah model dirasa telah memiliki struktur dan perilaku yang tepat, model tersebut dapat digunakan untuk melakukan perancangan dan evaluasi kebijakan. Merancang kebijakan tidak hanya sekedar melakukan perubahan pada parameter, namun merancang kebijakan dapat mencakup pembuatan strategi atau bahkan struktur yang sepenuhnya baru. Selain itu, pengaruh serta sensitivitas sebuah kebijakan terhadap ketidakpastian dalam parameter dan struktur model harus dinilai, termasuk kinerjanya pada berbagai skenario alternatif. Hal tersebut disebabkan karena kondisi dari sistem nyata yang sangat tidak linear, sehingga dampak dari suatu kebijakan dapat berpengaruh besar terhadap kebijakan lainnya.

**2.2.4. *Causal loop diagram***

Diagram Kausal atau lazim disebut *Causal Loop Diagram*, adalah diagram yang menjelaskan hubungan antara elemen pada suatu sistem. Diagram Kausal menggunakan umpan balik untuk menjelaskan proses yang ada. *Causal Loop Diagram* atau yang biasa disingkat CLD melakukan pemetaan struktur dan umpan balik pada sebuah sistem, sehingga mekanisme umpan balik antar elemen pada suatu sistem dapat dipahami. Selain itu, CLD digunakan untuk memahami perilaku dalam suatu sistem, sehingga dapat dilakukan formulasi strategi yang tepat untuk menangani perilaku tersebut [13].

Secara garis besar, sebuah CLD memuat beberapa variabel yang saling terhubung dengan anak panah. Anak panah tersebut merepresentasikan hubungan yang terjadi antara kedua variabel yang saling dihubungkan oleh anak panah. Tanda positif pada anak panah menandakan bahwa hubungan antara kedua variabel

tersebut searah. Sebaliknya, jika tanda pada anak panah negatif berarti hubungan antara kedua variabel tersebut saling berlawanan. Hubungan antara beberapa variabel yang membentuk sebuah *loop*, dapat dikategorikan sebagai *balancing loop* ataupun *reinforcing loop*. *Reinforcing loop* adalah hubungan antara variabel yang saling menguatkan, ditandai dengan semua tanda anak panah yang positif maupun memiliki tanda negatif berjumlah genap. Sedangkan *Balancing loop* adalah hubungan antara variabel yang seimbang, ditandai dengan adanya tanda anak panah negatif yang berjumlah ganjil.

### **2.2.5. Stock and flow diagram**

*Stock and Flow Diagram* atau biasa disingkat sebagai SFD adalah diagram yang merepresentasikan kinerja sebuah model dengan lebih detail dan tepat daripada *Causal Loop Diagram*. Dalam kata lain, *Stock and Flow Diagram* ini adalah bentuk pengembangan dari CLD yang sudah ada, sedangkan CLD itu sendiri merupakan dasar dari SFD yang nantinya akan dibuat. *Stock and Flow Diagram* memiliki beberapa komponen, diantaranya ada stock (level), flow (rate), auxiliary, dan system boundary (source/sink). Masing-masing komponen tersebut memiliki peran dan kontribusinya masing-masing dalam menciptakan sebuah model yang representatif dan dapat dihitung [11].

Penggunaan *Stock and Flow Diagram* ini memiliki beberapa keuntungan. Sebuah SFD memiliki banyak informasi mengenai model yang dibuat. Secara grafis, SFD menampilkan hubungan antara stock (level) dengan flow (rate), dimana informasi yang diperoleh mengenai model tersebut lebih detail apabila dibandingkan dengan CLD [14].

Selain itu, memodelkan dengan menggunakan *Stock and Flow Diagram* menjadikan sistem yang ada dapat dikalkulasi dan dilakukan simulasi. Dengan melakukan simulasi pada *Stock and Flow Diagram* yang telah dirancang, maka keadaan dari suatu sistem tersebut dapat diuji dan diketahui pengaruh beserta akibatnya, ketika dilakukan simulasi dengan merubah maupun

melakukan modifikasi pada berbagai parameter maupun variabel yang ada.

#### **2.2.6. Vensim**

Vensim adalah perangkat lunak yang dikembangkan oleh Ventana Systems UK Ltd. Vensim memiliki fungsi utama yakni melakukan simulasi pada sebuah sistem, dalam rangka untuk meningkatkan kinerja sistem nyata. Perangkat lunak ini dapat digunakan untuk mengembangkan berbagai jenis model, sebagai contoh *Stock and Flow Diagram* dan *Causal Loop Diagram*. Selain kemampuannya dalam menciptakan model yang berkualitas, Vensim memiliki fleksibilitas yang tinggi karena dapat terhubung dengan data, terdistribusi secara fleksibel, dan memiliki algoritma yang canggih. Selain itu, Vensim juga menyediakan konfigurasi yang sangat luas, agar lebih mudah digunakan oleh berbagai kalangan, dari mulai siswa hingga profesional [15].

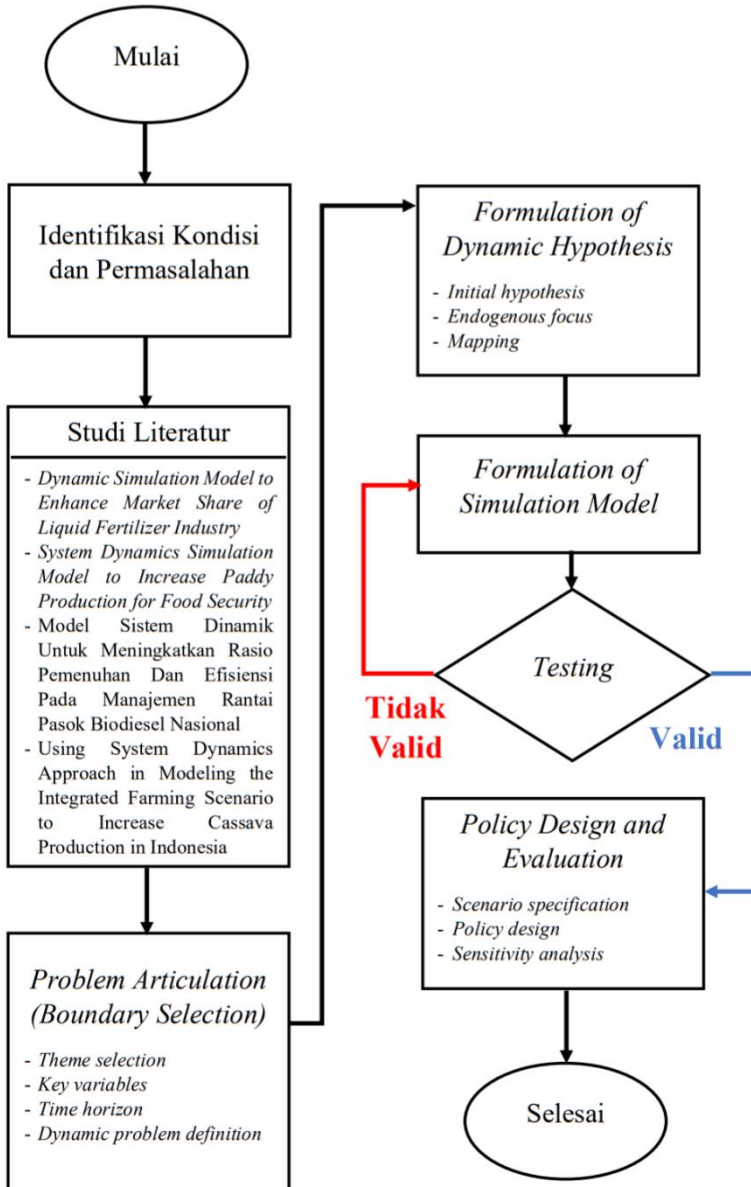


## **BAB III METODOLOGI**

Pada bagian ini, akan dijelaskan uraian metodologi yang akan digunakan dalam pengerjaan tugas akhir yang meliputi tahapan pelaksanaan tugas akhir beserta uraiannya.

### **3.1. Diagram Metodologi**

Gambar 3.1 yang akan ditampilkan pada halaman selanjutnya menjelaskan mengenai alur metodologi yang akan dilakukan untuk menyelesaikan penelitian tugas akhir.



Gambar 3.1 Diagram Metodologi

## **3.2. Uraian Metodologi**

Pada uraian metodologi ini akan dijelaskan seluruh tahapan yang dilakukan selama penelitian tugas akhir, berdasarkan pada metodologi yang telah digambarkan pada bagian sebelumnya.

### **3.2.1 Identifikasi kondisi dan permasalahan**

Tahapan ini merupakan tahapan pertama yang dilakukan dalam pengerjaan tugas akhir. Kondisi dan permasalahan yang saat ini terjadi dijabarkan, agar pengerjaan tugas akhir dapat berlangsung dengan maksimal. Salah satu permasalahan terkait distribusi pupuk yang saat ini terjadi di PT Petrokimia Gresik adalah kurangnya efektivitas pada proses distribusinya, terutama pada besarnya biaya distribusi yang dikeluarkan. Selain itu, kapasitas produksi yang dilakukan terkadang kurang seimbang antara satu periode dengan yang lainnya. Akibatnya, pupuk tersebut berpotensi untuk diterima oleh para petani dengan harga yang lebih mahal, yang dapat mengakibatkan turunya pendapatan yang diperoleh para petani.

### **3.2.2 Studi literatur**

Studi literatur adalah kegiatan mengumpulkan pengetahuan dari berbagai referensi seperti buku, jurnal, dan data-data dari website yang terpercaya. Studi literatur ini dilakukan untuk menunjang pengerjaan penelitian, sehingga penelitian yang dilakukan telah memiliki dasar dari pengetahuan atau ide yang sudah ada. Studi literatur yang dilakukan menggunakan topik yang dipilih, yaitu simulasi sistem dinamik dan distribusi untuk distribusi pupuk, serta dampaknya terhadap produktivitas hasil pertanian.

### **3.2.3 *Problem articulation (boundary selection)***

Pada tahapan ini, akan dilakukan artikulasi permasalahan untuk mengetahui permasalahan yang sebenarnya terjadi pada sistem. Mengetahui permasalahan yang terdapat pada sistem serta memahami tujuan dilakukannya pemodelan adalah unsur terpenting untuk keberhasilan sebuah model. Agar sebuah model dapat berguna, model tersebut harus mengatasi masalah

tertentu dan menyederhanakannya, daripada memodelkan keseluruhan sistem secara detail. Pada tahapan ini, terdapat dua proses yang dilakukan:

a. ***Theme selection***

Sebelum melakukan proses *modelling* penting bagi seorang pemodel untuk mengetahui permasalahan apakah yang akan diatasi. Selain itu, tujuan model juga perlu diutarakan dengan jelas. Agar sebuah model dapat bermanfaat dan dapat mengatasi permasalahan yang ada, model tersebut harus memiliki tujuan yang jelas dan mengatasi masalahnya, serta membuatnya menjadi lebih sederhana daripada mencoba untuk mencerminkan seluruh sistem secara rinci.

b. ***Defining key variables***

Sebuah model yang dapat menyelesaikan masalah harus memiliki batasan tentang apa saja variabel yang perlu untuk berada di dalam model dan apa saja variabel yang tidak perlu. Hal selanjutnya adalah memberikan kriteria-kriteria untuk memutuskan apa yang dapat diabaikan sehingga hanya fitur-fitur penting yang diperlukan untuk memenuhi tujuan dikembangkannya model tersebut.

c. ***Setting the time horizon***

*Time Horizon* atau jangka waktu sebaiknya memiliki gambaran ke belakang yang cukup jauh, sehingga dapat menunjukkan bagaimana suatu masalah dapat terjadi, serta menggambarkan gejala dari masalah tersebut. Selain itu, jangka waktu juga harus diperpanjang ke masa depan agar dapat melihat pengaruhnya terhadap kebijakan yang diterapkan.

d. ***Dynamic problem definiton (reference modes)***

*Reference modes* atau mode referensi adalah satu set grafik dan data deskriptif lainnya yang menunjukkan perkembangan masalah dari waktu ke waktu. Hal ini diperlukan agar perkembangan dari perilaku sistem dari waktu ke waktu dapat diketahui, sehingga kemunculan sebuah permasalahan di masa mendatang dapat segera diketahui.

### 3.2.4 *Formulation of dynamic hypothesis*

*Dynamic hypothesis* atau hipotesis dinamik adalah sebuah teori yang dikembangkan untuk menjelaskan perilaku dari permasalahan terkait. Sebuah hipotesis dinamik menjelaskan tentang bagaimana permasalahan pada suatu sistem dapat terjadi, yang dapat membantu jalannya proses pemodelan agar fokus ke struktur atau bagian-bagian tertentu. Berikut ini adalah beberapa tahapannya:

#### a. *Initial hypothesis generation*

Sebuah masalah terjadi karena penyebab tertentu. Oleh karena itu, dilakukan hipotesis awal untuk dapat memperkirakan penyebab awal terjadinya permasalahan pada sistem tersebut.

#### b. *Endogenous focus*

Melakukan pemodelan pada sebuah sistem memiliki fokus terhadap variabel yang bersifat endogen. Variabel endogen adalah variabel yang mempengaruhi variabel lainnya yang terdapat pada sistem.

#### c. *Mapping*

Pemodelan sistem dinamik menggunakan berbagai alat bantu yang dapat digunakan untuk mengomunikasikan batasan pada model serta merepresentasikan struktur penyebabnya. Beberapa alat bantu tersebut adalah; *Model boundary chart*, *subsystem diagram*, *causal loop diagram*, dan *stock and flow maps*.

### 3.2.5 *Formulation of simulation model*

Ketika hipotesis dinamik, batasan model, dan model konseptual selesai dikembangkan, maka selanjutnya akan dilakukan pengujian. Dalam beberapa kesempatan, hipotesis dinamik dapat diuji secara langsung melalui pengumpulan data atau eksperimen pada sistem nyata. Namun pada kasus lainnya, eksperimen pada sistem nyata tidak mungkin untuk dilakukan sehingga perlu dilakukan percobaan pada dunia virtual. Untuk melakukannya, maka perlu dilakukan formalisasi model

konseptual. Dengan melakukan formalisasi model konseptual, maka konsep-konsep yang tidak jelas dan kontradiksi yang terdapat pada model dapat terselesaikan. Terdapat beberapa tahapan pada formulasi model; membuat spesifikasi dari struktur sistem beserta aturan dalam pengambilan keputusan, melakukan estimasi terhadap parameter, rumus perhitungan, serta kondisi awal pada model. Dan yang tahapan terakhir adalah melakukan berbagai macam pengujian untuk mengidentifikasi kekurangan dalam formulasi yang diusulkan dan meningkatkan pemahaman tentang sistem.

### **3.2.6 Testing**

Pada tahapan ini, akan dilakukan beberapa pengujian yang harus dilalui. Pada bukunya yang berjudul *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*, Sterman memaparkan berbagai jenis pengujian yang harus dilalui agar sebuah model dapat dinyatakan valid. Tahapan-tahapan tersebut diantaranya adalah [4]:

#### **1. Boundary Adequacy**

Tahapan ini melakukan pengujian terhadap kesesuaian pada batasan model atau *model boundaries* terhadap tujuan pengembangan model. Pengujian ini dapat dilakukan dengan memastikan kelengkapan dan kesesuaian dari semua persamaan yang termasuk dalam variabel eksogen, dimana variabel eksogen tersebut adalah konstanta yang terdapat pada model. Pengujian ini dapat dilakukan dengan menggunakan *model boundary charts*, *subsystem diagram*, melakukan analisis terhadap *causal loop diagram* dan *stock and flow diagram*, melakukan wawancara dengan pihak yang terkait, ataupun melakukan studi literatur.

#### **2. Structure Assessment**

Pada tahapan ini dilakukan pengujian terhadap kesesuaian pada struktur model, apakah struktur tersebut sudah konsisten dengan pengetahuan mengenai sistem nyata yang ada. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah model yang dikembangkan masuk

akal dan tidak menyalahi aturan atau hukum dasar yang berlaku, seperti hukum fisika. Pengujian ini dilakukan dengan melakukan analisis pada *subsystem diagram*, *causal loop diagram* dan *stock and flow diagram*.

3. ***Dimensional Consistency***

*Dimensional consistency* merupakan salah satu pengujian mendasar dan menjadi salah satu pengujian yang dilakukan terlebih dahulu. Tahapan ini memastikan apakah satuan yang diberikan pada setiap variabel sudah konsisten dan masuk akal sesuai dengan kondisi yang ada pada dunia nyata. Satu-satunya cara untuk melakukan pengujian ini adalah dengan inspeksi langsung terhadap persamaan pada setiap variabel. Variabel dengan nama yang tidak berarti, kombinasi satuan yang aneh, atau parameter tanpa dimensi adalah hal yang tidak boleh ditoleransi.

4. ***Parameter Assessment***

Pengujian ini dilakukan dengan memastikan apakah setiap konstanta maupun variabel memiliki makna yang jelas dan sesuai dengan kondisi pada dunia nyata. Nilai pada parameter harus diperkirakan dengan teliti. Pengujian ini dapat dilakukan dengan melakukan pengamatan secara langsung, menggunakan pendapat para ahli yang diperoleh dari wawancara, ataupun melakukan studi literatur.

5. ***Extreme Condition Test***

*Extreme condition* merupakan pengujian pada model dengan memasukkan nilai ekstrim sebagai *input* pengujian, dimana pada dunia nyata nilai tersebut memiliki kemungkinan terjadi yang sangat kecil. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah model tetap berperilaku secara realistis walaupun dengan *input* yang memiliki nilai yang ekstrim. Pengujian dengan kondisi ekstrim dapat dilakukan dengan dua cara utama: dengan inspeksi langsung dari persamaan model dan dengan simulasi.

6. ***Integration Error***

Pada model dinamik, langkah waktu (*time step*) digunakan untuk dapat memperkirakan dinamika dari model tersebut dari waktu ke waktu. *Integration Error Testing* melakukan pengujian terhadap *time step* yang digunakan pada model, apakah hasil dari simulasi sensitiv terhadap *time step*. Pengujian ini dapat dilakukan dengan memotong langkah waktu menjadi dua dan menjalankan modelnya. Jika hasilnya berubah, langkah waktu yang digunakan terlalu besar. *Integration Error Testing* harus menjadi tes simulasi pertama yang dilakukan, karena kegagalan di sini membuat semua hasil model menjadi tidak berarti.

## 7. **Behavior Reproduction**

Salah satu cara untuk melakukan *Behavior Reproduction Testing* adalah menggunakan statistik deskriptif. Dengan menggunakan statistik deskriptif, perhitungan *error* antara kumpulan data  $X_d$  dengan hasil model  $X$  dilakukan di setiap titik data yang ada. Berikut ini adalah perhitungan yang digunakan untuk menilai kesesuaian data dengan model:

### a. $R^2$

$$R^2 = r^2; r = \frac{1}{n} \sum \frac{(X_d - \overline{X_d})(X_m - \overline{m})}{S_d S_m}$$

**Gambar 1.2 Rumus Perhitungan  $R^2$**

Perhitungan yang paling banyak digunakan adalah  $R^2$ , atau yang biasa disebut koefisien determinasi.  $R^2$  melakukan pembagian pada varians data yang dikeluarkan oleh model. Jika data aktual dengan data pada model sama persis, maka  $R^2 = 1$ . Namun, jika output model konstan, maka  $R^2 = 0$ .

### b. MAE

$$MAE = \frac{1}{n} \sum |X_m - X_d|$$

**Gambar 3.3 Rumus Perhitungan MAE**



*Mean Absolute Error* adalah perhitungan yang digunakan untuk mengukur perbedaan pada dua variabel. Pada model dinamik, MAE digunakan untuk mengukur seberapa besar *error* yang terjadi antara data asli ( $X_d$ ) dengan data yang dihasilkan oleh model ( $X_m$ ).

c. **MSE**

$$MSE = \frac{1}{n} \sum |X - X_d|^2$$

**Gambar 3.4 Rumus Perhitungan MSE**

*Mean Square Error* adalah perhitungan yang digunakan untuk mengukur selisih antara data asli ( $X_d$ ) dengan data yang dihasilkan oleh model ( $X_m$ ). Variasi lain dari MSE adalah RMSE atau *Root Mean Square Error*, yaitu adalah akar dari nilai MSE.

8. ***Behavior Anomaly***

*Behavior Anomaly Test* adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui seberapa penting sebuah *relationship* yang terdapat pada model. Jika modifikasi atau eliminasi *relationship* menyebabkan terjadinya perilaku anomali pada model, maka *relationship* tersebut adalah *relationship* yang penting. Salah satu metode untuk melakukan *Behavior Anomaly Test* adalah dengan *Loop Knockout Analysis*. *Loop Knockout Analysis* sangat efektif penggunaannya ketika dikombinasikan dengan *Extreme Condition Testing*. Jika pada kondisi ekstrim *Loop Knockout Analysis* menghasilkan perilaku yang aneh, maka *relationship* tersebut adalah *relationship* yang penting dan harus dimasukkan ke dalam model.

9. ***Family Member***

*Family Member Test* adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui apakah model yang dikembangkan dapat merepresentasikan perilaku dari sistem lain yang memiliki kelas yang sama. *Family Member Test* sangat membantu ketika kelas sistem yang dibahas oleh model mencakup berbagai pola perilaku yang berbeda. Model yang baik adalah model yang dapat merepresentasikan beberapa mode lain yang berbeda.

### **10. *Surprise Behavior***

*Surprise Behavior Test* adalah pengujian untuk mengetahui apakah terjadi perilaku tertentu pada model ketika kondisi yang sebelumnya tidak dikenali. Pengujian ini dapat dilewati ketika model menghasilkan suatu perilaku tertentu, yang sebelumnya tidak dikenal, dan perilaku tersebut memang terjadi dalam sistem nyata. Agar *Surprise Behavior Test* ini menjadi efektif, analisis perilaku model perlu dilakukan secara detail dengan melihat perilaku yang terjadi pada semua variabel.

### **11. *Sensitivity Analysis***

Karena sebenarnya tidak ada model yang benar, maka perlu dilakukan pengujian terhadap ketidakpastian asumsi. Analisis sensitivitas dilakukan untuk mengetahui apakah kesimpulan yang didapatkan dapat berubah ketika terdapat variasi pada asumsi. Ada tiga jenis sensitivitas; *numerical*, *behavior mode*, dan *policy*.

#### **a. *Numerical Sensitivity***

Terjadi bila perubahan asumsi yang dilakukan turut mengubah nilai yang dihasilkan.

#### **b. *Behavior Mode Sensitivity***

Terjadi bila perubahan asumsi yang dilakukan turut mengubah pola perilaku yang dihasilkan oleh model.

#### **c. *Policy Sensitivity***

Terjadi bila perubahan asumsi yang dilakukan turut memberikan dampak terhadap kebijakan yang diusulkan.

### **12. *System Improvement***

Tujuan akhir pemodelan adalah untuk menyelesaikan masalah. *System Improvement Test* melakukan penilaian apakah proses pemodelan membantu mengubah sistem menjadi lebih baik. Agar dapat melewati tahapan pengujian ini, proses pemodelan harus dapat mengidentifikasi kebijakan yang mengarah pada perbaikan. Selain itu, pemodelan yang dilakukan harus memberikan efek positif terhadap kinerja sistem.

### ***3.2.7 Policy design and evaluation***

Setelah sebuah model dirasa telah memiliki struktur dan perilaku yang tepat, model tersebut dapat digunakan untuk melakukan perancangan dan evaluasi kebijakan. Merancang kebijakan tidak hanya sekedar melakukan perubahan pada parameter, namun merancang kebijakan dapat mencakup pembuatan strategi atau bahkan struktur yang sepenuhnya baru. Selain itu, pengaruh serta sensitivitas sebuah kebijakan terhadap ketidakpastian dalam parameter dan struktur model harus dinilai, termasuk kinerjanya pada berbagai skenario alternatif. Hal tersebut disebabkan karena kondisi dari sistem nyata yang sangat tidak linear, sehingga dampak dari suatu kebijakan dapat berpengaruh besar terhadap kebijakan lainnya.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB IV**

### **PERANCANGAN MODEL DAN IMPLEMENTASI**

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai tahapan-tahapan yang dilakukan dalam perancangan serta implementasi dari penelitian yang dilakukan. Beberapa tahapan tersebut meliputi pengumpulan data, identifikasi variabel, perancangan *causal loop diagram*, perancangan *stock and flow diagram*, analisis kondisi eksisting, serta verifikasi dan validasi.

#### **4.1. Pengumpulan Data**

Bagian ini akan menjelaskan beberapa data yang dibutuhkan untuk mendukung jalannya penelitian ini. Dalam rangka untuk mengembangkan model biaya distribusi pupuk, terdapat beberapa data yang dibutuhkan. Pengumpulan data yang digunakan untuk penelitian ini diperoleh dengan dua cara, yaitu wawancara kepada narasumber terkait serta mengumpulkan data dari perusahaan ataupun instansi yang terkait, dalam hal ini PT Petrokimia Gresik. Selain menggunakan data primer, penelitian ini menggunakan data sekunder berupa penelitian-penelitian yang telah dilakukan terdahulu, yang berkaitan dengan distribusi pupuk, biaya distribusi, dan pupuk urea. Data lainnya yang digunakan pada penelitian ini akan dijelaskan seiring dengan penjelasan pada pengembangan *causal loop diagram* dan *stock and flow diagram*. Beberapa data yang digunakan untuk mendukung penelitian ini, diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Data kapasitas produksi pupuk urea
2. Data alokasi pupuk urea yang disimpan di Gudang Gresik
3. Data pengeluaran pupuk urea dari Gudang Gresik
4. Data alokasi pengiriman pupuk urea kepada distributor
5. Data komponen biaya yang terdapat pada lini distribusi pupuk urea subsidi (Gudang gresik, gudang penyangga, dan distributor)

Data-data yang telah disebutkan diatas digunakan untuk mendukung proses pengembangan model, baik *causal loop*

*diagram* maupun *stock and flow diagram*. Data yang didapatkan tersebut memiliki rentang waktu yang sama, yaitu antara awal bulan Oktober 2019 hingga akhir bulan Maret 2020. Sebagian besar data yang didapatkan merupakan data yang memiliki satuan waktu harian selama kurun waktu 6 bulan, dengan total sebanyak 183 hari. Agar proses pengembangan model dapat berjalan dengan lebih sederhana maka data tersebut diringkas menjadi satuan waktu minggu, dengan total sebanyak 27 minggu. Agar pembagian data tersebut tidak ambigu, rincian penyederhanaan data tersebut dapat dilihat pada tabel 4.1.

**Tabel 4.1 Rentang Waktu yang Digunakan**

<b>Minggu ke-</b>	<b>Rentang tanggal</b>
1	1 – 5 Oktober 2019
2	6 – 2 Oktober 2019
3	13 – 19 Oktober 2019
4	20 – 26 Oktober 2019
5	27 Oktober – 2 November 2019
6	3 – 9 November 2019
7	10 – 16 November 2019
8	17 – 23 November 2019
9	24 – 30 November 2019
10	1 – 7 Desember 2019
11	8 – 14 Desember 2019
12	15 – 21 Desember 2019
13	22 – 28 Desember 2019
14	29 Desember 2019 – 4 Januari 2020
15	5 – 11 Januari 2020
16	12 – 18 Januari 2020

17	19 – 25 Januari 2020
18	26 Januari – 1 Februari 2020
19	2 – 8 Februari 2020
20	9 – 15 Februari 2020
21	16 – 22 Februari 2020
22	23 – 29 Februari 2020
23	1 – 7 Maret 2020
24	8 – 14 Maret 2020
25	15 – 21 Maret 2020
26	22 – 28 Maret 2020
27	29 – 31 Maret 2020

Data dalam satuan waktu per minggu tersebut merupakan hasil rata-rata dari data setiap harinya selama satu minggu. Data yang akan digunakan pada penelitian ini dibutuhkan untuk mendukung proses perancangan *causal loop diagram* maupun *stock and flow diagram*. Beberapa data tersebut antara lain adalah sebagai berikut:

#### **4.1.1. Data Kapasitas Produksi**

Data mengenai kapasitas produksi pupuk urea diperlukan untuk mengetahui seberapa banyak pupuk urea yang diproduksi setiap harinya. Karena satuan waktu yang digunakan adalah satuan waktu per minggu, data yang ditampilkan pada tabel 4.2 dibawah ini merupakan hasil dari rata-rata produksi setiap harinya selama kurun waktu satu minggu. Dapat dilihat pula pada tabel 4.2 tersebut bahwa produksi pupuk yang dilakukan memiliki fluktuasi yang tinggi. Rata-rata perhari paling banyak mencapai 3012,86 Ton setiap hari selama satu minggunya sedangkan rata-rata perhari paling sedikit hanya 9,21 Ton setiap hari selama satu minggu.

**Tabel 4.2 Kapasitas Produksi Pupuk Urea**

<b>Minggu ke-</b>	<b>Rata-Rata Produksi (Ton)</b>
1	2716,20
2	3012,86
3	2906,57
4	2912,00
5	2655,36
6	2803,93
7	2595,86
8	1676,14
9	2085,30
10	2294,14
11	2559,86
12	2416,29
13	2385,43
14	2583,00
15	1327,71
16	9,21
17	120,00
18	1789,50
19	2067,86
20	1303,29
21	2129,79
22	2056,29
23	2638,29
24	1325,79
25	765,64



26	832,93
27	2193,50

#### 4.1.2. Data Pupuk Urea yang Disimpan di Gudang Gresik

Data ini diperlukan untuk mengetahui seberapa banyak stok/persediaan pupuk urea yang terdapat pada gudang gresik. Dengan mengetahui seberapa banyak persediaan pupuk urea yang terdapat pada Gudang Gresik, beberapa komponen biaya distribusi dapat pula diketahui. Data ini merupakan hasil dari rata-rata persediaan setiap harinya selama kurun waktu satu minggu. Dapat dilihat pula pada tabel 4.3 bahwa persediaan pupuk yang paling banyak terjadi pada minggu ke-7 yang mencapai rata-rata 38173,19 Ton selama satu minggunya. Sedangkan, persediaan pupuk yang paling sedikit terjadi pada minggu ke-19 dengan jumlah rata-rata hanya 1054,89 Ton selama satu minggunya.

**Tabel 4.3 Rata-Rata Persediaan pada Gudang Gresik**

Minggu ke-	Rata-Rata Persediaan (Ton)
1	8180,64
2	12267,41
3	19245,08
4	25130,95
5	30511,46
6	33567,31
7	38173,19
8	36121,56
9	29945,11
10	30723,47

11	29216,66
12	27769,22
13	27894,19
14	27977,64
15	29760,19
16	17303,49
17	5341,84
18	1986,40
19	1054,89
20	2565,79
21	2759,50
22	6052,29
23	7116,21
24	9390,56
25	4348,08
26	3072,63
27	4243,95

#### **4.1.3. Data Pengeluaran Pupuk Urea dari Gudang Gresik**

Data ini diperlukan untuk mengetahui seberapa banyak pengeluaran pupuk urea dari gudang gresik. Pengeluaran pupuk dari gudang gresik ini menandakan bahwa pupuk tersebut adalah pupuk yang siap dijual. Data ini merupakan hasil dari rata-rata pengeluaran setiap harinya selama kurun waktu satu minggu. Dapat dilihat pula pada tabel 4.4 bahwa pengeluaran pupuk yang paling banyak terjadi pada minggu ke-12 yang mencapai rata-rata 2675,79 Ton per hari selama satu minggunya. Sedangkan, pengeluaran pupuk yang paling sedikit terjadi pada minggu ke-25 dengan jumlah rata-rata hanya 974,14 Ton per hari selama satu minggunya.

**Tabel 4.4 Rata-Rata Pengeluaran dari Gudang Gresik**

<b>Minggu ke-</b>	<b>Rata-Rata Pengeluaran (Ton)</b>
1	2574,20
2	1995,00
3	2024,07
4	2118,64
5	2161,86
6	2229,07
7	2100,89
8	2267,57
9	2606,57
10	2371,21
11	2607,36
12	2675,79
13	2553,00
14	1862,14
15	2209,07
16	1753,00
17	1531,01
18	1851,36
19	2023,64
20	1396,00
21	1673,43
22	1987,57
23	1999,36
24	1777,97

25	974,14
26	992,71
27	1155,33

#### 4.1.4. Data Alokasi Pengiriman Pupuk Urea kepada Distributor

Data ini diperlukan untuk mengetahui seberapa banyak pupuk urea yang dialokasikan untuk para distributor yang terdapat pada Kabupaten Mojokerto. Dengan mengetahui seberapa banyak pupuk urea yang dialokasikan untuk distributor, maka beberapa komponen biaya distribusi yang berada pada jangkauan distributor dapat pula diketahui. Data ini merupakan hasil dari rata-rata alokasi setiap harinya selama kurun waktu satu minggu. Dapat dilihat pula pada tabel 4.5 bahwa alokasi pupuk yang paling banyak terjadi pada minggu ke-21 yang mencapai rata-rata 46,5 Ton per hari selama satu minggunya. Sedangkan, alokasi pupuk yang paling sedikit terjadi pada minggu ke-10 dan ke-15 dengan tanpa alokasi sama sekali selama satu minggu tersebut.

**Tabel 4.5 Alokasi Pengiriman ke Distributor**

Minggu ke-	Alokasi ke Distributor (Ton)
1	14,40
2	26,14
3	18,57
4	36,57
5	10,57
6	34,71
7	17,00
8	30,21
9	1,21

10	0,00
11	13,21
12	35,29
13	31,93
14	40,86
15	0,00
16	4,71
17	9,14
18	21,00
19	28,43
20	29,93
21	46,50
22	24,14
23	21,14
24	27,57
25	36,29
26	19,29
27	8,33

#### **4.1.5. Data Komponen Biaya pada Lini Distribusi Pupuk Urea**

Data mengenai komponen biaya ini terdiri dari beberapa biaya yang terdapat pada lini distribusi pupuk urea (gudang Gresik, gudang penyangga, distributor). Dengan mengetahui komponen biaya yang terdapat pada beberapa lini distribusi tersebut, hal tersebut dapat mendukung tujuan penelitian ini untuk meminimalkan biaya distribusi. Tabel 4.6 Dibawah menunjukkan beberapa komponen biaya yang terdapat pada

beberapa lini distribusi pupuk urea yang diproduksi oleh PT Petrokimia Gresik.

**Tabel 4.6 Komponen Biaya pada Lini Distribusi Pupuk Urea**

<b>Komponen Biaya</b>	<b>Biaya (Rupiah)</b>
Petugas kebersihan	5.000.000/Bulan
Checker gudang	6.500.000/Bulan
Buruh pengantongan	400.000/Hari
Buruh angkut gudang Gresik	400.000/Hari
Forklift untuk pengantongan	5.400/Ton
Biaya distribusi ke gudang penyangga	47.929/Ton
Buruh angkut gudang peyangga	200.000/Ton
Forklift untuk gudang penyangga	6.000/Ton
Biaya pengiriman ke kios	26.500/Ton
Biaya pengambilan oleh distributor	26.500/Ton
Buruh angkut pada distributor	125.000/Ton

#### **4.2. Problem Articulation (Boundary Selection)**

Pada tahapan ini, akan dilakukan artikulasi permasalahan untuk mengetahui permasalahan yang sebenarnya terjadi pada sistem. Berikut adalah tahapan-tahapan untuk melakukan artikulasi permasalahan:

##### **4.2.1. Theme selection**

Tahapan *theme selection* adalah tahapan dimana permasalahan pada sebuah sistem dijabarkan. Penelitian ini memiliki satu fokus untuk menyelesaikan masalah, yakni untuk meminimalkan biaya distribusi pupuk urea di Kabupaten Mojokerto. Jumlah produksi pupuk urea yang dilakukan oleh PT Petrokimia Gresik dapat berubah-ubah, menyesuaikan dengan jumlah persediaan. Jika jumlah persediaan pada gudang sudah diambang batas minimal, maka jumlah produksi dinaikan. Persediaan yang minimal tersebut disebabkan oleh

penyaluran/distribusi pupuk yang pada beberapa waktu memiliki jumlah yang relatif besar, sehingga persediaan pupuk berkurang.

Persediaan pupuk tersebut merupakan *stock* yang dipengaruhi oleh produksi, yang berperan sebagai *inflow* dari persediaan pupuk yang terdapat pada gudang. Persediaan tersebut kemudian akan disalurkan atau didistribusikan menuju ke beberapa daerah penerima pupuk subsidi. Penyaluran pupuk tersebut adalah *outflow* dari persediaan pupuk (*stock*). Kenaikan pada jumlah produksi tersebut dapat berakibat terhadap jumlah persediaan pupuk yang menumpuk pada periode berikutnya. Selain itu, kegiatan produksi pupuk tersebut memiliki hubungan *causal* yang positif dengan biaya distribusi, sehingga semakin banyak pupuk yang diproduksi maka akan berdampak pada biaya distribusi yang mengalami peningkatan.

#### **4.2.2. Defining key variables**

Identifikasi variabel ini dilakukan dengan menelaah data-data yang telah didapatkan serta melakukan studi literatur melalui penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Hasil studi literatur yang telah dilakukan, terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi biaya distribusi. Menurut Tavasszy (1999), terdapat beberapa komponen pada distribusi fisik. Komponen tersebut diantaranya adalah *inventory cost*, *transport cost*, dan *handling cost* [9]. Berdasarkan studi literatur tersebut serta hasil wawancara yang dilakukan kepada perwakilan dari pihak PT Petrokimia Gresik, terdapat beberapa variabel utama yang penting agar model dapat dikembangkan:

1. Jumlah produksi yang dilakukan setiap harinya
2. Musim yang sedang terjadi (hujan/kemarau)
3. Seberapa banyak persediaan/stok pupuk yang terdapat pada gudang gresik
4. Jumlah pengeluaran pupuk yang dialokasikan untuk dijual
5. Jumlah total pupuk yang mengalami kerusakan selama masa penyimpanan

6. Biaya karyawan/pegawai yang berada pada kisaran daerah penyimpanan pupuk pada gudang gresik
7. Biaya buruh yang dialokasikan untuk melakukan pengangkutan serta pembungkusan pupuk (bagging) setiap harinya
8. Biaya peralatan (forklift, conveyor belt) yang digunakan untuk mendukung jalannya produksi dan penyimpanan pupuk yang terdapat pada gudang gresik
9. Biaya distribusi yang telah disetujui oleh pihak PT Petrokimia Gresik dan vendor transportasi untuk mengirimkan pupuk tersebut ke gudang penyangga
10. Biaya petugas tetap yang mengawasi arus keluar masuk pupuk pada gudang penyangga
11. Biaya buruh yang terdapat pada gudang penyangga
12. Biaya peralatan pendukung yang terdapat pada gudang penyangga
13. Biaya pengambilan maupun pengiriman pupuk yang dilakukan oleh distributor
14. Biaya buruh yang terdapat pada lini distributor
15. Jumlah konsumsi pupuk yang nantinya akan digunakan untuk alokasi produksi periode berikutnya

Uraian diatas merupakan faktor-faktor apa saja yang dapat mempengaruhi biaya distribusi pupuk urea yang dilakukan oleh PT Petrokimia Gresik.

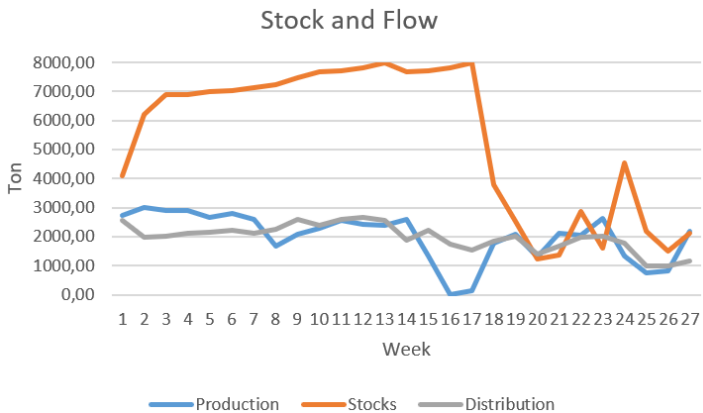
#### **4.2.3. *Time horizon***

Ketika akan mengembangkan sebuah model, perlu dilakukan pendefiniasian rentang waktu (*time horizon*) yang akan menjadi waktu berjalannya model. Dalam penelitian ini, digunakan rentang waktu mulai awal bulan Oktober 2019 hingga akhir bulan Maret 2020. Rentang waktu tersebut berjalan selama 6 bulan, dengan total hari sebanyak 183 hari. Dalam melakukan pengembangan model ini, *time horizon* yang dipilih menggunakan satuan per-minggu, dengan total waktu sebanyak 27 minggu.



#### 4.2.4. *Dynamic problem definition (reference modes)*

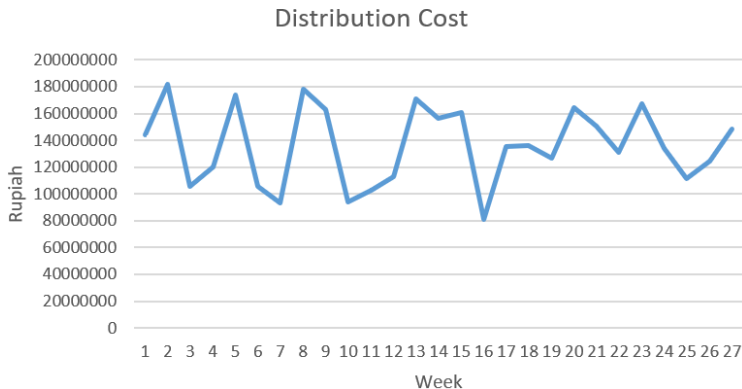
*Reference modes* yang akan ditampilkan disini menjelaskan mengenai problematika yang terjadi pada sistem dari waktu ke waktu. Mengacu kepada sub-bab sebelumnya mengenai penggunaan *time horizon*, *reference modes* disini menggunakan *time horizon* sepanjang 27 minggu. Gambar 4.1 merupakan grafik *reference modes* dari persediaan pupuk atau *stock*, produksi yang berperan sebagai *inflow*, dan distribusi yang berperan sebagai *outflow*.



**Gambar 4.1 Reference Modes untuk Persediaan**

Pada grafik yang ditunjukkan oleh gambar 4.1, *stock* atau persediaan pupuk ditunjukkan oleh garis berwarna oranye, produksi pupuk sebagai *inflow* ditunjukkan oleh garis berwarna biru, sedangkan distribusi pupuk sebagai *outflow* ditunjukkan oleh garis berwarna abu-abu. Grafik tersebut memiliki rentang waktu sebanyak 27 minggu. Terlihat bahwa jumlah *stock* atau persediaan pupuk cenderung mengalami tren yang meningkat, hingga mengalami penurunan yang drastis pada minggu ke-17. Hal ini disebabkan oleh *inflow* berupa produksi yang juga mengalami penurunan secara drastis, namun jumlah *outflow* tidak begitu mengalami penurunan, sehingga persediaan atau *stock* tersebut mengalami penurunan secara

drastis. Namun, pada minggu ke-24 persediaan atau *stock* kembali mengalami peningkatan karena jumlah produksi (*inflow*) yang juga mengalami peningkatan, sedangkan jumlah distribusi (*outflow*) mengalami penurunan.



**Gambar 4.2 Reference Modes untuk Biaya Distribusi**

Grafik pada Gambar 4.2 tersebut menunjukkan besaran biaya distribusi yang dikeluarkan selama waktu 27 minggu. Jika melihat pada grafik yang telah ditunjukkan pada Gambar 4.1, terlihat bahwa tren biaya distribusi tersebut memiliki hubungan *causal* yang positif atau sejajar dengan jumlah produksi yang dilakukan. Ketika jumlah produksi mengalami penurunan pada minggu ke-16, terlihat bahwa biaya distribusi yang dikeluarkan juga mengalami penurunan. Sedangkan, ketika jumlah produksi mengalami peningkatan pada minggu ke-24, terlihat bahwa biaya distribusi yang dikeluarkan juga mengalami peningkatan.

### 4.3. Formulation of Dynamic Hypothesis

Pada tahapan ini, akan dilakukan *Dynamic hypothesis* atau hipotesis dinamik. Hipotesis dinamik ini adalah sebuah teori yang dikembangkan untuk menjelaskan perilaku dari permasalahan terkait. Sebuah hipotesis dinamik menjelaskan tentang bagaimana permasalahan pada suatu sistem dapat terjadi, yang dapat membantu jalannya proses pemodelan agar

fokus ke struktur atau bagian-bagian tertentu. Ada beberapa tahapan yang dilakukan pada hipotesis dinamik:

#### **4.3.1. *Initial hypothesis generation***

Penelitian ini dilakukan untuk meminimalkan biaya distribusi pupuk urea, khususnya yang terdapat pada area Kabupaten Mojokerto. Biaya distribusi tersebut memiliki hubungan *causal* yang positif terhadap produksi pupuk yang dilakukan, sehingga semakin banyak produksi pupuk yang dilakukan maka biaya distribusinya akan semakin besar pula. Besarnya produksi pupuk tersebut ditentukan oleh persediaan pupuk (*stock*) yang tersedia, jika persediaan pupuk yang ada telah berada pada ambang batas minimal, maka produksi pupuk harus dinaikkan. Dilain sisi, kenaikan jumlah produksi tersebut dapat berakibat terhadap jumlah persediaan pupuk yang menumpuk pada periode berikutnya.

Selain itu, terdapat juga beberapa faktor yang mempengaruhi biaya distribusi pupuk tersebut, salah satunya adalah biaya yang dikeluarkan untuk membayar buruh angkut. Berdasarkan hasil wawancara yang dilakukan dengan perwakilan dari pihak PT Petrokimia Gresik, jumlah buruh angkut yang dipekerjakan oleh *tender* atau penyedia jasa transportasi setiap harinya berkisar antara 9 hingga 12 orang buruh angkut pada setiap *shift* nya. Karena pada satu hari terdapat tiga *shift*, total buruh angkut yang bekerja per harinya berkisar sekitar 27 hingga 36 orang buruh angkut. Dengan mempekerjakan buruh angkut secara lebih efisien, hal tersebut dapat berkontribusi untuk menurunkan biaya distribusi pupuk yang dikeluarkan.

#### **4.3.2. *Endogenous focus***

Dalam pengembangan mode sistem dinamik, suatu variabel dapat dibagi menjadi variabel endogen adalah variabel eksogen. Variabel endogen adalah variabel yang mempengaruhi variabel lainnya yang terdapat pada sistem, sedangkan variabel eksogen adalah variabel yang berada diluar sistem. Fokus pada pengembangan model sistem dinamik adalah pada variabel

yang bersifat endogen, namun bukan berarti variabel eksogen tidak perlu dimasukkan kedalam model [4]. Dalam penelitian ini, fokus penelitian diarahkan kepada bagaimana agar biaya distribusi pupuk yang dikeluarkan dapat diminimalkan. Permasalahan yang terjadi adalah ketika persediaan pupuk berada pada ambang batas minimal, maka produksi pupuk dinaikkan yang kemudian akan berakibat ke menumpuknya persediaan pupuk pada periode berikutnya. Pupuk yang terdapat pada gudang utama tersebut selanjutnya akan disalurkan menuju ke gudang penyangga yang terletak di Kabupaten Mojokerto. Dari gudang penyangga tersebut, pupuk kemudian disalurkan kepada para distributor, untuk kemudian disalurkan oleh para distributor menuju ke kios-kios resmi penjual pupuk. Dari kios-kios tersebut, para petani dapat membeli pupuk tersebut untuk memenuhi kebutuhan pertaniannya. Kemudian, berdasarkan jumlah pupuk yang dikonsumsi oleh para petani tersebut, para petani mengisi RDKK (Rencana Definitif Kebutuhan Kelompok) yang kemudian akan menjadi salah satu acuan bagi pihak PT Petrokimia Gresik dalam melakukan produksi pupuknya. Rangkaian dari produksi hingga konsumsi oleh para petani tersebut membentuk suatu *loop*, yang menjadi salah satu fokus dalam melakukan penelitian ini.

#### **4.3.3. Mapping**

Tahapan *mapping* ini merupakan pemetaan dari problematika sistem dinamik berdasarkan tahapan-tahapan yang telah dilakukan sebelumnya. Terdapat beberapa tahapan pemetaan atau *mapping* yang perlu dilakukan agar model dinamik dapat dikembangkan. Beberapa tahapan dalam melakukan *mapping* tersebut diantaranya adalah:

##### **a. Model boundary diagram**

*Model boundary diagram* merupakan diagram atau tabel yang dapat menunjukkan batasan dari ruang lingkup pengembangan model. Tabel ini memuat informasi berupa variabel apa sajakah yang termasuk variabel endogen, variabel apa saja yang eksogen, dan variabel apa yang tidak dimasukkan ke dalam model [4]. *Model boundary diagram*

yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan oleh Tabel 4.7.

**Tabel 4.7 Model Boundary Diagram**

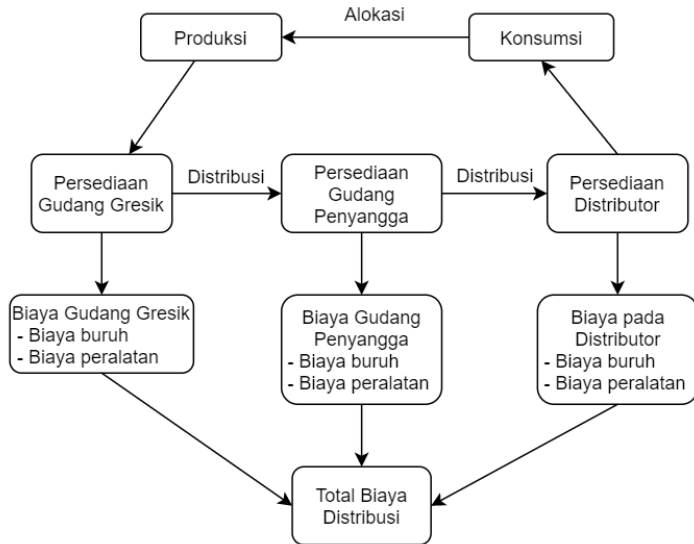
<b>Endogen</b>	<b>Eksogen</b>	<b>Tidak Dimasukan</b>
Produksi	Musim	Populasi
Stok Gudang Gresik	Biaya Karyawan pada Gudang Gresik	
Stok Gudang Penyangga		
Stok pada Distributor	Biaya buruh pada Gudang Gresik	
Konsumsi pupuk		
Jumlah pupuk yang rusak	Biaya buruh pada gudang penyangga	
Biaya peralatan pada Gudang Gresik		
Biaya distribusi total	Biaya pengiriman	
Biaya peralatan pada gudang penyangga	Biaya buruh pada gudang distributor	
Biaya peralatan pada gudang penyangga		

Pada Tabel 4.7, ditampilkan *model boundary diagram* yang didalamnya memuat variabel apa saja yang termasuk endogen, eksogen, maupun variabel yang tidak dimasukkan ke dalam model. Produksi merupakan variabel endogen yang dipengaruhi oleh konsumsi pupuk. Produksi yang dilakukan mempengaruhi jumlah persediaan yang terdapat pada Gudang Gresik. Selanjutnya, dari Gudang Gresik pupuk tersebut akan didistribusikan menuju ke Gudang Penyangga, hingga sampai ke distributor untuk dialokasikan kepada kios-kios resmi sehingga pupuk

tersebut dapat sampai ketangan konsumen. Biaya distribusi total yang dikeluarkan dipengaruhi oleh aktivitas produksi hingga pupuk sampai ketangan konsumen. Selain itu, biaya distribusi total juga dipengaruhi oleh variabel eksogen berupa biaya karyawan dan buruh pada Gudang Gresik, biaya buruh pada gudang penyangga, biaya buruh pada distributor, serta biaya pengiriman. Variabel eksogen lainnya adalah musim, yang menjadi salah satu variabel yang mempengaruhi jumlah produksi yang dilakukan. Pada *model boundary diagram* tersebut, variabel yang tidak dimasukkan ke dalam model adalah populasi, karena variabel ini dianggap tidak begitu signifikan pengaruhnya terhadap jalannya model.

**b. *Subsystem diagram***

Sebuah *subsystem diagram* menunjukkan arsitektur dari model secara keseluruhan. *Subsystem diagram* menunjukkan bagaimana elemen-elemen yang terdapat pada sistem dapat saling membagikan informasi. *Subsystem diagram* yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar 4.3.

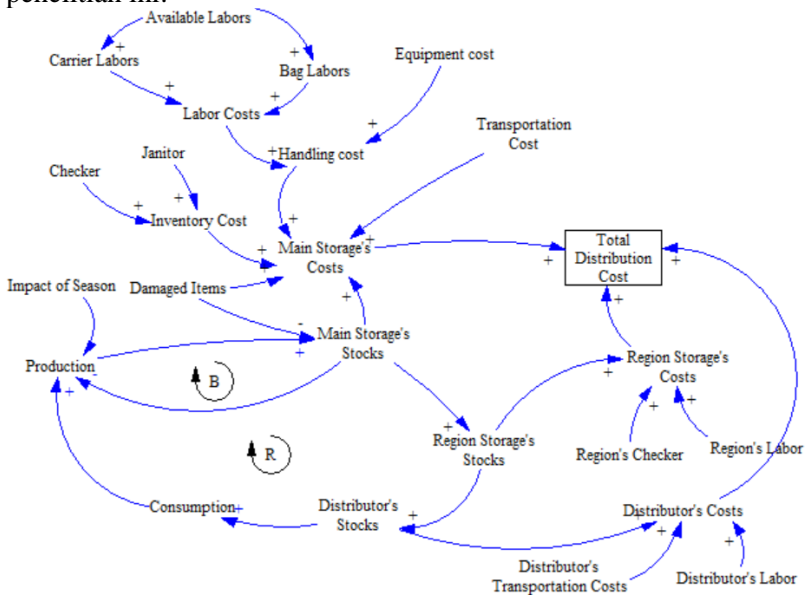


**Gambar 4.3 Subsystem Diagram**

Gambar 4.3 menampilkan *subsystem diagram* yang digunakan sebagai dasar dalam pengembangan model ini. Produksi pupuk yang dilakukan dipengaruhi oleh konsumsi pupuk. Produksi yang dilakukan mempengaruhi jumlah persediaan yang terdapat pada Gudang Gresik. Selanjutnya, dari Gudang Gresik pupuk tersebut akan didistribusikan menuju ke Gudang Penyangga, hingga sampai ke distributor yang kemudian akan menyalurkan ke kios sehingga dapat sampai ke tangan konsumen. Biaya distribusi total yang dikeluarkan dipengaruhi oleh aktivitas produksi hingga pupuk sampai ketangan konsumen. Rinciannya, terdapat biaya buruh dan/atau karyawan serta biaya peralatan pada masing-masing Gudang Gresik, Gudang Penyangga, serta distributor yang mana biaya-biaya tersebut mempengaruhi total biaya distribusi yang dikeluarkan.

**c. Causal loop diagram**

Tahapan selanjutnya yang dilakukan dalam penelitian ini adalah perancangan *causal loop diagram*. *Causal loop diagram* dapat digunakan untuk mengetahui pola perilaku dan hubungan antar variabel yang ada, sehingga kesesuaian model dengan perilaku pada kehidupan nyata dapat dibandingkan. Gambar 4.1 menunjukkan model *causal loop diagram* mengenai alur distribusi pupuk yang dilakukan beserta biaya apa saja yang dikeluarkan selama proses distribusi tersebut. Model diagram kausatik ini dirancang berdasarkan kondisi sistem saat ini (as is). Berikut adalah diagram kausatik yang digunakan pada penelitian ini:



**Gambar 4.4 Rancangan Causal Loop Diagram**

Variabel-variabel yang terdapat pada *causal loop diagram* tersebut diambil berdasarkan *key variables* yang telah dijelaskan pada tahapan sebelumnya. Pada *causal loop diagram* (CLD) tersebut, terdapat *loop* yang melewati beberapa *stock*. *Stock* yang terdapat pada CLD tersebut ditunjukkan oleh variable *main storage's stocks* yang



merupakan jumlah persediaan atau stok pada Gudang Gresik, kemudian variabel *region storage's stocks* yang merupakan persediaan atau stok pada Gudang penyangga, dan *distributor's stocks*. *Loop* tersebut menunjukkan arus peredaran pupuk urea yang terjadi, dari mulai dilakukan produksi hingga dikonsumsi oleh para konsumen, yang kemudian dari konsumsi tersebut ditentukan jumlah produksi pupuk urea untuk periode berikutnya. Selain itu, terdapat juga *loop* yang terjadi antara variabel *production* dengan variabel *main storage's stocks*, dimana *loop* tersebut merupakan *loop* yang bernilai negatif atau yang lazim disebut *balancing loop*. Dari setiap variabel yang terdapat pada CLD tersebut, berikut ini adalah penjelasan setiap variabelnya:

1. *Production*

Variabel ini merupakan variabel yang dipengaruhi langsung oleh *consumption*. Variabel ini merupakan variabel yang berisi nilai total produksi pupuk urea yang dilakukan oleh PT Petrokimia Gresik.

2. *Impact of Season*

Variabel ini menunjukkan seberapa besar pengaruh musim yang sedang terjadi terhadap *production*.

3. *Main Storage's Stocks*

Variabel ini merupakan variabel yang menunjukkan seberapa banyak jumlah persediaan/stok pupuk urea yang terdapat pada Gudang Gresik.

4. *Main Storage's Costs*

Merupakan jumlah total biaya distribusi yang dikeluarkan pada ruang lingkup gudang gresik.

5. *Damaged Items*

Merupakan jumlah total dari pupuk urea yang mengalami kerusakan selama masa penyimpanan, sehingga pupuk tersebut tidak dapat disalurkan.

6. *Transportation Cost*

Merupakan biaya transportasi/pengiriman dari gudang gresik menuju ke gudang penyangga

7. *Inventory Cost*

Biaya selama pupuk berada di gudang gresik, merupakan gabungan dari variabel *checker* dan *janitor*.

8. *Checker*

Adalah petugas yang bertugas untuk melakukan pengecekan selama proses keluar masuk pupuk yang terjadi pada gudang gresik.

9. *Janitor*

Adalah tenaga kebersihan yang bertugas untuk membersihkan area sekitar pada gudang gresik.

10. *Handling Cost*

Merupakan biaya penanganan pupuk selama pupuk tersebut berada pada gudang gresik. Dipengaruhi secara langsung oleh variabel *equipment cost* dan *labor costs*.

11. *Equipment Cost*

Merupakan biaya peralatan yang digunakan untuk mendukung aktivitas penyimpanan pupuk urea selama pupuk tersebut berada pada gudang gresik.

12. *Labor Costs*

Adalah biaya tenaga kerja atau buruh, yang terdiri dari buruh angkut (*carrier labor*) dan buruh pengemasan (*bag labors*).

13. *Bag Labors*

Adalah biaya yang dikeluarkan untuk membayar buruh dalam melakukan proses pegemasan (*bagging*) yang dilakukan di gudang gresik.

14. *Carrier Labors*

Adalah biaya yang dikeluarkan untuk membayar buruh angkut, yang bertugas untuk mengangkut pupuk dalam rangka mendukung arus keluar masuk pupuk pada area gudang gresik.

15. *Available Labors*

Merupakan jumlah total dari buruh angkut dan pengemasan yang tersedia setiap harinya. Jumlah ini ditentukan oleh vendor yang memiliki hak untuk mempekerjakan buruh tersebut.

16. *Region Storage's Stocks*

Variabel ini merupakan variabel yang menunjukkan seberapa banyak jumlah persediaan/stok pupuk urea yang terdapat pada gudang penyangga yang terletak di daerah Mojokerto.

17. *Region Storage's Costs*

Merupakan jumlah total biaya distribusi yang dikeluarkan pada ruang lingkup gudang penyangga.

18. *Region's Checker*

Adalah petugas yang bertugas untuk melakukan pengecekan selama proses keluar masuk pupuk yang terjadi pada gudang penyangga.

19. *Region's Labors*

Adalah biaya yang dikeluarkan untuk membayar buruh angkut yang bertugas untuk mengangkut pupuk dalam rangka mendukung arus keluar masuk pupuk pada area gudang penyangga.

20. *Distributor's Stocks*

Variabel ini merupakan variabel yang menunjukkan seberapa banyak jumlah persediaan/stok pupuk urea yang dialokasikan kepada distributor.

21. *Distributor's Costs*

Merupakan jumlah total biaya distribusi yang dikeluarkan pada ruang lingkup gudang gresik.

22. *Distributor's Transportation Costs*

Adalah biaya transportasi yang dikeluarkan oleh distributor untuk melakukan pengambilan maupun pengiriman pupuk yang telah dialokasikan.

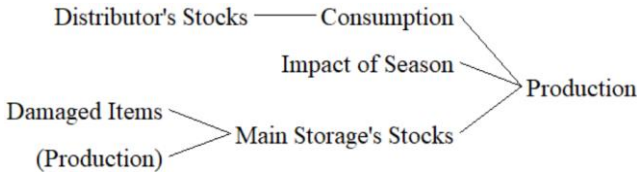
23. *Distributor Labors*

Adalah biaya yang dikeluarkan untuk membayar buruh angkut, yang bertugas untuk mengangkut pupuk dalam rangka mendukung arus keluar masuk pupuk pada lingkup distributor.

24. *Consumption*

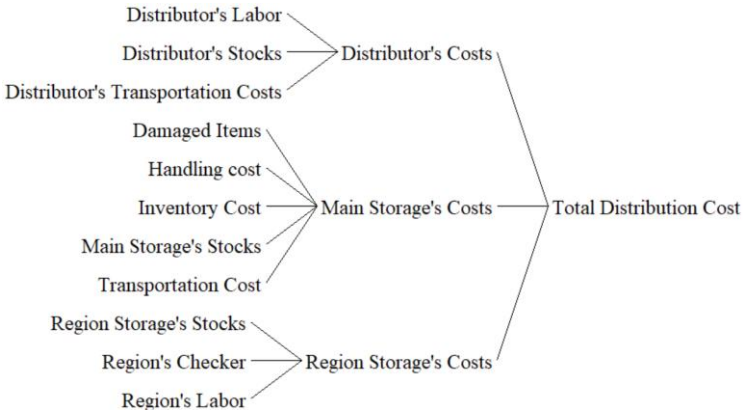
Adalah jumlah pupuk urea yang disalurkan ke kios-kios resmi dari distributor dan siap dijual untuk kemudian dikonsumsi oleh para konsumen.

Dikembangkannya *causal loop diagram* tersebut memiliki hubungan sebab-akibat yang dapat ditunjukkan oleh *causes tree*. Selanjutnya, akan dijelaskan beberapa variabel yang menjadi faktor-faktor utama yang mempengaruhi besarnya biaya distribusi pupuk urea yang dikeluarkan oleh PT Petrokimia Gresik. Variabel-variabel tersebut akan ditunjukkan hubungan sebab akibatnya menggunakan *causes tree* dari masing-masing variabel tersebut.



**Gambar 4.5 Causes Tree untuk Produksi**

Gambar 4.5 menunjukkan *causes tree* pada variabel *production*. Variabel *production* merupakan variabel yang dipengaruhi langsung oleh *consumption*, *impact of season*, dan *main storage's stocks*. Variabel ini merupakan variabel yang berisi jumlah produksi pupuk urea yang dilakukan oleh PT Petrokimia Gresik.



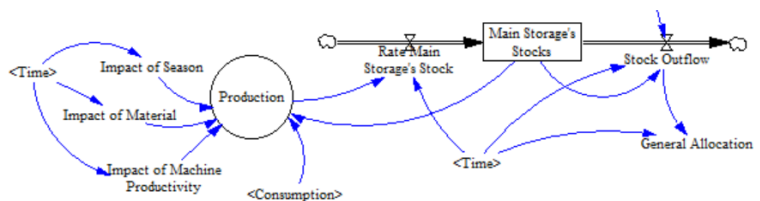
**Gambar 4.6 Causes Tree untuk Biaya Distribusi Total**

Gambar 4.6 menunjukkan *causes tree* pada variabel *total distribution cost*. *Total distribution cost* merupakan total

biaya dari aktivitas distribusi pupuk urea yang dilakukan oleh PT Petrokimia Gresik, yang merupakan penjumlahan dari biaya yang terdapat pada *main storage's costs*, *region's storage costs* serta *distributor's costs*. Dapat dilihat pula pada *causes tree* yang terdapat pada gambar 4.6, ketiga variabel tersebut mempengaruhi variabel *total distribution cost* secara langsung.

#### d. *Stock and flow diagram*

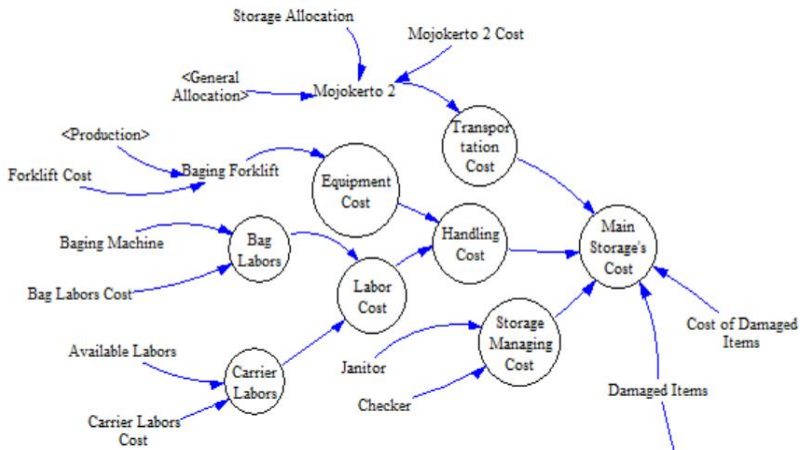
Tahapan selanjutnya adalah melakukan pemetaan terhadap struktur fisik dari model, dengan menggunakan *stock and flow diagram* atau yang lazim disingkat sebagai SFD. *Stock and flow* dapat digunakan untuk memodelkan sebuah sistem serta mensimulasikannya sehingga perilaku dari sistem tersebut dapat diketahui. Dalam penelitian ini, sistem yang dimodelkan adalah sistem distribusi pupuk urea subsidi pada Kabupaten Mojokerto, yang prakteknya dilakukan oleh PT Petrokimia Gresik. Pemodelan sistem ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar biaya distribusi yang dikeluarkan, serta mengupayakan usaha untuk meminimalkan biaya distribusi tersebut. SFD yang dikembangkan pada penelitian ini dibagi menjadi beberapa sub-model. Pembentukan sub-model tersebut berdasarkan variabel-variabel yang signifikan terhadap tujuan dilakukannya penelitian ini.



**Gambar 4.7 SFD Submodel *Production***

Gambar 4.7 menampilkan *stock and flow* dari submodel *production*. Submodel ini merupakan gambaran dari produksi serta penyimpanan pupuk urea yang dilakukan pada gudang gresik. Sub-model ini terdiri dari dua aktivitas

utama, yakni produksi pupuk urea yang diwakili oleh variabel *production* serta penyimpanan pupuk urea pada Gudang Gresik yang diwakili oleh variabel *main storage's stocks*. Terdapat tiga variabel yang mempengaruhi *production*; *Impact of Season*, *Impact of Material*, dan *Impact of Machine Productivity*. Selain *production*, terdapat variabel *main storage's stocks* yang berupa *stock/level*. Variabel *main storage's stocks* memiliki *rate in* berupa variabel *rate main storage's stocks*, sedangkan variabel *stock outflow* merupakan *rate out* dari *main storage's stocks*.

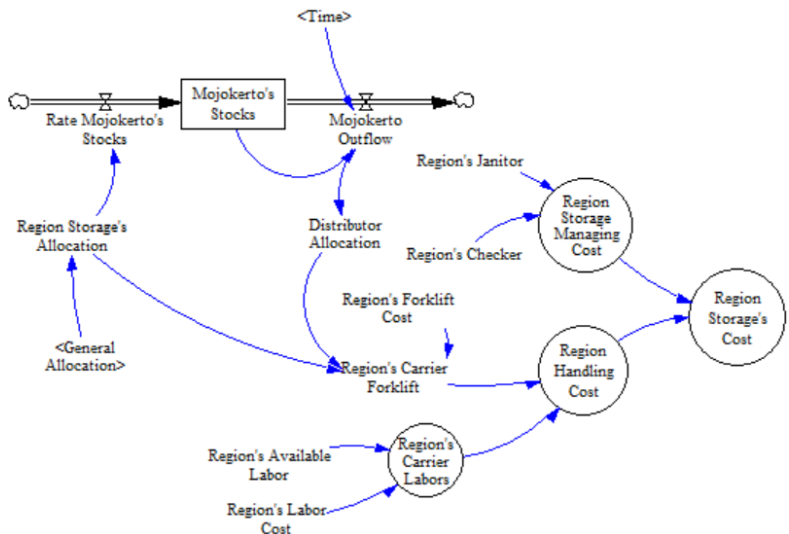


**Gambar 4.8 SFD Submodel *Main Storage's Cost***

Gambar 4.8 merupakan SFD submodel *main storage's cost*. Terdapat tiga komponen utama biaya distribusi yang terdapat pada lingkup Gudang Gresik; biaya transportasi yang diwakili oleh variabel *transportation cost*, biaya penanganan barang yang diwakili oleh variabel *handling cost*, serta biaya untuk mengelola pergudangan yang diwakili oleh variabel *storage managing cost*. Komponen biaya lain yaitu merupakan jumlah pupuk yang rusak karena penyimpanan, yang diwakili oleh variabel *damaged items*. Variabel *storage managing cost* terdiri dari dua komponen biaya, yakni *janitor* yang merupakan tenaga

kebersihan yang terdapat pada area Gudang Gresik serta *checker* yang bertugas untuk melakukan pengecekan arus keluar masuk pupuk urea pada area Gudang Gresik.

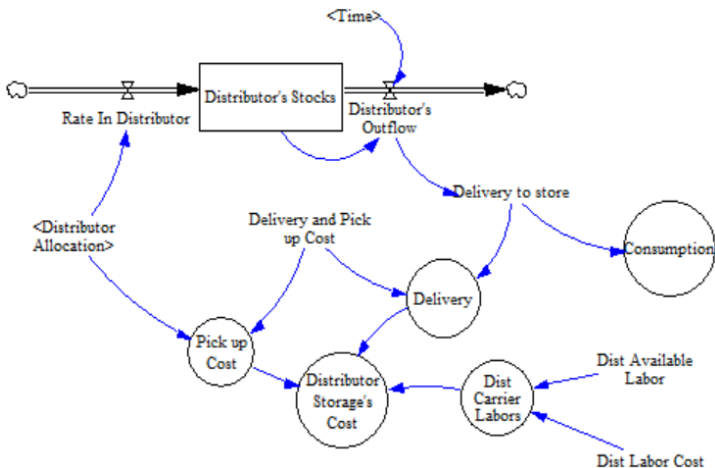
*Handling cost* merupakan gabungan dari biaya yang terdapat pada *equipment cost* dan *labor cost*. *Equipment cost* adalah biaya pengoperasian forklift per ton, sedangkan *Labor cost* terdiri dari dua macam, *bag labors* atau buruh untuk pengemasan dan *carrier labors* atau buruh angkut. *Available labors* merupakan jumlah buruh angkut yang disediakan oleh pihak penyedia buruh setiap harinya selama tiga *shift* kerja. Variabel *Transportation cost* merupakan biaya transportasi yang dikeluarkan untuk mengirimkan pupuk tersebut menuju gudang penyangga. Pada penelitian ini, hanya ada satu gudang penyangga yang digunakan sebagai objek penelitian. Gudang penyangga tersebut terletak di Desa Jatipasar, Kecamatan Trowulan, Kabupaten Mojokerto.



**Gambar 4.9** SFD Submodel *Region Storage's Cost*

Sub-model *region storage's costs* yang ditunjukkan oleh Gambar 4.9 merupakan sub model yang menunjukkan seberapa besar biaya distribusi yang dikeluarkan pada saat pupuk berada dalam ruang lingkup gudang penyangga. Pada penelitian ini, hanya ada satu gudang penyangga yang digunakan sebagai objek penelitian. Gudang penyangga tersebut terletak di Desa Jatipasar, Kecamatan Trowulan, Kabupaten Mojokerto. Persediaan atau stok pada gudang penyangga diwakilkan oleh variabel *Mojokerto's Stocks*, dengan variabel *rate Mojokerto's stock* sebagai *rate in* dan *Mojokerto outflow* sebagai *rate out*.

Selanjutnya, variabel *region storage's cost* merupakan penjumlahan dari biaya yang dinyatakan pada *region handling cost* dan *region storage managing cost*. Variabel *region storage managing cost* tersebut merupakan penjumlahan dari nilai biaya yang terdapat pada *region's checker* dan *region's janitor*, sedangkan variabel *region handling cost* merupakan penjumlahan dari *region's carrier forklift* yang merupakan biaya pengoprasian forklift, dan *region's carrier labor* yang merupakan biaya buruh angkut.

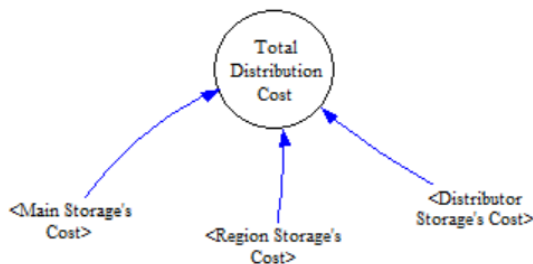


Gambar 4.10 SFD Submodel *Distributor Storage's Cost*



Sub-model *distributor storage's costs* yang ditunjukkan oleh Gambar 4.10 merupakan sub model yang menunjukkan seberapa besar biaya distribusi yang dikeluarkan pada saat pupuk berada dalam ruang lingkup distributor. Pada penelitian ini, distributor yang dinyatakan pada sub model ini merupakan gabungan dari enam distributor yang melakukan pengambilan pada gudang penyangga yang terletak di Desa Jatipasar, Kecamatan Trowulan, Kabupaten Mojokerto. Persediaan atau stok pada distributor diwakili oleh variabel *distributor's Stocks*, dengan variabel *rate in distributor* sebagai *rate in* dan *distributor's outflow* sebagai *rate out*.

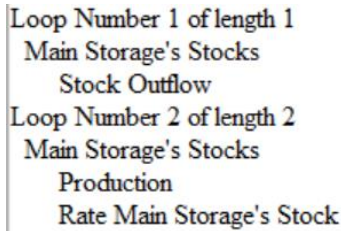
Selanjutnya, variabel *distributor storage's cost* merupakan penjumlahan dari biaya yang dinyatakan pada *pick up cost*, *delivery*, dan *dist carrier labors*. *Pick up cost* merupakan biaya yang dikeluarkan untuk melakukan pengambilan pupuk, sedangkan *delivery* merupakan biaya pengantaran pupuk. Variabel *dist carrier labor* merupakan biaya buruh angkut yang terdapat pada gudang milik distributor.



**Gambar 4.11 SFD Submodel Total Distribution Cost**

Selanjutnya, submodel bernama *total distribution cost* yang ditunjukkan oleh Gambar 4.11 merupakan biaya distribusi total yang dikeluarkan oleh PT Petrokimia Gresik untuk mendistribusikan pupuk urea subsidi hingga ke kios-kios yang terdapat pada Kabupaten Mojokerto. Submodel ini merupakan penjumlahan dari tiga biaya distribusi yang terdapat pada lini distribusi pupuk, yakni

*main storage's cost* atau biaya distribusi dilingkup Gudang Gresik, *region storage's cost* atau biaya distribusi dilingkup gudang penyangga, serta *distributor storage's cost* atau biaya distribusi dilingkup distributor.



**Gambar 4.12** *Loop yang Terdapat pada SFD*

Pada Gambar 4.12 ditunjukkan *loop* yang terdapat pada *stock and flow*. *Loop* yang pertama merupakan *loop* yang terjadi antara variabel *main storage's stocks* dengan *stock outflow*. *Loop* yang kedua adalah *loop* yang terjadi melalui variabel *main storage's stocks*, *production*, dan *rate main storage's stocks*. *Loop* yang terbentuk ini sesuai dengan *causal loop diagram* yang ditunjukkan oleh Gambar 4.4, dimana *loop* tersebut memiliki nilai *feedback* negatif, karena semakin banyak jumlah persediaan pupuk yang terdapat pada variabel *main storage's stocks*, maka semakin sedikit jumlah produksi yang akan dilakukan.

```

Loop Number 3 of length 14
Main Storage's Stocks
  Stock Outflow
  General Allocation
  Region Storage's Allocation
  Rate Mojokerto's Stocks
  Mojokerto's Stocks
  Mojokerto Outflow
  Distributor Allocation
  Rate In Distributor
  Distributor's Stocks
  Distributor's Outflow
  Delivery to store
  Consumption
  Production
  Rate Main Storage's Stock

```

**Gambar 4.13** *Loop* pada SFD

*Loop* berikutnya ditunjukkan oleh Gambar 4.13, dimana *loop* tersebut memiliki panjang sebanyak 14 variabel. *Loop* yang terbentuk ini sesuai dengan *causal loop diagram* yang ditunjukkan oleh Gambar 4.4, dimana *loop* tersebut memiliki nilai *feedback* positif. Terdapat tiga variabel yang merupakan *stock* yang dilewati oleh *loop* ini, diantaranya ada *main storage's stocks*, *Mojokerto's stocks*, dan *distributor's stocks*. Dari *distributor's stocks*, pupuk tersebut kemudian dikirimkan ke kios penjualan (*delivery to store*) untuk kemudian dapat dikonsumsi oleh para konsumen (*consumption*), yang kemudian dari konsumsi tersebut dapat ditentukan jumlah produksi pupuk urea untuk periode berikutnya.

#### **4.4. Formulation of A Simulation Model**

Tahapan selanjutnya adalah melakukan formulasi dari model simulasi yang akan dikembangkan. Untuk mempermudah dalam pengamatan dan analisis, formulasi yang dilakukan dibagi menjadi beberapa sub-model. Pembentukan sub-model tersebut disesuaikan dengan sub-model yang sebelumnya telah dijelaskan pada *stock and flow diagram*. Masing-masing sub-model akan dijelaskan formula dari setiap variabel yang





variabel tersebut, *time* membagi waktu simulasi menjadi tiga bagian, dikarenakan pola ketiga data tersebut yang sangat fluktuatif. Variabel *main storage's stocks* memiliki *rate in* berupa variabel *rate main storage's stocks*, yang nilainya menggunakan nilai dari *production* dengan penyesuaian ulang. *Stock outflow* adalah *rate out* yang nilainya berupa perkalian antara *main storage's stocks* dengan nilai konstanta yang sudah disesuaikan. Variabel tersebut dipengaruhi oleh variabel *damaged items*, merupakan jumlah pupuk yang rusak ketika dalam masa penyimpanan. Nilai pada variabel tersebut menggunakan RANDOM NORMAL yang nilainya sudah disesuaikan dengan kondisi data yang ada. Variabel *general allocation* merupakan variabel yang menunjukkan pengeluaran pupuk urea dari gudang gresik yang nantinya akan siap disalurkan ke lini distribusi selanjutnya.

**Tabel 4.9 Persamaan pada Main Storage's Stocks**

Variabel	Persamaan
Rate main storage's stock	IF THEN ELSE( (1<=Time):AND:(Time<=15), Production*2.7, (IF THEN ELSE( (16<=Time):AND:(Time<=21), Production*0.1, (IF THEN ELSE( (22<=Time):AND:(Time<=27), Production*0.1, Production*1) ))))
Main storage's stocks	INTEG(Rate Main Storage's Stock - Stock Outflow, 8180)
Stock outflow	IF THEN ELSE( (1<=Time):AND:(Time<=16), Main Storage's Stocks*0.2, (IF THEN ELSE( (17<=Time):AND:(Time<= 21), Main Storage's Stocks*0.5, (IF THEN ELSE( (22<=Time):AND:(Time<=27), Main Storage's Stocks*0.15, Main

	Storage's Stocks * 0.2) )))) + Damaged Items
General Allocation	IF THEN ELSE( (1<=Time):AND:(Time<=15), Stock Outflow*1.25, (IF THEN ELSE( (16<=Time):AND:(Time<=21), Stock Outflow*0.45, (IF THEN ELSE( (22<=Time):AND:(Time<=27), Stock Outflow*1.1, Stock Outflow*0.89) ))))
Damaged items	RANDOM NORMAL( 35 , 141, 81, 66, 0)

#### 4.4.2. Formulasi pada Sub model *main storage's costs*

Sub-model *main storage's costs* merupakan sub model yang menunjukkan seberapa besar biaya distribusi yang dikeluarkan pada saat pupuk berada dalam ruang lingkup gudang gresik. Variabel *storage managing cost* terdiri dari dua komponen biaya, yakni *janitor* yang merupakan tenaga kebersihan yang terdapat pada area Gudang Gresik serta *checker* yang bertugas untuk melakukan pengecekan arus keluar masuk pupuk urea pada area gudang gresik.

**Tabel 4.10** Komponen pada *Storage Managing Cost*

Variabel	Persamaan
Main storage's cost	(Damaged Items*Cost od Damaged Items)+Handling Cost+Storage Managing Cost+Transportation Cost
Cost of Damaged Items	900000
Storage managing cost	Janitor+Checker
Janitor	5e+06/30*12

Checker	$6.5e+06/30*6$
Damaged items	RANDOM NORMAL( 35 , 141, 81, 66, 0)

*Janitor* atau tenaga kebersihan memiliki upah sebesar Rp5.000.000,00 setiap satu bulannya. Karena pada model ini menggunakan satuan waktu per minggu dengan nilai data rata-rata per hari pada satu minggunya, maka pada persamaan digunakan pembagi dengan nilai 30 agar nilai data menjadi rata-rata per hari. Sama dengan *checker*, digunakan pembagi 30 juga pada upah perbulannya agar nilai data menjadi rata-rata per hari. Variabel *storage managing cost* merupakan penjumlahan dari variabel *janitor* dan *checker*, sedangkan variabel *main storage's cost* merupakan penjumlahan dari seluruh komponen biaya distribusi yang terdapat pada lingkup Gudang Gresik. Untuk menghitung kerugian akibat pupuk yang rusak, digunakan asumsi nilai jual awal pupuk urea sebesar setengah atau 50% dari Harga Eceran Tertinggi (HET) pupuk urea yang telah ditetapkan. Sesuai dengan Peraturan Menteri Pertanian Nomor 47/Permentan/SR.310/11/2018, HET untuk pupuk urea adalah Rp1.800,00 per Kilogramnya, atau Rp1.800.000,00 per Ton. Dengan menggunakan asumsi tersebut, didapatkan nilai jual awal sebesar Rp900.000,00 untuk satu ton pupuk urea.

**Tabel 4.11 Persamaan pada *Handling Cost***

Variabel	Persamaan
Handling cost	Labor Cost+Equipment Cost
Equipment cost	Baging Forklift
Baging forklift	Forklift Cost*Production
Forklift cost	5400
Labor cost	Bag Labors+Carrier Labors
Bag labors	Baging Machine*5*3*Bag Labors Cost
Bag labors cost	400000



Baging machine	4
Carrier labors	Available Labors*Carrier labors cost
Carrier labors cost	400000
Available labors	INTEGER( RANDOM UNIFORM(27, 36, 0) )

*Handling cost* merupakan gabungan dari biaya yang terdapat pada *equipment cost* dan *labor cost*. *Equipment cost* memiliki persamaan yang sama dengan *baging forklift*, yaitu *forklift cost* dikalikan dengan *production*. *Labor cost* terdiri dari dua macam, *bag labors* atau buruh untuk pengemasan dan *carrier labors* atau buruh angkut. Tarif yang disetujui oleh pihak penyedia buruh dengan PT Petrokimia Gresik adalah sebesar Rp400.000,00 untuk masing-masing buruh angkut maupun buruh pengemasan. *Available labors* merupakan jumlah buruh angkut yang disediakan oleh pihak penyedia buruh setiap harinya selama tiga *shift* kerja, dengan nilai persamaan menggunakan RANDOM UNIFORM yang nilainya sudah disesuaikan dengan kondisi yang ada, melalui proses wawancara dengan perwakilan dari PT Petrokimia Gresik.

**Tabel 4.12** Persamaan untuk *Transportation Cost*

Variabel	Persamaan
Transportation cost	Mojokerto 2
Mojokerto 2	(General Allocation*Storage Allocation)*47929
Storage Allocation	0.012

Variabel *Transportation cost* merupakan biaya transportasi yang dikeluarkan untuk mengirimkan pupuk tersebut menuju gudang penyangga. Pada penelitian ini, hanya ada satu gudang penyangga yang digunakan sebagai objek penelitian. Gudang penyangga tersebut terletak di Desa Jatipasar, Kecamatan

Trowulan, Kabupaten Mojokerto. Variabel Mojokerto 2 merupakan variabel yang menyatakan berapa jumlah pupuk urea yang didistribusikan ke Gudang penyangga di Kecamatan Trowulan tersebut. Alokasi yang disalurkan untuk gudang penyangga tersebut adalah sebesar 0.012 dari pengeluaran total dari Gudang Gresik (general allocation), dengan biaya transportasi per tonnya sebesar Rp47.929,00.

#### 4.4.3. Formulasi pada Sub model *region's storage costs*

Sub-model *region storage's costs* merupakan sub model yang menunjukkan seberapa besar biaya distribusi yang dikeluarkan pada saat pupuk berada dalam ruang lingkup gudang penyangga. Pada penelitian ini, hanya ada satu gudang penyangga yang digunakan sebagai objek penelitian. Gudang penyangga tersebut terletak di Desa Jatipasar, Kecamatan Trowulan, Kabupaten Mojokerto. Pengeluaran pupuk siap edar dari Gudang Gresik selanjutnya didistribusikan menuju gudang penyangga. Persediaan atau stok pada gudang penyangga diwakilkan oleh variabel *Mojokerto's Stocks*, dengan *rate in* menggunakan nilai pada *general allocation* dikalikan dengan alokasi untuk gudang penyangga yang diwakilkan oleh variabel *region storage's allocation* sebesar 0.012. *Rate out* dari *Mojokerto's Stocks* menggunakan variabel bernama *Mojokerto Outflow*, dengan nilai yang menggunakan RANDOM NORMAL dengan pembagian waktu simulasi sebanyak enam bagian. Pembagian ini dilakukan untuk memudahkan proses validasi pada variabel *distributor allocation*, dikarenakan kondisi data yang memiliki pola yang sangat fluktuatif.

Tabel 4.13 Persamaan pada *Region Storage's Stocks*

Variabel	Persamaan
Region storage's allocation	General Allocation*0.012
Rate Mojokerto's stocks	Region Storage's Allocation
Mojokerto's stocks	INTEG(Rate Mojokerto's Stocks - Mojokerto Outflow, 459)

Mojokerto outflow	<pre> IF THEN ELSE( (1&lt;=Time):AND:(Time&lt;=8), Mojokerto's Stocks*0.05, (IF THEN ELSE( (9&lt;=Time):AND:(Time&lt;=11), Mojokerto's Stocks*0.01, (IF THEN ELSE( (12&lt;=Time):AND:(Time&lt;=14), Mojokerto's Stocks*0.076, (IF THEN ELSE( (15&lt;=Time):AND:(Time&lt;=17), Mojokerto's Stocks*0.01,(IF THEN ELSE( (18&lt;=Time):AND: (Time&lt;=20), Mojokerto's Stocks*0.054, (IF THEN ELSE( (Time=21), 46.5,(IF THEN ELSE( (22&lt;=Time):AND:(Time &lt;=27), Mojokerto's Stocks*0.04, Mojokerto's Stocks*0.05 ))))))))))))) </pre>
Distributor allocation	Mojokerto Outflow

Selanjutnya, variabel *Region storage's cost* merupakan penjumlahan dari biaya yang dinyatakan pada *region handling cost* dan *region storage managing cost*. Variabel *region storage managing cost* tersebut merupakan penjumlahan dari nilai biaya yang terdapat pada *region's checker* dan *region's janitor*. *Region's janitor* atau tenaga kebersihan memiliki upah sebesar Rp5.000.000,00 setiap satu bulannya. Karena pada model ini menggunakan satuan waktu per minggu dengan nilai data rata-rata per hari pada satu minggunya, maka pada persamaan digunakan pembagi dengan nilai 30 agar nilai data menjadi rata-rata per hari. Sama dengan *checker*, digunakan pembagi 30 juga pada upah perbulannya agar nilai data menjadi rata-rata per hari. Biaya yang dikeluarkan untuk menjalankan *forklift* pada gudang penyangga ini sebesar Rp6.000,00/Ton. *Forklift*

tersebut digunakan untuk mengangkut pupuk yang diterima dari Gudang Gresik dan mengangkut pupuk yang akan dialokasikan kepada distributor. Upah yang disetujui oleh pihak PT Petrokimia Gresik dengan penyedia buruh angkut pada gudang penyangga adalah sebesar Rp200.000,00.

**Tabel 4.14 Persamaan pada *Region Storage's Cost***

Variabel	Persamaan
Region storage's cost	Region Handling Cost+Region Storage Managing Cost
Region storage managing cost	Region's Checker+Region's Janitor
Region's janitor	$5e+06/30*12$
Region's checker	$6.5e+06/30*6$
Region handling cost	Region's Carrier Forklift+Region's Carrier Labors
Region's carrier forklift	(Region Storage's Allocation*Region's forklift cost)+(Distributor Allocation*Region's forklift cost)
Region's forklift cost	6000
Region's carrier labors	Region's Available Labor*Region's labor cost
Region's labor cost	200000
Region's available labors	INTEGER( RANDOM UNIFORM( 2, 6, 0))

#### 4.4.4. Sub model *distributor's cost*

Sub-model *distributor's costs* merupakan sub model yang menunjukkan seberapa besar biaya distribusi yang dikeluarkan pada saat pupuk berada dalam ruang lingkup distributor. Sama seperti submodel *main storage* dan *region storage*, sub model ini juga memiliki variabel berupa *stock/level* yang bernama *distributor's stocks*. Variabel tersebut memiliki rate in dengan nilai yang sama dengan variabel *distributor allocation*, serta

*rate out* yang menggunakan pembagian waktu simulasi sebanyak tiga bagian. Pembagian waktu ini dilakukan untuk menyeimbangkan persediaan/stok yang terdapat pada variabel *distributor's stocks*, agar nilai variabel tersebut tetap rasional. *Rate out* tersebut kemudian mengarah ke variabel *delivery to store*, yang merupakan jumlah pupuk yang didistribusikan ke kios-kios resmi yang terdapat pada area distribusi dari distributor tersebut.

**Tabel 4.15** Persamaan pada *Distributor's Stocks*

Variabel	Persamaan
Rate in distributor	Distributor Allocation
Distributor's stocks	INTEG (Rate In Distributor - Distributor's Outflow, 15)
Distributor's outflow	IF THEN ELSE( (1<=Time):AND:(Time<=9),Distributor's Stocks*0.4, (IF THEN ELSE( (10<=Time):AND:(Time<=18), Distributor's Stocks*0.35, (IF THEN ELSE( (19<=Time):AND:(Time<=27),Distributor's Stocks*0.15, Distributor's Stocks*0.2))))))
Delivery to store	Distributor's Outflow
Consumption	Delivery to store*1

Selanjutnya, terdapat variabel *distributor storage's cost* yang merupakan biaya distribusi total yang dikeluarkan pada saat pupuk berada dilingkup distributor. Variabel tersebut merupakan penjumlahan dari *delivery*, *dist carrier labors* dan *pick up cost*. *Delivery* merupakan biaya pengantaran pupuk tersebut menuju ke kios-kios resmi, dengan biaya sebesar Rp26.500,00 per Ton. Sedangkan *pick up cost* merupakan biaya pengambilan pupuk dari gudang penyangga, dengan biaya sebesar Rp26.500,00 per Ton. Buruh angkut pada

distributor memiliki upah yang disetujui oleh pihak penyedia buruh dengan PT Petrokimia Gresik sebesar Rp125.000,00.

**Tabel 4.16 Persamaan pada *Distributor Storage's Cost***

Variabel	Persamaan
Distributor storage's cost	Delivery+Dist Carrier Labors+Pick up Cost
Delivery and pick up cost	26500
Pick up cost	Distributor Allocation* Delivery and pick up cost
Delivery	Delivery to store* Delivery and pick up cost
Dist carrier labors	Dist Available Labor* Dist labor cost
Dist labor cost	125000
Dist available labors	INTEGER( RANDOM UNIFORM( 2, 5, 0))

#### 4.4.5. Sub model *total distribution cost*

Sub model terakhir adalah sub model bernama *total distribution cost*, yang merupakan biaya distribusi total yang dikeluarkan oleh PT Petrokimia Gresik untuk mendistribusikan pupuk urea subsidi hingga ke kios-kios yang terdapat pada Kabupaten Mojokerto. Seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.17, sub model ini merupakan penjumlahan dari tiga biaya distribusi yang terdapat pada lini distribusi pupuk, yakni *main storage's cost* atau biaya distribusi dilingkup Gudang Gresik, *region storage's cost* atau biaya distribusi dilingkup gudang penyangga, serta *distributor storage's cost* atau biaya distribusi dilingkup distributor.

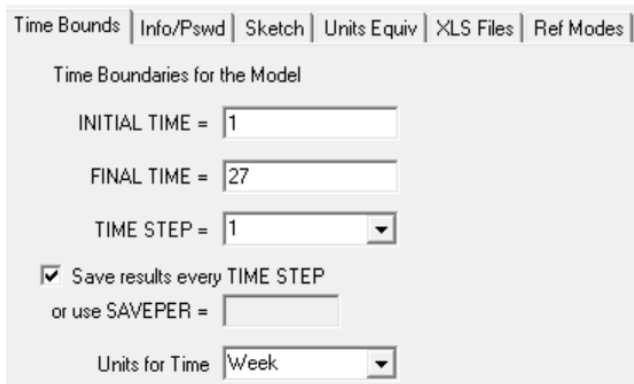
**Tabel 4.17 Persamaan pada *Total Distribution Cost***

Variabel	Persamaan
Distributor storage's cost	Delivery+Dist Carrier Labors+Pick up Cost

#### 4.5. Verifikasi Model

Setelah perancangan model *stock and flow* dilakukan, tahapan selanjutnya adalah melakukan verifikasi model. Proses verifikasi model ini dilakukan untuk memastikan bahwa model *stock and flow* yang dirancang telah terbebas dari *error* maupun *bug* yang menyebabkan model tidak dapat dijalankan. Jika Vensim mendeteksi ada *error* pada model, hal tersebut menandakan bahwa model *stock and flow* yang dirancang masih memiliki error pada perumusan variabelnya. Untuk melakukan verifikasi model pada vensim, terdapat beberapa langkah yang harus dilakukan.

Model Settings

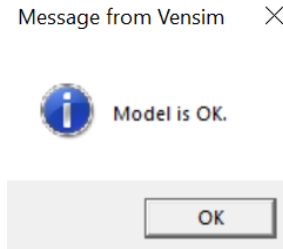


The screenshot shows the 'Model Settings' dialog box with the 'Time Boundaries for the Model' section active. The 'Time Bounds' tab is selected. The settings are as follows:

- INITIAL TIME = 1
- FINAL TIME = 27
- TIME STEP = 1
- Save results every TIME STEP
- or use SAVEPER = [ ]
- Units for Time = Week

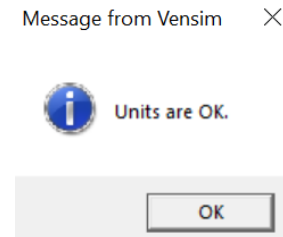
**Gambar 4.14 Mengatur *Time Step* untuk *Base Model***

Sebelum melakukan verifikasi, harus dipastikan bahwa *initial time* dan *final time* atau jangka waktu yang digunakan untuk melakukan simulasi sudah terisi. Gambar 4.14 memperlihatkan bahwa model ini menggunakan jangka waktu sebanyak 27 dengan *time step* 1 dan satuan waktu per minggu.



**Gambar 4.15 Notifikasi Bahwa *Model is OK***

Ketika jangka waktu sudah terisi, langkah selanjutnya adalah melakukan *check model* dengan meng-klik *Model* pada *toolbar* yang terletak paling atas, kemudian klik *Check Model*. Perintah ini juga dapat dijalankan dengan mengklik CTRL dan T secara bersamaan pada keyboard. Gambar 4.15 merupakan notifikasi yang menandakan bahwa model ini telah berhasil melalui *model check*.



**Gambar 4.16 Notifikasi Bahwa Satuan Telah Sesuai**

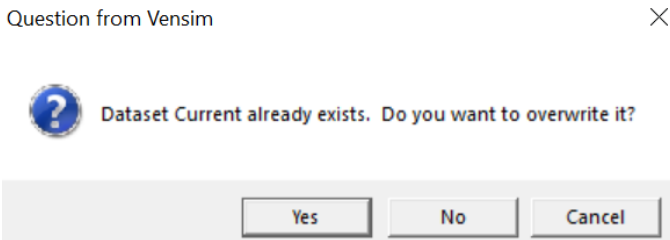
langkah selanjutnya adalah melakukan *unit check* dengan meng-klik *Model* pada *toolbar* yang terletak paling atas, kemudian klik *unit check*. Jika *unit check* telah berhasil dilakukan, hal tersebut menandakan bahwa model yang dikembangkan telah memiliki satuan yang konsisten. Gambar 4.16 merupakan notifikasi yang menandakan bahwa model ini telah berhasil melalui *unit check*.





**Gambar 4.17** *Toolbar yang Digunakan untuk Melakukan Running Model*

Ketika jangka waktu sudah terisi, langkah selanjutnya adalah melakukan *running* model dengan menekan tombol *Simulate* yang terletak pada *toolbar*. Untuk melakukan simulasi, dibutuhkan sebuah *file* yang digunakan untuk menyimpan hasil simulasi. Gambar 4.17 menunjukkan bahwa model ini menggunakan file bernama *Current*.



**Gambar 4.18** *Pesan Konfirmasi Sebelum Running Model*

Sebelum proses *running* dijalankan, vensim akan menampilkan pesan konfirmasi seperti yang ditampilkan pada gambar 4.18. Ketika tombol *Yes* dipilih, maka model akan berkedip sekali. Jika tidak ada pesan *error* yang keluar, maka dapat dipastikan bahwa model tersebut dapat dinyatakan telah terverifikasi.

#### **4.6. Model Testing**

Pengujian terhadap model dilakukan untuk mengetahui apakah model yang dirancang telah merepresentasikan sistem yang telah ada saat ini (eksisting). Pada penelitian ini, proses validasi dilakukan melalui dua cara. Cara pertama adalah dengan melakukan *mean comparassion*, atau membandingkan nilai rata-rata dari data historis dengan data yang didapatkan saat simulasi. Model yang valid memiliki hasil *mean comparassion*

$< 5\%$ . Cara kedua adalah dengan melakukan *error variance comparassion*, atau membandingkan nilai standar deviasi dari data historis dengan data yang didapatkan saat simulasi. Model yang valid memiliki hasil *error variance comparassion*  $< 30\%$ . Pada penelitian ini, dilakukan uji validitas terhadap beberapa variabel. Variabel tersebut adalah *production*, *main storage's stocks*, *general allocation*, dan *distributor allocation*.

#### 4.6.1. Validasi variabel *production*

Variabel *production* adalah variabel yang menyatakan berapa ton pupuk urea yang diproduksi oleh PT Petrokimia Gresik. Tabel 4.18 menunjukkan perbandingan data variabel *production*, antara data aktual dengan data hasil simulasi yang dilakukan pada vensim.

**Tabel 4.18 Perbandingan Data Variabel *Production***

Minggu Ke-	Data Aktual	Data Hasil Simulasi
1	2716,20	2691,84
2	3012,86	2689,74
3	2906,57	2935,52
4	2912,00	2750,84
5	2655,36	2743,05
6	2803,93	2927,73
7	2595,86	2617,50
8	1676,14	2155,74
9	2085,30	2544,15
10	2294,14	2275,80
11	2559,86	2438,06
12	2416,29	2159,26
13	2385,43	2427,44
14	2583,00	2217,62

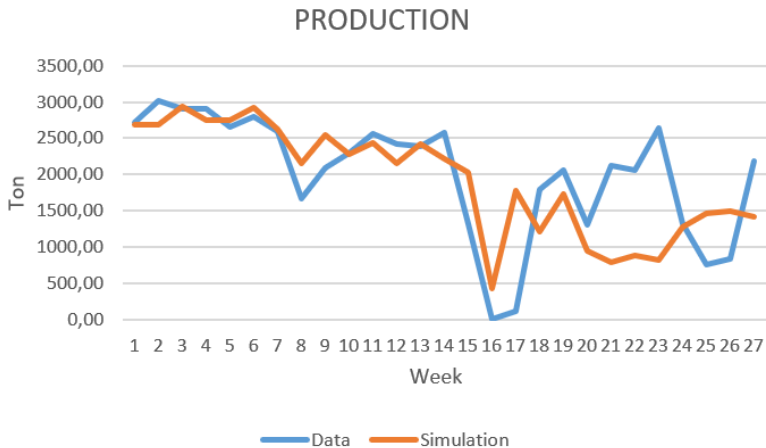
15	1327,71	2036,06
16	9,21	427,37
17	120,00	1778,64
18	1789,50	1220,02
19	2067,86	1734,82
20	1303,29	943,48
21	2129,79	791,02
22	2056,29	879,07
23	2638,29	820,87
24	1325,79	1273,52
25	765,64	1460,83
26	832,93	1504,03
27	2193,50	1417,83

Data yang ditampilkan oleh Tabel 4.18 adalah data rata-rata per hari untuk setiap minggunya. Hasil perhitungan uji validitas berupa *mean comparassion* dan *error variance* dapat dilihat pada tabel 4.19.

**Tabel 4.19 Validasi Variabel Production**

Mean Comparassion $E1 = \frac{ \bar{S} - \bar{A} }{\bar{A}}$ (<5 %)	$\frac{ 1920,81 - 2006,03 }{2006,03}$	<b>VALID</b>
	<b>= 4,25%</b>	
Error Variance $E2 = \frac{ Ss - Sa }{Sa}$ (< 30%)	$\frac{ 751,72 - 834,02 }{834,02}$	
	<b>= 9,87%</b>	

Pada variabel *production*, uji validitas menggunakan *mean comparassion* menghasilkan nilai  $E1 = 4,25\%$ . Ketika diuji menggunakan pengujian *error variance*, hasil menunjukkan nilai  $E2 = 9,87\%$ . Karena kedua pengujian tersebut menghasilkan nilai yang berada pada batas yang masih diterima, variabel *production* ini dapat dikatakan valid. Gambar 4.19 menunjukkan grafik perbandingan antara data aktual dengan data hasil simulasi.



**Gambar 4.19 Grafik Perbandingan Variabel *Production***

Pada gambar 4.19, data aktual ditunjukkan oleh garis berwarna biru sedangkan data hasil simulasi ditunjukkan oleh garis berwarna oranye. Pada data aktual, terdapat penurunan nilai produksi yang sangat drastis dari minggu ke-14 hingga minggu ke-16. Kemudian terjadi kenaikan lagi hingga sebelum mengalami penurunan kembali pada minggu ke-20.

#### **4.6.2. Validasi variabel *main storage's stocks***

Variabel *main storage's stocks* ini adalah variabel yang menyatakan seberapa besar jumlah persediaan/stok pupuk urea yang terdapat pada Gudang Gresik. Satuan yang digunakan

pada variabel ini adalah Ton. Tabel 4.20 menunjukkan perbandingan antara data aktual persediaan pupuk pada gudang gresik dengan data hasil simulasi yang dilakukan menggunakan vensim.

**Tabel 4.20 Perbandingan Data Variabel *Main Storage's Stocks***

<b>Minggu Ke-</b>	<b>Data Aktual</b>	<b>Data Hasil Simulasi</b>
1	8180,64	8180,00
2	12267,41	13720,29
3	19245,08	18103,96
4	25130,95	22360,54
5	30511,46	25249,77
6	33567,31	27480,26
7	38173,19	29842,35
8	36121,56	30904,09
9	29945,11	30412,32
10	30723,47	31085,67
11	29216,66	30974,28
12	27769,22	31315,69
13	27894,19	29312,25
14	27977,64	28182,98
15	29760,19	26876,09
16	17303,49	25459,76
17	5341,84	21185,74
18	1986,40	10681,89
19	1054,89	5369,77
20	2565,79	2778,05
21	2759,50	1358,46

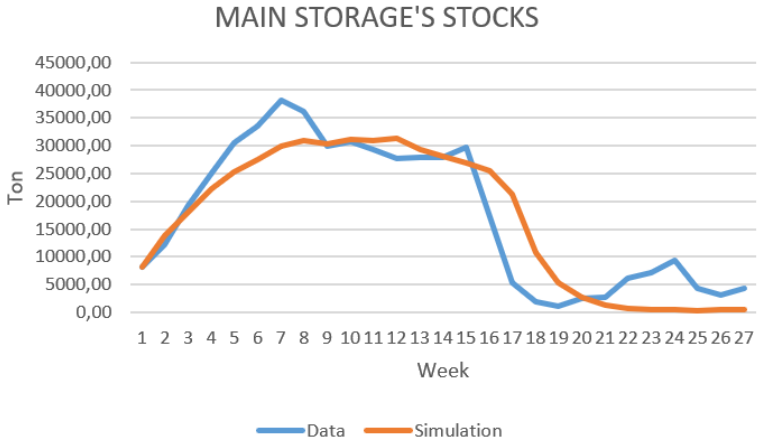
22	6052,29	646,75
23	7116,21	547,81
24	9390,56	416,49
25	4348,08	390,37
26	3072,63	412,34
27	4243,95	424,32

Data yang ditampilkan oleh Tabel 4.20 adalah data rata-rata per hari untuk setiap minggunya. Hasil perhitungan uji validitas berupa *mean comparassion* dan *error variance* dapat dilihat pada tabel 4.21.

**Tabel 4.21 Validasi Variabel *Main Storage's Stocks***

Mean Comparassion $E1 = \frac{ \bar{S} - \bar{A} }{\bar{A}}$ ( $< 5\%$ )	$\frac{ 16802,68 - 17471,1 }{17471,1}$  <b>= 3,83%</b>	<b>VALID</b>
Error Variance $E2 = \frac{ Ss - Sa }{Sa}$ ( $< 30\%$ )	$\frac{ 12643,62 - 12827,95 }{12827,95}$  <b>= 1,44%</b>	

Pada variabel *main storage's stocks*, uji validitas menggunakan *mean comparassion* menghasilkan nilai  $E1 = 3,83\%$ . Ketika diuji menggunakan pengujian *error variance*, hasil menunjukkan nilai  $E2 = 1,44\%$ . Karena kedua pengujian tersebut menghasilkan nilai yang berada pada batas yang masih diterima, variabel *main storage's stocks* ini dapat dikatakan valid. Gambar 4.20 menunjukkan grafik perbandingan antara data aktual dengan data hasil simulasi.



**Gambar 4.20** Grafik Perbandingan Variabel *Main Storage's Stocks*

Pada gambar 4.20, data aktual ditunjukkan oleh garis berwarna biru sedangkan data hasil simulasi ditunjukkan oleh garis berwarna oranye. Pada data aktual, terdapat penurunan nilai persediaan yang sangat drastis dari minggu ke-15 hingga mencapai ke titik terendahnya pada minggu ke-19. Kemudian terjadi kenaikan lagi hingga sebelum mengalami penurunan kembali pada minggu ke-25.

#### 4.6.3. Validasi variabel *general allocation*

Variabel *general allocation* merupakan variabel yang menunjukkan seberapa banyak pengeluaran pupuk urea dari Gudang Gresik. Satuan yang digunakan untuk variabel ini adalah Ton. Tabel 4.22 menunjukkan perbandingan antara data aktual pengeluaran pupuk dari Gudang Gresik dengan data hasil simulasi yang dilakukan menggunakan vensim.

**Tabel 4.22** Perbandingan Data Variabel *General Allocation*

Minggu Ke-	Data Aktual	Data Hasil Simulasi
1	2574,20	1382,15

2	1995,00	2302,92
3	2024,07	2935,46
4	2118,64	1815,22
5	2161,86	2070,30
6	2229,07	2217,11
7	2100,89	2402,20
8	2267,57	2524,91
9	2606,57	2478,34
10	2371,21	2502,42
11	2607,36	2496,54
12	2675,79	2528,79
13	2553,00	2393,66
14	1862,14	2296,85
15	2209,07	2195,39
16	1753,00	2051,51
17	1531,01	1531,00
18	1851,36	1851,00
19	2023,64	1244,34
20	1396,00	1396,00
21	1673,43	1673,00
22	1987,57	1494,76
23	1999,36	1707,23
24	1777,97	1227,80
25	974,14	992,86
26	992,71	1107,40
27	1155,33	1355,70

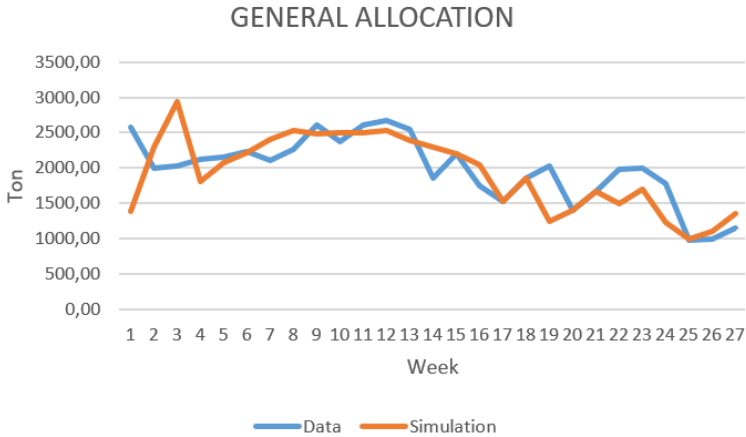


Data yang ditampilkan oleh Tabel 4.22 adalah data rata-rata per hari untuk setiap minggunya. Hasil perhitungan uji validitas berupa *mean comparassion* dan *error variance* dapat dilihat pada tabel 4.23.

**Tabel 4.23 Validasi Variabel *General Allocation***

Mean Comparassion $E1 = \frac{ \bar{S} - \bar{A} }{\bar{A}}$ (<5 %)	$\frac{ 1932,4 - 1980,44 }{1980,44}$ $= 2,43\%$	<b>VALID</b>
Error Variance $E2 = \frac{ Ss - Sa }{Sa}$ (< 30%)	$\frac{ 536,67 - 472,28 }{472,28}$ $= 13,63\%$	

Pada variabel *general allocation*, uji validitas menggunakan *mean comparassion* menghasilkan nilai  $E1 = 2,43\%$ . Ketika diuji menggunakan pengujian *error variance*, hasil menunjukkan nilai  $E2 = 13,63\%$ . Karena kedua pengujian tersebut menghasilkan nilai yang berada pada batas yang masih diterima, variabel *general allocation* ini dapat dikatakan valid. Gambar 4.21 menunjukkan grafik perbandingan antara data aktual dengan data hasil simulasi.



**Gambar 4.21 Grafik Perbandingan Variabel *General Allocation***

Pada gambar 4.21, data aktual ditunjukkan oleh garis berwarna biru sedangkan data hasil simulasi ditunjukkan oleh garis berwarna oranye. Pada data aktual, jumlah pengeluaran pupuk terbanyak terjadi pada minggu ke-12, sedangkan jumlah pengeluaran pupuk paling sedikit terjadi pada minggu ke-25.

#### 4.6.4. Validasi variabel *distributor allocation*

Variabel *distributor allocation* merupakan variabel yang menunjukkan seberapa banyak pupuk urea yang dialokasikan untuk para distributor. Satuan yang digunakan untuk variabel ini adalah Ton. Tabel 4.24 menunjukkan perbandingan antara data aktual alokasi pupuk urea kepada distributor dengan data hasil simulasi yang dilakukan menggunakan vensim.

**Tabel 4.24 Perbandingan Data Variabel *Distributor Allocation***

Minggu Ke-	Data Aktual	Data Hasil Simulasi
1	14,40	22,95
2	26,14	22,63
3	18,57	22,88

4	36,57	23,50
5	10,57	23,41
6	34,71	23,48
7	17,00	23,64
8	30,21	23,90
9	1,21	4,84
10	0,00	5,09
11	13,21	5,34
12	35,29	42,47
13	31,93	41,55
14	40,86	40,58
15	0,00	5,21
16	4,71	5,42
17	9,14	5,61
18	21,00	30,99
19	28,43	30,52
20	29,93	29,68
21	46,50	46,50
22	24,14	20,41
23	21,14	20,31
24	27,57	20,32
25	36,29	20,09
26	19,29	19,77
27	8,33	19,51

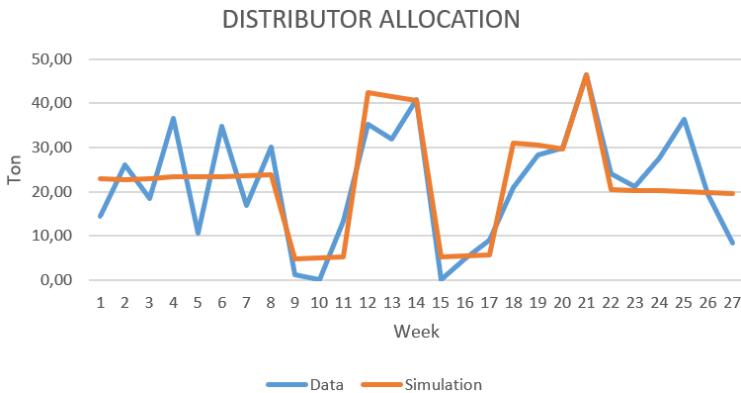
Data yang ditampilkan oleh Tabel 4.24 adalah data rata-rata per hari untuk setiap minggunya. Hasil perhitungan uji validitas

berupa *mean comparassion* dan *error variance* dapat dilihat pada tabel 4.25.

**Tabel 4.25 Validasi Variabel Distributor Allocation**

Mean Comparassion $E1 = \frac{ \bar{S} - \bar{A} }{\bar{A}}$ (< 5 %)	$\frac{ 22,25 - 21,75 }{21,75}$	<b>VALID</b>
	<b>= 2,29%</b>	
Error Variance $E2 = \frac{ Ss - Sa }{Sa}$ (< 30%)	$\frac{ 11,89 - 13 }{13}$	
	<b>= 8,5%</b>	

Pada variabel *distributor allocation*, uji validitas menggunakan *mean comparassion* menghasilkan nilai E1 = 2,29%. Ketika diuji menggunakan pengujian *error variance*, hasil menunjukkan nilai E2 = 8,5%. Karena kedua pengujian tersebut menghasilkan nilai yang berada pada batas yang masih diterima, variabel *distributor allocation* ini dapat dikatakan valid. Gambar 4.22 menunjukkan grafik perbandingan antara data aktual dengan data hasil simulasi.



**Gambar 4.22 Grafik Perbandingan Variabel Distributor Allocation**

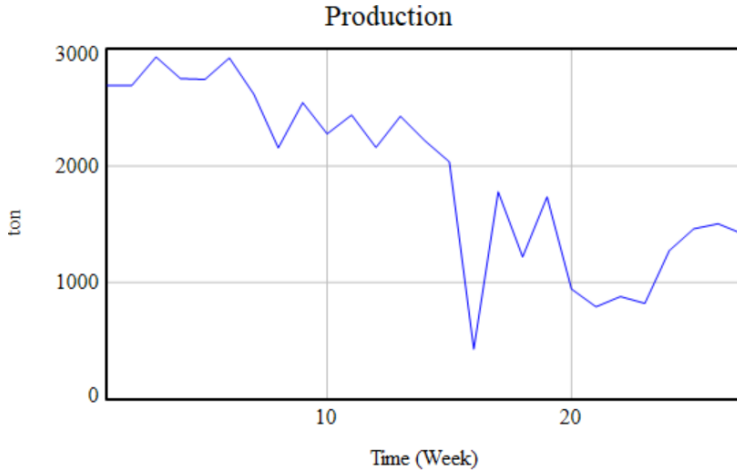
Pada gambar 4.22, data aktual ditunjukkan oleh garis berwarna biru sedangkan data hasil simulasi ditunjukkan oleh garis berwarna oranye. Pada data aktual, terdapat penurunan jumlah alokasi yang sangat drastis dari minggu ke-14 hingga mencapai ke titik terendahnya pada minggu ke-15. Kemudian terjadi kenaikan lagi hingga mencapai titik tertingginya pada minggu ke-21.

#### **4.7. Analisis Kondisi Eksisting (*Base Model*)**

Setelah melakukan uji verifikasi dan validitas, dilakukan analisis *base model* pada model *stock and flow* yang telah dikembangkan. Analisis yang dilakukan bertujuan untuk memberikan penjelasan terkait hasil *running* dari masing-masing sub model yang ada.

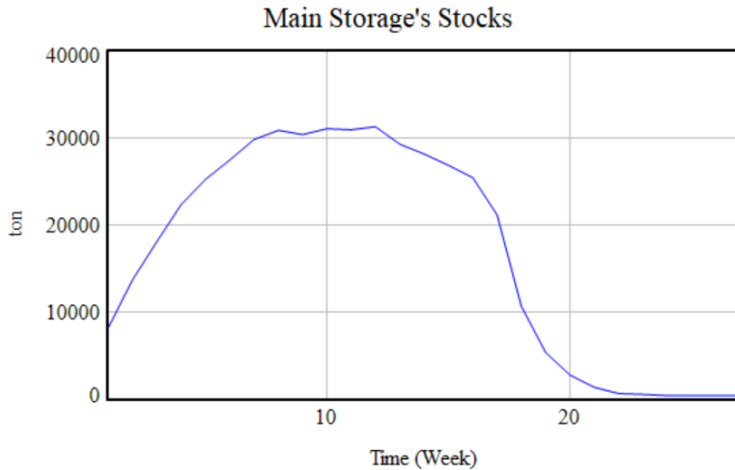
##### **4.7.1. Analisis *base model production***

Sub model *production* merupakan sub model yang menggambarkan produksi serta penyimpanan pupuk urea yang dilakukan pada gudang gresik. Gambar 4.23 merupakan hasil *running* model untuk variabel *production*, sedangkan gambar 4.24 adalah hasil *running* model untuk variabel *main storage's stocks*.



**Gambar 4.23 Grafik Simulasi Variabel *Production***

Pada gambar 4.23, terlihat bahwa tren produksi pupuk urea pada minggu pertama (awal bulan Oktober 2019) hingga minggu ke-27 (akhir bulan Maret 2020) cenderung mengalami penurunan. Selama jangka waktu sebanyak 27 minggu, produksi pupuk terbanyak terjadi pada minggu ke-3, atau tepatnya sekitar tanggal 13 hingga 19 Oktober 2019 yaitu sebanyak 2935,52 Ton pupuk urea. Sedangkan produksi pupuk paling sedikit terjadi pada minggu ke-16, atau tepatnya sekitar tanggal 12 hingga 18 Januari 2020 yaitu sebanyak 427,37 Ton pupuk urea.

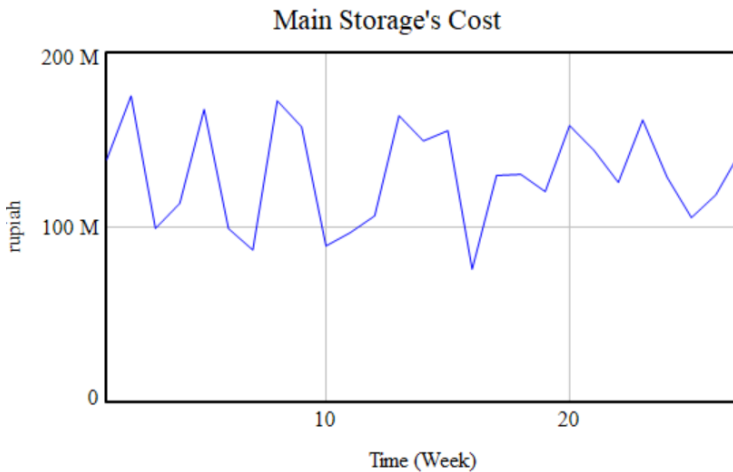


**Gambar 4.24** Grafik Simulasi Variabel *Main Storage's Stocks*

Pada gambar 4.24, terlihat bahwa jumlah persediaan pupuk urea pada minggu pertama (awal bulan Oktober 2019) terus mengalami kenaikan hingga mencapai puncaknya pada minggu ke-12 (15 hingga 21 Desember 2019). Selama jangka waktu sebanyak 27 minggu, persediaan pupuk terbanyak terjadi pada minggu ke-12, atau tepatnya sekitar tanggal 15 hingga 21 Desember 2019 yaitu sebanyak 31315,7 Ton pupuk urea. Sedangkan persediaan pupuk paling sedikit terjadi pada minggu ke-26, atau tepatnya sekitar tanggal 22 hingga 28 Maret 2020 yaitu sebanyak 390,36 Ton pupuk urea.

#### 4.7.2. Analisis *base model main storage's costs*

Sub-model *main storage's costs* merupakan sub model yang menunjukkan seberapa besar biaya distribusi yang dikeluarkan pada saat pupuk berada dalam ruang lingkup Gudang Gresik. Gambar 4.25 merupakan hasil *running* model untuk variabel *main storage's costs*.



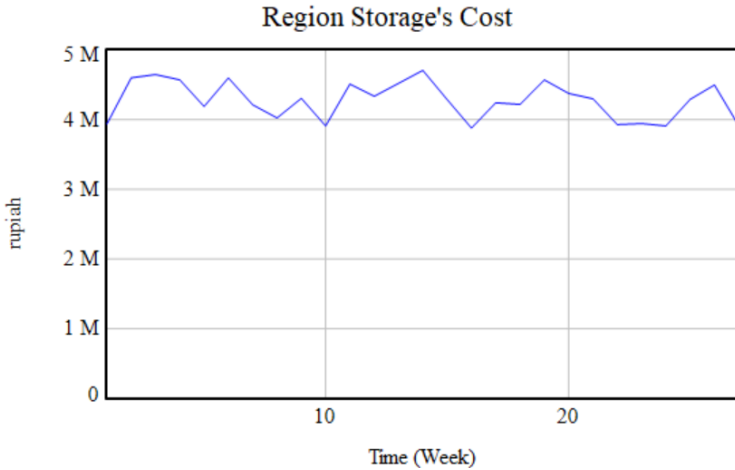
**Gambar 4.25** Grafik Simulasi Variabel *Main Storage's Costs*

Pada gambar 4.25, terlihat bahwa biaya distribusi pada lingkup Gudang Gresik mengalami tren yang fluktuatif dari minggu ke minggu. Selama jangka waktu sebanyak 27 minggu, pada minggu ke-2 (6-12 Oktober 2019) terjadi pengeluaran biaya yang terbesar yaitu sebanyak Rp175.479.744,00. Sedangkan, pengeluaran biaya paling sedikit terjadi pada minggu ke-16 (12-18 Januari 2020) yaitu sebesar Rp75.917.576,00.

#### **4.7.3. Analisis base model *region storage's costs***

Sub-model *region storage's costs* merupakan sub model yang menunjukkan seberapa besar biaya distribusi yang dikeluarkan pada saat pupuk berada dalam ruang lingkup gudang penyangga. Pada penelitian ini, hanya ada satu gudang penyangga yang digunakan sebagai objek penelitian. Gudang penyangga tersebut terletak di Desa Jatipasar, Kecamatan Trowulan, Kabupaten Mojokerto. Gambar 4.26 menunjukkan hasil *running* model pada variabel *region storage's costs*.



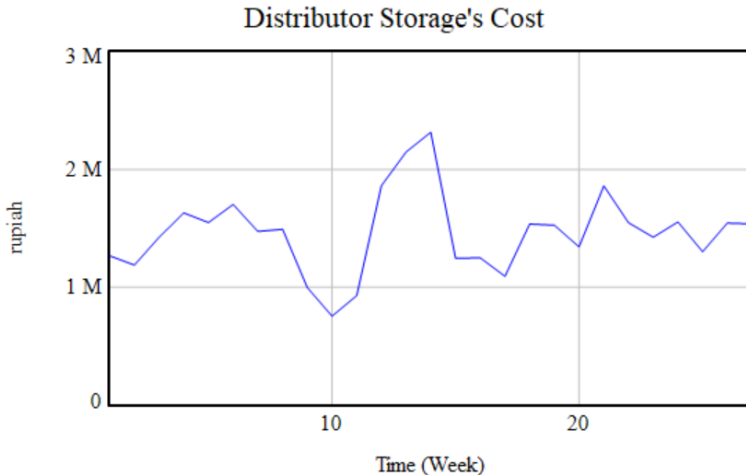


**Gambar 4.26** Grafik Simulasi Variabel *Region Storage's Cost*

Pada gambar 4.26, terlihat bahwa biaya distribusi pada lingkup gudang penyangga mengalami tren yang fluktuatif dari minggu ke minggu. Selama jangka waktu sebanyak 27 minggu, pada minggu ke-14 (29 Desember 2019 – 4 Januari 2020) terjadi pengeluaran biaya yang terbesar yaitu sebanyak Rp4.708.830,00. Sedangkan, pengeluaran biaya paling sedikit terjadi pada minggu ke-16 (12-18 Januari 2020) yaitu sebesar Rp3.880.230,00.

#### **4.7.4. Analisis base model distributor's costs**

Sub-model *distributor's costs* merupakan sub model yang menunjukkan seberapa besar biaya distribusi yang dikeluarkan pada saat pupuk berada dalam ruang lingkup distributor. Pada model stock and flow diagram yang terdapat pada penelitian ini, distributor yang dinyatakan pada sub model ini merupakan gabungan dari enam distributor yang melakukan pengambilan pada gudang penyangga yang terletak di Desa Jatipasar, Kecamatan Trowulan, Kabupaten Mojokerto. Gambar 4.27 menunjukkan hasil *running* model pada variabel *distributor storage's cost*.



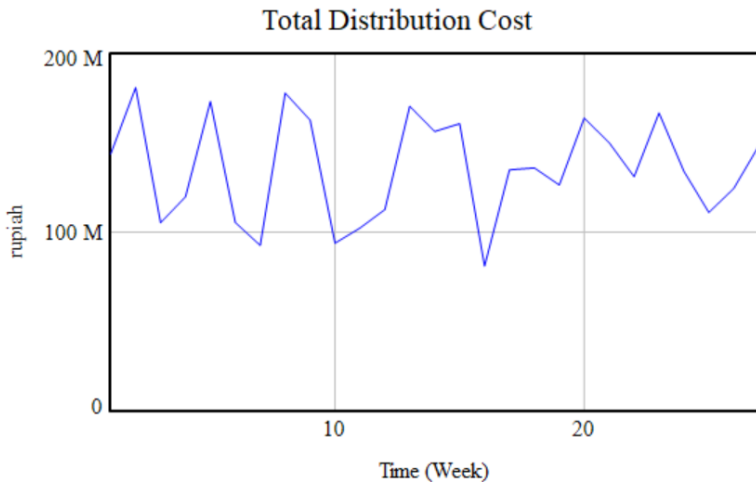
**Gambar 4.27** Grafik Simulasi Variabel *Distributor Storage's Cost*

Pada gambar 4.27, terlihat bahwa biaya distribusi pada lingkup distributor mengalami tren yang fluktuatif dari minggu ke minggu. Selama jangka waktu sebanyak 27 minggu, pada minggu ke-14 (29 Desember 2019 – 4 Januari 2020) terjadi pengeluaran biaya yang terbesar yaitu sebanyak Rp2.316.620,00. Sedangkan, pengeluaran biaya paling sedikit terjadi pada minggu ke-10 (1-7 Desember 2019) yaitu sebesar Rp754.730,00.

#### 4.7.5. Analisis base model total distribution costs

Sub model *total distribution cost* merupakan biaya distribusi total yang dikeluarkan oleh PT Petrokimia Gresik untuk mendistribusikan pupuk urea subsidi hingga ke kios-kios yang terdapat pada Kabupaten Mojokerto. Sub model ini merupakan penjumlahan dari tiga biaya distribusi yang terdapat pada lini distribusi pupuk, yakni *main storage's cost* atau biaya distribusi dilingkup Gudang Gresik, *region storage's cost* atau biaya distribusi dilingkup gudang penyangga, serta *distributor storage's cost* atau biaya distribusi dilingkup distributor.

Gambar 4.28 menunjukkan hasil *running* model pada variabel *total distribution cost*.



**Gambar 4.28** Grafik Simulasi Variabel *Total Distribution Cost*

Pada gambar 4.28, terlihat bahwa biaya distribusi total mengalami tren yang fluktuatif dari minggu ke minggu. Selama jangka waktu sebanyak 27 minggu, pada minggu ke-2 (6-12 Oktober 2019) terjadi pengeluaran biaya yang terbesar yaitu sebanyak Rp181.269.760,00. Sedangkan, pengeluaran biaya paling sedikit terjadi pada minggu ke-16 (12-18 Januari 2020) yaitu sebesar Rp81.047.592,00

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB V**

### **PENGEMBANGAN SKENARIO DAN ANALISIS HASIL**

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai proses pembuatan skenario beserta analisis terhadap hasil dari masing-masing skenario berdasarkan *base model* yang telah dikembangkan. Pengembangan skenario ini dilakukan untuk memenuhi tujuan dari penelitian yang dilakukan, yaitu mengurangi biaya distribusi pupuk urea ke Kabupaten Mojokerto.

#### **5.1. Pengembangan Skenario**

Setelah rancangan *base model* dapat dinyatakan telah terverifikasi dan tervalidasi, tahapan yang selanjutnya dilakukan pada penelitian ini adalah melakukan pengembangan skenario berdasarkan *base model* yang telah ada. Pengembangan skenario ini dilakukan untuk memenuhi tujuan dari penelitian yang dilakukan, yaitu mengurangi biaya distribusi pupuk urea ke Kabupaten Mojokerto. Melakukan perancangan skenario dapat dilakukan dengan menambahkan variabel beserta parameternya yang memiliki pengaruh dominan terhadap keseluruhan *base model*. Langkah selanjutnya, dilakukan analisis terhadap dampak perubahan yang terjadi pada variabel lainnya. Dalam membuat skenario simulasi terdapat dua jenis skenariosasi, yaitu skenario struktur dan skenario parameter. Skenario struktur dilakukan dengan mengubah struktur model melalui penambahan atau pengurangan variabel, sedangkan skenario parameter dilakukan dengan mengubah nilai parameter pada suatu variabel yang dianggap memiliki pengaruh besar terhadap keseluruhan tujuan model. Skenario struktur dan skenario parameter tersebut dapat digunakan bersama-sama untuk memberikan usulan perbaikan sesuai dengan tujuan utama pengembangan model. Tabel 5.1 menunjukkan beberapa skenario model yang dilakukan pada penelitian ini.

No.	Skenario	Tujuan
1.	Menyesuaikan jumlah buruh angkut dengan kapasitas produksi	Mengefisiensikan penggunaan buruh angkut pada Gudang Gresik, sehingga biaya distribusi dapat berkurang
2.	Meminimalkan jumlah pupuk yang rusak saat masa penyimpanan	Meminimalkan kerugian karena pupuk yang rusak pada masa penyimpanan, sehingga biaya distribusi dapat berkurang
3.	Menyesuaikan jumlah buruh angkut dengan kapasitas produksi dan meminimalkan jumlah pupuk yang rusak saat masa penyimpanan	Mengefisiensikan penggunaan buruh angkut pada Gudang Gresik serta meminimalkan kerugian karena pupuk yang rusak pada masa penyimpanan, sehingga biaya distribusi dapat berkurang

**Tabel 5.1 Rancangan Skenario**

Pada tabel 5.1, terdapat 3 skenario yang dikembangkan untuk memenuhi tujuan penelitian ini. Skenario ketiga merupakan gabungan dari skenario pertama dan kedua. Keseluruhan skenario yang dikembangkan merupakan skenario yang berjenis skenario struktur.

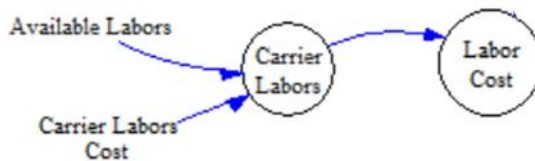
### **5.1.1. Skenario penyesuaian jumlah buruh angkut**

Buruh angkut merupakan salah satu komponen penting dalam menjaga kelancaran aktivitas penyimpanan pada Gudang Gresik. Sesuai namanya, buruh angkut memiliki tugas mengangkut pupuk urea yang telah selesai diproduksi untuk kemudian disusun sesuai dengan tatanan penyimpanan pada Gudang Gresik. Buruh angkut yang bekerja pada Gudang utama (Gudang Gresik) PT Petrokimia Gresik merupakan buruh yang dipekerjakan oleh *tender* atau jasa transportasi yang memiliki hak untuk mengirim dan mempekerjakan para buruh tersebut.

Agar buruh tersebut dapat dipekerjakan oleh pihak PT Petrokimia Gresik, sebelumnya terjadi perjanjian atau kontrak yang dilakukan antara pihak *tender* atau penyedia jasa transportasi dengan pihak PT Petrokimia Gresik. Biasanya, perjanjiannya atau kontrak tersebut berlaku selama satu periode atau sekitar satu tahun.

Buruh angkut yang bekerja pada PT Petrokimia Gresik merupakan buruh yang bekerja dengan bayaran harian. Sesuai dengan peraturan mengenai Ketenagakerjaan yang telah diatur secara khusus dalam Undang-Undang No.13 tahun 2003 pasal 77 ayat 1, buruh angkut tersebut memiliki jam kerja sebanyak satu *shift* per harinya atau sekitar total 8 jam kerja dengan 1 jam istirahat dan pergantian *shift*. Besaran upah yang disetujui antara pihak *tender* atau penyedia jasa transportasi dengan PT Petrokimia Gresik, upah buruh angkut per harinya bernilai rata-rata Rp400.000,00. Upah tersebut adalah nilai pembayaran yang dibayarkan oleh PT Petrokimia Gresik kepada *tender* atau penyedia jasa transportasi. Upah bersih yang diterima oleh buruh angkut tentunya lebih kecil daripada nilai upah yang telah disetujui tersebut.

Dalam melakukan pemodelan *stock and flow* diagram sesuai dengan kondisi eksisting tersebut, dilakukan pengembangan model seperti yang terlihat pada gambar 5.1.

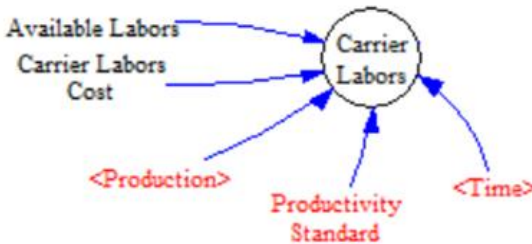


**Gambar 5.1 Variabel *Carrier Labors* Sebelum Dilakukan Skenario**

*Available Labors* merupakan jumlah buruh angkut yang dipekerjakan oleh *tender* atau penyedia jasa transportasi setiap harinya. Berdasarkan hasil wawancara yang dilakukan dengan

perwakilan dari pihak PT Petrokimia Gresik, biasanya sang *tender* mempekerjakan sekitar 9 hingga 12 orang buruh angkut pada setiap *shift* nya. Karena pada satu hari terdapat tiga *shift*, total buruh angkut yang bekerja per harinya berkisar sekitar 27 hingga 36 orang buruh angkut.

Dengan kondisi eksisting sebagaimana yang telah dijelaskan, maka model *stock and flow* yang terdapat pada gambar 5.1 dapat dikembangkan. Selanjutnya, pada gambar 5.2 merupakan rancangan skenario model yang dilakukan untuk menyesuaikan jumlah buruh agar lebih efisien.



**Gambar 5.2 Variabel *Carrier Labors* Setelah Dilakukan Skenario**

Pada *base model* yang telah dijelaskan sebelumnya, digunakan variabel *available labors* yang merupakan jumlah rata-rata buruh angkut yang dipekerjakan setiap harinya, yakni sekitar 27 hingga 36 orang buruh angkut. Untuk melakukan penyesuaian terhadap jumlah buruh angkut, dibuatlah variabel bernama *productivity standard* untuk kemudian dijalankan sebagai skenario. Tabel 5.2 memuat formulasi dari variabel *productivity standard* beserta variabel *carrier labors* yang digunakan untuk melakukan skenario model.

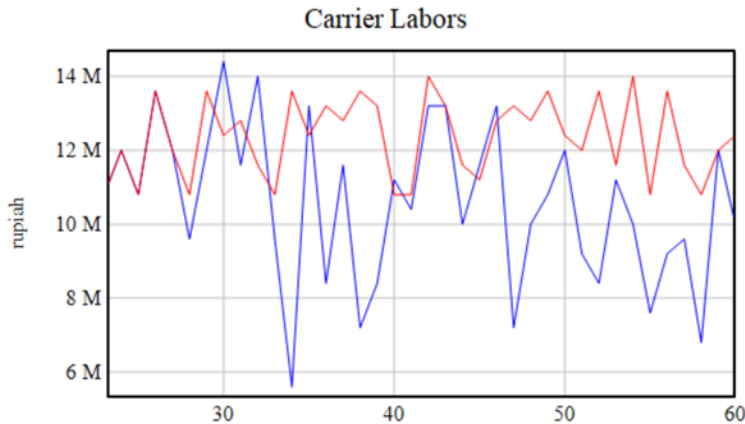
**Tabel 5.2 Formulasi Skenario Penyesuaian Buruh Angkut**

Variabel	Persamaan
Productivity Standard	70
Carrier Labors	IF THEN ELSE( Time<=27 , Available Labors* Carrier labors cost, (IF THEN ELSE( Time>27 ,



	INTEGER(Production/Productivity Standard)* Carrier labors cost, Available Labors* Carrier labors cost ) ) )
Carrier labors cost	400000

Seperti yang terlihat pada tabel 5.2, variabel *productivity standard* memiliki nilai sebesar 70 dengan satuan orang per ton. Angka ini merupakan nilai produktivitas dari setiap buruh angkut yang diharapkan oleh PT Petrokimia Gresik. Nilai tersebut didapatkan berdasarkan pengambilan data melalui wawancara bersama dengan perwakilan dari pihak PT Petrokimia Gresik. Nilai tersebut sebenarnya sudah disetujui oleh kedua belah pihak (*tender* dengan Petrokimia Gresik), namun hingga saat ini hal tersebut masih belum diimplementasikan dengan benar sehingga terkadang jumlah buruh angkut yang dipekerjakan oleh *tender* melebihi dari jumlah yang sebenarnya dibutuhkan. Nilai sebesar 70 ton per orang tersebut digunakan sebagai nilai pembagi dari produksi pupuk urea, sehingga jumlah buruh angkut yang dipekerjakan setiap harinya tidak melebihi dari kapasitas produksi yang ada, dengan nilai produktivitas per buruh angkut sebesar 70 ton per orang. Gambar 5.3 menampilkan grafik perbandingan antara biaya buruh ketika menggunakan formulasi pada *base model* dengan ketika menggunakan formulasi skenario model.



**Gambar 5.3 Grafik Perbandingan Biaya Buruh Angkut pada Skenario**

Garis berwarna merah merupakan hasil *running* dari *base model*, sedangkan garis berwarna biru merupakan hasil *running* menggunakan skenario model. Terlihat bahwa secara keseluruhan, garis berwarna biru memiliki posisi yang lebih rendah dibandingkan dengan garis berwarna merah. Walaupun pada beberapa minggu terlihat bahwa garis berwarna biru memiliki posisi yang lebih tinggi daripada garis berwarna merah. Untuk lebih jelasnya, perbandingan hasil *running* antara *base model* dengan model skenario dapat dilihat pada tabel 5.3.

**Tabel 5.3 Perbandingan Biaya Buruh Angkut pada Skenario**

Minggu ke-	Skenario (Rp)	Base Model (Rp)
28	9600000	10800000
29	12000000	13600000
30	14400000	12400000
31	11600000	12800000
32	14000000	11600000
33	9600000	10800000
34	5600000	13600000
35	13200000	12400000

36	8400000	13200000
37	11600000	12800000
38	7200000	13600000
39	8400000	13200000
40	11200000	10800000
41	10400000	10800000
42	13200000	14000000
43	13200000	13200000
44	10000000	11600000
45	11600000	11200000
46	13200000	12800000
47	7200000	13200000
48	10000000	12800000
49	10800000	13600000
50	12000000	12400000
51	9200000	12000000
52	8400000	13600000
53	11200000	11600000
54	10000000	14000000
55	7600000	10800000
56	9200000	13600000
57	9600000	11600000
58	6800000	10800000
59	12000000	12000000
60	10000000	12400000
TOTAL	342400000	409600000

<b>Pengurangan Biaya</b>	<b>Rp67.200.000,00</b>
------------------------------	------------------------

Tabel 5.3 menampilkan perbandingan antara hasil *base model* dengan model skenario. Jangka waktu yang digunakan untuk melakukan skenario adalah sebanyak total 60 minggu, dengan minggu ke-28 hingga ke-60 yang menjadi jangka waktu yang akan dibandingkan. Terlihat bahwa pada beberapa minggu tertentu, model skenario justru memiliki biaya yang lebih besar dibandingkan dengan *base model*. Namun, secara total biaya yang dikeluarkan pada *base model* memiliki total sebesar Rp409.600.000,00. Sedangkan biaya total yang dikeluarkan pada model skenario adalah sebesar Rp342.400.000,00. Hal tersebut menjadikan biaya untuk membayar buruh angkut berkurang sebesar Rp67.200.000,00 selama jangka waktu 60 minggu.

### **5.1.2. Skenario meminimalkan jumlah pupuk yang rusak saat masa penyimpanan**

Pupuk yang telah selesai diproduksi dan telah melalui proses pengemasan akan disimpan pada Gudang Gresik. Penyimpanan pupuk dilakukan dengan menyusun pupuk-pupuk tersebut pada gudang atau tempat penyimpanan yang telah tersedia. Pupuk tersebut disimpan pada gudang hingga pihak penyedia transportasi datang untuk melakukan pengambilan pupuk. Berdasarkan hasil pengambilan data melalui wawancara yang dilakukan dengan perwakilan dari pihak PT Petrokimia Gresik, pupuk tersebut berada di gudang maksimal tidak lebih dari tiga bulan sebelum akhirnya pihak penyedia transportasi datang untuk mengembalinya. Pada area Gudang Gresik, pupuk urea memiliki area penyimpanan yang terpisah dengan komoditas pupuk yang lainnya.

Pupuk urea itu sendiri merupakan pupuk yang memiliki kandungan zat Nitrogen sebanyak minimal 46%, yang merupakan salah satu pupuk yang populer dikalangan para

petani karena harga jualnya yang relatif rendah [16]. Ketika pupuk sedang mengalami proses penyimpanan, terdapat potensi pada pupuk tersebut untuk mengalami kerusakan. Salah satu kerusakan yang lazim terjadi pada pupuk urea adalah *caking*, atau penggumpalan. *Caking* didefinisikan sebagai kecenderungan pupuk untuk mengalami penggumpalan atau membentuk benjolan selama pupuk tersebut mengalami proses penyimpanan. *Caking* yang terjadi pada pupuk dapat dipengaruhi oleh kadar air, ukuran dan kekerasan partikel, kondisioner, suhu dan tekanan pada tempat penyimpanan, dan komposisi bahan [10]. Untuk menghitung kerugian akibat pupuk yang rusak, digunakan asumsi nilai jual awal pupuk urea sebesar setengah atau 50% dari Harga Eceran Tertinggi (HET) pupuk urea yang telah ditetapkan. Sesuai dengan Peraturan Menteri Pertanian Nomor 47/Permentan/SR.310/11/2018, HET untuk pupuk urea adalah Rp1.800,00 per Kilogramnya, atau Rp1.800.000,00 per Tonnya. Dengan menggunakan asumsi tersebut, didapatkan nilai jual awal sebesar Rp900.000,00 untuk satu ton pupuk urea. Gambar 5.4 merupakan model skenario yang dilakukan untuk dapat mengurangi jumlah pupuk yang mengalami kerusakan.



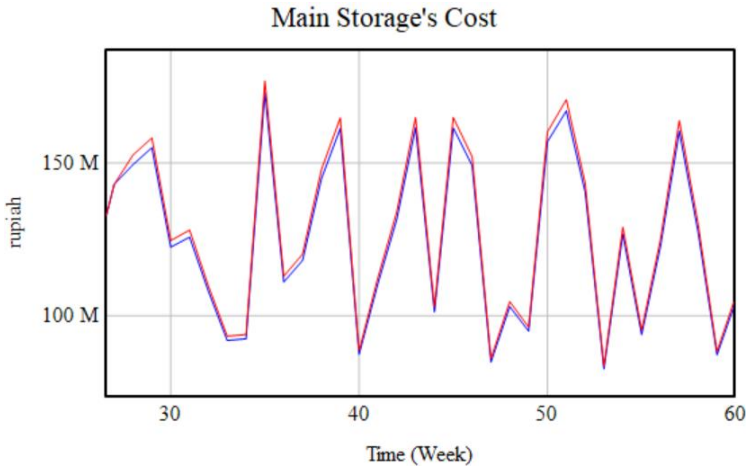
**Gambar 5.4** Variabel *Damaged Items* Setelah Dilakukan Skenario

Pada gambar 5.4, terlihat variabel *minimizing damaged fertilizer* yang terhubung menuju ke *damaged items*. Tabel 5.4 memuat formulasi dari variabel *minimizing damaged fertilizer* tersebut beserta variabel *damaged items* yang digunakan untuk melakukan skenario model.

**Tabel 5.4 Formulasi Skenario Meminimalkan Jumlah Pupuk yang Rusak**

Variabel	Persamaan
Minimizing Damaged Fertilizer	0.97
Damaged Items	RANDOM NORMAL( 35 , 141, 81, 66, 0)*IF THEN ELSE( Time>27 , Minimizing Damaged Fertilizer, 1)

Seperti yang terlihat pada tabel 5.4, variabel *minimizing damaged fertilizer* memiliki nilai desimal 0.97 yang apabila dipersentasekan menjadi 97%. Berdasarkan hasil wawancara yang dilakukan bersama dengan perwakilan dari pihak PT Petrokimia Gresik, pupuk urea pada Gudang Gresik disimpan tidak lebih dari tiga bulan sebelum akhirnya pihak penyedia jasa transportasi datang untuk mengambilnya. Penelitian yang dilakukan oleh Salman pada tahun 1989 menyatakan bahwa pupuk urea yang disimpan selama kurang lebih tiga bulan memiliki potensi kerusakan akibat *caking* sebesar 3%. Untuk mencegah kerusakan tersebut, hal yang dapat dilakukan adalah dengan melapisi urea tersebut menggunakan material LDPE (*low density polyethylene*) atau yang biasa disebut *LDPE-coated urea*. Dengan menggunakan *LDPE-coated urea*, potensi terjadinya *caking* pada pupuk urea selama dilakukan penyimpanan dapat dikurangi hingga tidak menyisakan kerusakan sama sekali atau 0% kerusakan [10]. Berdasarkan penelitian tersebut, maka digunakan nilai sebesar 0.97 pada variabel *minimizing damaged fertilizer*. Gambar 5.5 menampilkan grafik perbandingan pada variabel *main storage's cost* ketika sebelum melakukan skenario dengan ketika menggunakan skenario untuk meminimalkan jumlah pupuk yang rusak.



**Gambar 5.5** Grafik Perbandingan pada Variabel *Main Storage's Cost*

Garis berwarna merah merupakan hasil *running* dari base model, sedangkan garis berwarna biru merupakan hasil *running* menggunakan skenario model. Terlihat bahwa secara keseluruhan, garis berwarna biru memiliki posisi yang lebih rendah dibandingkan dengan garis berwarna merah, walaupun perbedaannya tidak terlalu signifikan. Untuk lebih jelasnya, perbandingan hasil *running* antara *base model* dengan model skenario dapat dilihat pada tabel 5.5.

**Tabel 5.5** Perbandingan pada Variabel *Main Storage's Cost*

<b>Minggu ke-</b>	<b>Skenario (Rp)</b>	<b>Base Model (Rp)</b>
28	149431056	152586112
29	154984112	158155120
30	122447400	124577696
31	125731008	128025160
32	108023728	109733360
33	91956296	93328032
34	92461248	93878456

35	173053456	176773200
36	111030656	112943648
37	118121104	120174560
38	144752688	147733920
39	161243920	164710992
40	87369200	88542240
41	110595256	112509984
42	131532608	133922360
43	161496096	164835504
44	101234760	102847232
45	161423968	164869280
46	149029504	151993104
47	84836792	85980352
48	102996368	104625488
49	94948880	96284952
50	156901696	160157088
51	167015536	170674976
52	140552880	143367152
53	82610248	83611128
54	126657672	128982048
55	93792944	95273384
56	122761248	125000544
57	160394752	163846624
58	127380744	129927784
59	87215784	88324648
60	104754720	106453184
TOTAL	4108738328	4184649312



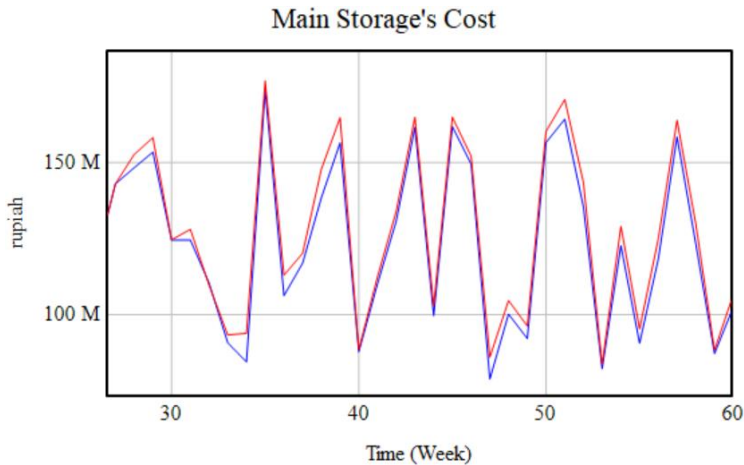
<b>Pengurangan Biaya</b>	<b>Rp75.910.984,00</b>
------------------------------	------------------------

Tabel 5.5 menampilkan perbandingan antara hasil *base model* dengan model skenario. Jangka waktu yang digunakan untuk melakukan skenario adalah sebanyak total 60 minggu, dengan minggu ke-28 hingga ke-60 yang menjadi jangka waktu yang akan dibandingkan. Pada model yang dikembangkan pada penelitian ini, kerusakan pupuk akibat penyimpanan berpengaruh langsung terhadap pengeluaran pada Gudang Gresik yang diwakili oleh variabel *main storage's cost*. Tabel 5.5 memperlihatkan bahwa kerugian akibat kerusakan pupuk berkurang pada setiap minggunya. Total pengeluaran yang terdapat pada variabel *main storage's cost* pada saat *running base model* adalah sebesar Rp4.184.649.312,00, sementara itu total pengeluaran pada saat skenario untuk meminimalkan kerusakan pupuk ini dilakukan adalah sebesar Rp4.108.738.328,00,. Hal tersebut menjadikan kerugian akibat kerusakan pupuk berkurang sebesar Rp75.910.984,00 selama jangka waktu 60 minggu.

### **5.1.3. Skenario penyesuaian jumlah buruh angkut dan meminimalkan pupuk yang rusak**

Skenario ini merupakan penerapan skenario gabungan antara dua skenario yang telah dipaparkan pada bagian sebelumnya, yakni skenario pertama dengan menyesuaikan jumlah buruh angkut dengan kapasitas produksi dan skenario kedua dengan meminimalkan jumlah pupuk yang rusak pada saat masa penyimpanan. Karena skenario ketiga ini merupakan gabungan dari skenario pertama dan kedua, model *stock and flow* beserta formulasinya akan tetap sama seperti yang terdapat pada dua skenario sebelumnya. Karena kedua skenario yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya sama-sama terletak pada sub model *main storage's cost*, maka skenario ketiga ini dapat dilihat pengaruhnya pada variabel *main storage's cost*. Gambar 5.6 menunjukkan grafik perbandingan antara *base model* yang

belum dilakukan skenario dengan model skenario yang telah menggunakan skenario ketiga.



**Gambar 5.6** Grafik Perbandingan pada Variabel *Main Storage's Cost* ketika Skenario Ketiga Dijalankan

Garis berwarna merah merupakan hasil *running* dari base model, sedangkan garis berwarna biru merupakan hasil *running* menggunakan skenario model. Terlihat bahwa secara keseluruhan, garis berwarna biru memiliki posisi yang lebih rendah dibandingkan dengan garis berwarna merah, walaupun secara kasat mata perbedaannya tidak terlalu signifikan. Untuk lebih jelasnya, perbandingan hasil *running* antara *base model* dengan model yang telah menggunakan skenario ketiga dapat dilihat pada tabel 5.6.

**Tabel 5.6** Perbandingan pada Variabel *Main Storage's Cost* Ketika Menggunakan Skenario Ketiga

Minggu ke-	Skenario (Rp)	Base Model (Rp)
28	148231056	152586112
29	153384112	158155120
30	124447400	124577696
31	124531008	128025160

32	110423728	109733360
33	90756296	93328032
34	84461248	93878456
35	173853456	176773200
36	106230656	112943648
37	116921104	120174560
38	138352688	147733920
39	156443920	164710992
40	87769200	88542240
41	110195256	112509984
42	130732608	133922360
43	161496096	164835504
44	99634760	102847232
45	161823968	164869280
46	149429504	151993104
47	78836792	85980352
48	100196368	104625488
49	92148880	96284952
50	156501696	160157088
51	164215536	170674976
52	135352880	143367152
53	82210248	83611128
54	122657672	128982048
55	90592944	95273384
56	118361248	125000544
57	158394752	163846624

58	123380744	129927784
59	87215784	88324648
60	102354720	106453184
TOTAL	4041538328	4184649312
<b>Pengurangan Biaya</b>	<b>Rp143.110.984,00</b>	

Tabel 5.6 menampilkan perbandingan antara hasil *base model* dengan model skenario pada variabel *main storage's cost*. Jangka waktu yang digunakan untuk melakukan skenario adalah sebanyak total 60 minggu, dengan minggu ke-28 hingga ke-60 yang menjadi jangka waktu yang akan dibandingkan. Hasil skenario gabungan ini memperlihatkan bahwa biaya pengeluaran pada setiap minggunya nyaris selalu berkurang. Total pengeluaran yang terdapat pada variabel *main storage's cost* pada saat *running base model* adalah sebesar Rp4.184.649.312,00, sementara itu total pengeluaran pada saat skenario gabungan ini dilakukan adalah sebesar Rp4.041.538.328,00. Hal tersebut menjadikan pengeluaran total pada variabel *main storage's cost* berkurang sebesar Rp143.110.984,00 selama jangka waktu 60 minggu.

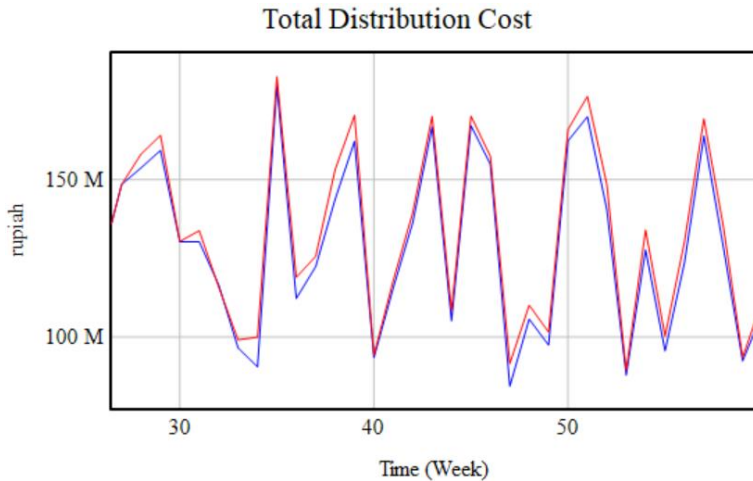
## 5.2. Analisis Hasil

Pada bagian ini akan dilakukan analisis hasil dari masing-masing skenario yang telah dilakukan. Analisis hasil ini dilakukan untuk mengetahui skenario manakah yang memiliki pengaruh paling signifikan terhadap tujuan penelitian.

### 5.2.1. Analisis hasil skenario penyesuaian buruh angkut

Skenario ini dilakukan dengan menggunakan nilai produktivitas yang diharapkan untuk setiap buruh angkut. Nilai produktivitas yang disetujui adalah sebesar 70 ton per orang untuk satu harinya. Nilai produktivitas tersebut digunakan sebagai nilai pembagi dari produksi pupuk urea, sehingga jumlah buruh

angkut yang dikerjakan setiap harinya tidak melebihi dari kapasitas produksi yang ada. Gambar 5.7 menampilkan grafik perbandingan antara biaya buruh ketika menggunakan formulasi pada *base model* dengan ketika menggunakan formulasi model skenario. Grafik yang ditampilkan adalah variabel *total distribution cost*.



**Gambar 5.7 Grafik Perbandingan ketika Menggunakan Skenario Penyesuaian Jumlah Buruh**

Skenario penyesuaian jumlah buruh tersebut dijalankan mulai minggu ke-28 hingga minggu ke-60. Pada gambar 5.7, garis berwarna merah merupakan hasil *running* dari *base model*, sedangkan garis berwarna biru merupakan hasil *running* menggunakan skenario model. Dapat dilihat bahwa secara keseluruhan, garis berwarna biru memiliki posisi yang lebih rendah dibandingkan dengan garis berwarna merah. Data secara lengkapnya dapat dilihat pada tabel 5.7 yang menampilkan perbandingan antara *base model* dengan skenario penyesuaian jumlah buruh tersebut pada variabel *total distribution cost*.

**Tabel 5.7 Tabel Perbandingan ketika Menggunakan Skenario Penyesuaian Jumlah Buruh**

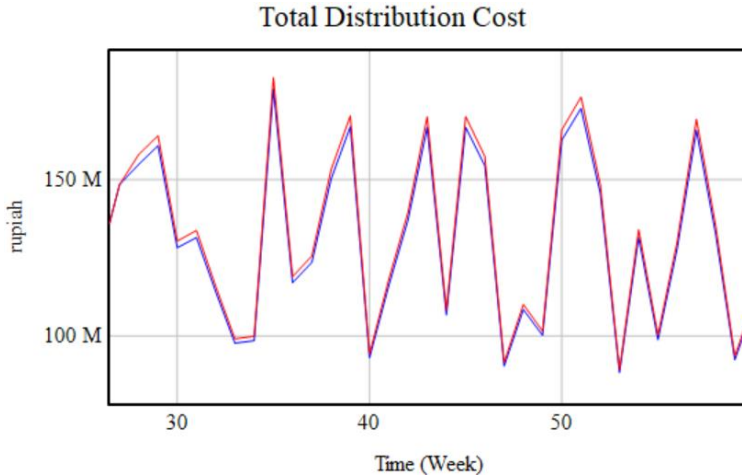
<b>Minggu ke-</b>	<b>Skenario (Rp)</b>	<b>Base Model (Rp)</b>
28	156824272	158024272
29	162405024	164005024
30	132339200	130339200
31	132552208	133752208
32	118273000	115873000
33	97909656	99109656
34	91949048	99949048
35	183407584	182607584
36	114147280	118947280
37	124421160	125621160
38	146679520	153079520
39	165576800	170376800
40	94627744	94227744
41	117573160	117973160
42	138713408	139513408
43	170059216	170059216
44	106727040	108327040
45	170532368	170132368
46	157764608	157364608
47	85536696	91536696
48	107313536	110113536
49	98757888	101557888
50	165469008	165869008
51	173576208	176376208

52	143254000	148454000
53	88882064	89282064
54	129994328	133994328
55	97073656	100273656
56	125713320	130113320
57	167274736	169274736
58	131294696	135294688
59	93526504	93526504
60	108923624	111323632
TOTAL	4299072560	4366272560
<b>Pengurangan Biaya</b>	<b>Rp67.200.000,00</b>	

Dapat dilihat pada tabel 5.7 bahwa secara keseluruhan, skenario menyesuaikan jumlah buruh ini dapat menurunkan biaya total distribusi. Pada variabel *total distribution cost*, total biaya distribusi yang dikeluarkan pada *base model* memiliki total sebesar Rp4.366.272.560,00. Dengan menjalankan model skenario, total biaya distribusi yang dikeluarkan dapat berkurang hingga mencapai Rp4.299.072.560,00. Hal tersebut menjadikan biaya total distribusi pupuk berkurang sebesar Rp67.200.000,00 saat skenario tersebut dijalankan pada minggu ke-28 hingga ke-60.

### 5.2.2. Analisis hasil skenario meminimalkan jumlah pupuk yang rusak

Skenario meminimalkan jumlah pupuk yang rusak ini dilakukan khususnya terhadap pupuk urea yang mengalami kerusakan akibat *caking* atau penggumpalan. Dengan melakukan pelapisan (*coating*) urea menggunakan material LDPE (*low density polyethylene*) atau yang biasa disebut *LDPE-coated urea*, potensi terjadinya *caking* pada pupuk urea selama dilakukan penyimpanan dapat dikurangi hingga tidak menyisakan kerusakan sama sekali atau 0% kerusakan. Gambar 5.8 menampilkan grafik perbandingan pada variabel *total distribution cost* ketika menggunakan formulasi pada *base model* dengan ketika menggunakan formulasi model skenario.



**Gambar 5.8 Grafik Perbandingan Ketika Menggunakan Skenario Meminimalkan Jumlah Pupuk yang Rusak**

Skenario meminimalkan jumlah pupuk yang rusak dengan *LDPE-coated urea* tersebut dijalankan mulai minggu ke-28 hingga minggu ke-60. Pada gambar 5.7, garis berwarna merah merupakan hasil *running* dari base model, sedangkan garis berwarna biru merupakan hasil *running* menggunakan skenario model. Dapat dilihat bahwa secara keseluruhan, garis berwarna biru memiliki posisi yang lebih rendah dibandingkan dengan



garis berwarna merah walaupun secara kasat mata perbedaannya terlihat tidak terlalu signifikan. Data secara lengkapnya dapat dilihat pada tabel 5.8 yang menampilkan perbandingan antara *base model* dengan skenario meminimalkan jumlah pupuk rusak menggunakan *LDPE-coated urea* tersebut pada variabel *total distribution cost*.

**Tabel 5.8 Tabel Perbandingan Ketika Menggunakan Skenario Meminimalkan Jumlah Pupuk yang Rusak**

Minggu ke-	Skenario (Rp)	Base Model (Rp)
28	154869104	158024272
29	160833904	164005024
30	128208816	130339200
31	131457952	133752208
32	114163272	115873000
33	97737840	99109656
34	98531744	99949048
35	178887680	182607584
36	117034176	118947280
37	123567592	125621160
38	150098144	153079520
39	166909552	170376800
40	93054616	94227744
41	116058328	117973160
42	137123520	139513408
43	166719648	170059216
44	106714472	108327040
45	166686912	170132368
46	154400896	157364608

47	90393072	91536696
48	108484336	110113536
49	100221752	101557888
50	162613472	165869008
51	172716640	176376208
52	145639616	148454000
53	88281144	89282064
54	131669872	133994328
55	98793176	100273656
56	127873952	130113320
57	165822768	169274736
58	132747584	135294688
59	92417616	93526504
60	109625120	111320344
<b>TOTAL</b>	<b>4290358288</b>	<b>4366269272</b>
<b>Pengurangan Biaya</b>	<b>Rp75.910.984,00</b>	

Dapat dilihat pada tabel 5.8 bahwa secara keseluruhan, skenario meminimalkan jumlah pupuk yang rusak dengan *LDPE-coated urea* ini dapat menurunkan biaya total distribusi. Pada variabel *total distribution cost*, total biaya distribusi yang dikeluarkan pada *base model* memiliki total sebesar Rp4.366.269.272,00. Dengan menjalankan model skenario, total biaya distribusi yang dikeluarkan dapat berkurang hingga mencapai Rp4.290.358.288,00. Hal tersebut menjadikan biaya total distribusi pupuk berkurang sebesar Rp75.910.984,00 saat skenario tersebut dijalankan pada minggu ke-28 hingga ke-60.

## **BAB VI**

### **PENUTUP**

Bab ini menjelaskan tentang kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan seluruh proses penelitian yang telah dilakukan. Pengambilan kesimpulan tersebut dilakukan untuk memastikan hasil yang diperoleh telah mampu menjawab pertanyaan maupun tujuan penelitian. Selain itu, pada bab ini dituliskan pula saran yang dapat bermanfaat untuk penelitian selanjutnya.

#### **6.1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil dari penelitian ini, terdapat beberapa kesimpulan yang dapat diambil:

1. Sistem distribusi pupuk urea subsidi pada PT Petrokimia Gresik melewati beberapa lini distribusi. Lini distribusi tersebut adalah Gudang Gresik sebagai tempat penyimpanan pupuk yang telah selesai diproduksi, kemudian disalurkan menuju ke Gudang Penyangga yang terdapat di setiap daerah, selanjutnya pupuk tersebut dialokasikan kepada distributor untuk kemudian disalurkan ke kios-kios resmi agar dapat diterima oleh para konsumen, khususnya para petani yang berhak untuk menerima pupuk subsidi.
2. Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi biaya distribusi yang dikeluarkan oleh PT Petrokimia Gresik. Faktor-faktor tersebut adalah Jumlah produksi pupuk, persediaan pupuk yang terdapat pada Gudang Gresik, jumlah pengeluaran pupuk yang dialokasikan untuk dijual, biaya buruh angkut, pengemasan, dan petugas gudang, biaya peralatan pendukung, dan biaya transportasi yang telah disetujui oleh pihak vendor dengan PT Petrokimia Gresik.
3. Untuk meminimalkan biaya distribusi pupuk urea sekaligus memenuhi tujuan dilakukannya penelitian, dilakukan pengembangan model skenario untuk mengurangi biaya distribusi yang dikeluarkan. Skenario tersebut antara lain adalah skenario untuk menyesuaikan

jumlah buruh angkut dengan kapasitas produksi, serta skenario untuk meminimalkan jumlah pupuk urea yang mengalami kerusakan yang disebabkan oleh *caking* atau penggumpalan, dengan menggunakan pelapisan (*coating*) pada urea tersebut atau *LDPE-coated urea*. Terdapat pula skenario ketiga yang merupakan penggabungan dari implementasi skenario menyesuaikan jumlah buruh angkut dan meminimalkan jumlah kerusakan pupuk.

4. Hasil dari kedua skenario tersebut, yakni skenario untuk menyesuaikan jumlah buruh dan meminimalkan jumlah kerusakan pupuk menghasilkan total penurunan biaya distribusi sebesar Rp.143.110.984,00 saat skenario tersebut dijalankan pada periode simulasi, yakni antara minggu ke-28 hingga minggu ke-60.

## 6.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pengerjaan tugas akhir ini, saran yang dapat dihasilkan untuk pengembangan, perbaikan, dan penyempurnaan topik dan permasalahan dalam penelitian berikutnya adalah:

1. Agar model yang dikembangkan dapat merepresentasikan permasalahan serta memberikan solusi dengan lebih baik, diperlukan pengetahuan dan keilmuan yang lebih mendalam mengenai pendekatan model sistem dinamik beserta konsep biaya distribusi pupuk subsidi. Dengan meningkatkan pengetahuan dan pemahaman mengenai permasalahan yang ada, hal tersebut dapat meningkatkan akurasi model dalam menyelesaikan permasalahan.
2. Pengembangan model dapat ditingkat lagi menjadi lebih detail dengan mengetahui rincian dari biaya distribusi untuk setiap lokasi gudang penyangga, sehingga akurasi model yang dikembangkan dapat mencerminkan kondisi nyata dengan lebih baik.
3. Dengan mendapatkan data yang lebih lengkap mengenai biaya distribusi pupuk subsidi yang terdapat pada setiap lini distribusi, akurasi model yang dikembangkan dapat

meningkat sehingga dapat mencerminkan kondisi nyata dengan lebih baik lagi.

4. Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa alternatif yang dapat dilakukan oleh PT Petrokimia Gresik agar dapat meminimalkan biaya distribusi pupuk; Menyesuaikan jumlah buruh angkut dengan kapasitas produksi dan meminimalkan jumlah pupuk urea yang mengalami kerusakan dengan menggunakan pelapisan (*coating*) pada urea atau *LDPE-coated urea*.

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Z. Y. Lasindrang and A. F. H, "Hubungan Distribusi Terhadap Penjualan (Studi pada Distribusi Pupuk NPK Non Subsidi Area Pemasaran Kalimantan di PT Pupuk Kalimantan Timur)," *Jurnal Administrasi Bisnis*, vol. 54, pp. 197-206, 2018.
- [2] Watiha, A. H. Yusra and D. Kurniati, "Analisis Saluran Distribusi dan Efisiensi Pemasaran Pupuk Bersubsidi di Kecamatan Selakau Kabupaten Sambas," *Jurnal Sosial Ekonomi Pertanian*, vol. 1, pp. 37-48, 2012.
- [3] D. Susilowati, "Efektivitas Sistem Distribusi Pupuk di Kabupaten Malang," *Jurnal Ekonomika-Bisnis*, vol. 2, pp. 409-430, 2010.
- [4] J. D. Sterman, *Business Dynamics Systems Thinking and Modeling for a Complex World*, New York: The McGraw-Hill Companies, 2000.
- [5] E. Suryani and H. M. Astuti, "Dynamic Simulation Model to Enhance Market of Liquid Fertilizer," *Proceeding of Industrial Engineering and Service Science*, 2011.
- [6] M. R. Aprillya, E. Suryani and A. Dzulkarnain, "System Dynamics Simulation Model to Increase Paddy Production for Food Security," *Journal of Information Systems Engineering and Business Intelligence*, vol. 5, pp. 67-75, 2019.
- [7] A. H. Shalihah, *Model Sistem Dinamik untuk Meningkatkan Rasio Pemenuhan dan Efisiensi pada Manajemen Rantai Pasok Biodiesel Nasional*, Surabaya, 2017.
- [8] B. Y. Ariadi, D. Rochdiani, M. H. Karmana and E. Rasmikayati, "Using System Dynamics Approach in Modeling the Integrated Farming Scenario to Increase Cassava Production in Indonesia," *International Journal of Computer Applications*, vol. 142, pp. 34-40, 2016.

- [9] L. A. Tavasszy, *Logistics Families – A Short Introduction*, Delft: TNO Inro, 1999.
- [10] O. A. Salman, "Polyethylene-Coated Urea. 1. Improved Storage and Handling," *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 28, pp. 630-632, 1989.
- [11] D. C. Lane, "Diagramming conventions in system dynamics," *Journal of the Operational Research Society*, vol. 51, pp. 241-245, 2000.
- [12] F. Sugiarto and J. L. Buliali, "Implementasi Simulasi Sistem untuk Optimasi Proses Produksi pada Perusahaan Pengalengan Ikan," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 1, pp. 236-241, 2012.
- [13] T. Binder, A. Vox, S. Belyazid, H. Haraldsson and M. Svensson, "Developing System Dynamics Model from Causal Loop Diagram," vol. 1, pp. 1-21, 2004.
- [14] H. V. Haraldsson, "Introduction to system thinking and causal loop diagrams," Lunds Universitet, Lund, 2004.
- [15] Ventana Systems, inc., "Vensim Software," [Online]. Available: <https://vensim.com/vensim-software/>. [Accessed 12 June 2019].
- [16] A. Gardinier, Q. Ketterings, B. Verbeten and M. Hunter, "Urea Fertilizer," Cornell University Cooperative Extension, Ithaca, NY, 2013.
- [17] PT Petrokimia Gresik, "Sejarah Perusahaan - PT Petrokimia Gresik, Pabrik Pupuk Terlengkap dan Terbesar di Indonesia," 2019. [Online]. Available: <http://petrokimia-gresik.com/Pupuk/Sejarah.Perusahaan>. [Accessed 23 October 2019].
- [18] PT Petrokimia Gresik, "Sistem Distribusi | Petrokimia Gresik," 2019. [Online]. Available: <https://petrokimia-gresik.com/page/sistem-distribusi>. [Accessed 25 October 2019].
- [19] S. Zdenko, J. Mesarić and D. Dujak, "Imporance of Distribution Channels - Marketing Channels - for National Economy," pp. 785-809, 2011.



- [20] R. H. Ramadhani, M. Roviq and M. D. Maghfoer, "Pengaruh Sumber Pupuk Nitrogen dan Waktu Pemberian Urea pada Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Jagung Manis (*Zea mays* Sturt. var. *saccharata*)," *Jurnal Produksi Tanaman*, vol. 4, pp. 8-15, 2016.
- [21] K. Siregar, *Simulasi dan Pemodelan (Aplikasi Untuk Keteknikan Pertanian)*, Yogyakarta: Deepublish, 2016.
- [22] Y. Barlas, "Multiple tests for validation of system dynamics type of simulation models," *European Journal of Operational Research*, vol. 42, pp. 59-87, 1989.

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

## LAMPIRAN

### Lampiran A – Mengenai PT Petrokimia Gresik

PT Petrokimia Gresik merupakan pabrik pupuk terlengkap di Indonesia yang menempati areal lebih dari 450 hektar dan terletak di Kabupaten Gresik, Jawa Timur. PT Petrokimia Gresik merupakan anggota dari Pupuk Indonesia Holding. Pada awal berdirinya, PT Petrokimia Gresik disebut sebagai Proyek Petrokimia Surabaya. Kontrak pembangunannya ditandatangani pada tanggal 10 Agustus 1964, dan mulai berlaku pada tanggal 8 Desember 1964. Proyek ini diresmikan oleh Presiden Republik Indonesia, HM. Soeharto pada tanggal 10 Juli 1972, yang kemudian tanggal tersebut ditetapkan sebagai hari jadi PT Petrokimia Gresik. Saat ini, PT Petrokimia Gresik bertransformasi menuju perusahaan Solusi Agroindustri untuk mendukung tercapainya program Ketahanan Pangan Nasional, dan kemajuan dunia pertanian [17].

PT Petrokimia Gresik melakukan pendistribusian pupuk hasil produksinya kepada distributor yang tersebar di seluruh Indonesia. Dalam menjalankan aktivitas distribusinya, PT Petrokimia Gresik memiliki dua macam sistem distribusi. Sistem Distribusi yang pertama adalah sistem distribusi tanpa menggunakan gudang penyangga. Sistem ini digunakan pada daerah Gresik dan sekitarnya, yang cukup mengandalkan Gudang Gresik. Dari Gudang Gresik, pupuk dikirimkan menuju distributor ataupun konsumen tingkat industri. Kemudian dari distributor, pupuk tersebut dikirimkan ke kios resmi dan sales supervisor yang tersebar pada daerah terkait. Kemudian barulah para petani dapat membeli pupuk tersebut melalui kios-kios penjualan tersebut. Sistem distribusi yang kedua adalah menggunakan Gudang Penyangga. Sistem ini digunakan pada daerah yang tidak terjangkau dari Gudang Gresik. Dari Gudang Gresik, pupuk hasil produksi dikirimkan terlebih dahulu ke Gudang Penyangga untuk kemudian didistribusikan menuju distributor ataupun konsumen tingkat industri. Kemudian dari distributor, pupuk tersebut dikirimkan ke kios resmi untuk dibeli oleh para petani [18].

**Lampiran B – Data Hasil Simulasi Base Model**

Minggu ke-	Variabel		
	Production (Ton)	Main Storage's Stocks (Ton)	Main Storage's Cost (Rp)
1	2732,77	8180,00	139442208
2	2673,95	10243,35	97934680
3	2818,43	12162,19	169335600
4	2727,01	14461,34	175737968
5	2847,61	16321,96	98528544
6	2816,07	18410,37	115212000
7	2765,80	20521,54	135993968
8	2075,83	22662,75	155866896
9	2158,58	23681,70	161310448
10	2263,22	24971,33	123184800
11	2371,25	26134,88	145788096
12	2173,41	27544,37	121453904
13	2123,71	28774,94	132086464
14	2362,07	30133,34	126032528
15	2385,56	31592,72	110879304
16	1062,04	33335,16	94584576
17	2270,85	29159,13	157791232
18	1308,98	25285,93	99022808
19	1312,04	21375,96	156925840
20	2114,07	17131,57	124046160
21	1801,68	13002,81	171366240
22	1572,21	9004,56	162599840

23	1269,69	7932,07	138602448
24	1371,97	6933,18	119719480
25	1767,03	5956,08	173538240
26	1109,44	4980,35	87243160
27	1101,88	3896,72	100771152

Minggu ke-	Variabel	
	Mojokerto's Stocks (Ton)	Region Storage's Cost (Rp)
1	459,00	4581231
2	465,00	3997127
3	470,22	4178442
4	473,22	4399709
5	481,98	4203634
6	488,32	4167982
7	498,60	3968509
8	505,77	4175557
9	516,46	4076044
10	539,09	4137212
11	559,71	4316168
12	580,99	4690131
13	570,33	4478989
14	555,61	4481321
15	547,48	3880542
16	565,31	4278825
17	581,76	4067538

18	598,12	3989643
19	593,49	4388164
20	592,71	4399037
21	589,75	4514381
22	565,81	4134548
23	559,19	4364496
24	544,83	3946881
25	533,10	4557082
26	520,67	4347658
27	510,93	4146690

Minggu ke-	Variabel		
	Distributor's Stocks (Ton)	Distributor Storage's Cost (Ton)	Total Distribution Cost (Rp)
1	15,00	1621755	145645200
2	13,54	1434477	103366280
3	13,14	1462205	174976240
4	15,53	1321497	181459168
5	16,28	1170917	103903096
6	25,80	1346541	120726528
7	23,52	1576840	141539328
8	20,46	1263199	161305648
9	22,18	533882	165920368
10	18,18	1078695	128400712
11	15,26	1043783	151148048
12	9,49	1698496	127842528
13	35,22	1842613	138408064

14	57,73	1611103	132124952
15	78,05	607947	115367792
16	76,80	1079297	99942696
17	63,58	992051	162850832
18	51,86	1632741	104645192
19	57,31	2015230	163329248
20	48,92	1698436	130143640
21	47,07	2583199	178463824
22	56,74	1926208	168660592
23	48,64	1706170	144673104
24	56,85	1693118	125359480
25	59,99	2034120	180129440
26	57,37	2034963	93625784
27	50,46	2074410	106992248

**Lampiran C – Data Hasil Simulasi Skenario Pada Variabel  
*Total Distribution Cost***

Minggu ke-	Skenario		
	Penyesuaian Buruh Angkut (Rp)	Meminimalkan Kerusakan Pupuk (Rp)	Gabungan (Rp)
28	100411784	102154264	98954264
29	178295216	173838768	174638768
30	111364568	107883424	109883424
31	160529360	156334080	157534080
32	139106112	136652480	136652480
33	148503200	150358496	145558496

34	137940480	137758720	135358720
35	139513072	139373840	136973840
36	85002128	88043856	84043856
37	110905296	110810592	109210592
38	159105968	160557168	155757168
39	129945448	134647872	127447872
40	132992632	130389160	130789160
41	100878512	102210280	99410280
42	164594752	163748512	161348512
43	109532984	109796880	107796880
44	109055048	111309656	107309656
45	140437344	140171232	137771232
46	115461416	112171448	113771448
47	91115904	91273560	90073560
48	142611840	145767744	139767744
49	119796448	120847216	117647216
50	150818992	149915760	147915760
51	131312872	132928120	128928120
52	104742240	101411512	103411512
53	100059864	97932656	98732656
54	152042992	151785152	148985152
55	115133496	118208448	113008448
56	119526760	119458280	117458280
57	127974960	126164768	125764768
58	112546248	111633152	110833152
59	90322200	97289240	88889240
60	122960072	123533720	120733720



## BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Syauqi Saswatata Nawal Abadi, dengan nama panggilan Oki. Penulis dilahirkan di Surabaya pada tanggal 21 Juli 1998. Penulis menempuh jenjang pendidikan formal di SD, SMP, dan SMA Al Hikmah Surabaya. Kemudian, penulis melanjutkan jenjang pendidikan pada Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya

Departemen Sistem Informasi Fakultas Teknologi Informasi pada tahun 2016 yang terdaftar sebagai mahasiswa dengan NRP 05211640000048. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif mengikuti organisasi kemahasiswaan dan aktivitas lainnya. Penulis pernah menjadi bagian dari Staff Student Welfare Himpunan Mahasiswa Sistem Informasi (HMSI) pada tahun 2017/2018, Kepala Divisi Student Welfare 2018/2019, Staff Ahli Divisi Akomodasi dan Perijinan Information System Expo (ISE!) 2018, Staff Ahli Departemen Mentoring Kajian Islam Sistem Informasi (KISI) 2018/2019, dan beberapa kegiatan lainnya.

Pada tahun terakhir perkuliahan, penulis melakukan magang di PT. Petrokimia Gresik untuk belajar dan memahami kehidupan pada dunia kerja. Penulis dapat dihubungi melalui email [okisyauqi94@gmail.com](mailto:okisyauqi94@gmail.com).