



TUGAS AKHIR – TI 184833

**MODEL SIMULASI PENENTUAN SUMBER DAYA YANG  
DIBUTUHKAN PADA PENGAPALAN *FLY ASH*  
DI PT PUPUK KALTIM**

MUHAMMAD FAHLUL ALHABSY  
NRP. 02411640000183

DOSEN PEMBIMBING:  
Dody Hartanto, S.T., M.T.  
NIP 197912292008121003

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





TUGAS AKHIR – TI 184833

**MODEL SIMULASI PENENTUAN SUMBER DAYA YANG  
DIBUTUHKAN PADA PENGAPALAN *FLY ASH*  
DI PT PUPUK KALTIM**

MUHAMMAD FAHLUL ALHABSY  
NRP. 02411640000183

DOSEN PEMBIMBING:  
Dody Hartanto, S.T., M.T.  
NIP 197912292008121003

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM DAN INDUSTRI**  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2020





FINAL PROJECT – TI 184833

**SIMULATION MODEL FOR DETERMINING THE RESOURCES  
NEEDED ON FLY ASH SHIPMENT IN  
PT PUPUK KALTIM**

MUHAMMAD FAHLUL ALHABSY  
NRP. 02411640000183

SUPERVISOR:  
Dody Hartanto, S.T., M.T.  
NIP 197912292008121003

**DEPARTMENT OF INDUSTRIAL AND SYSTEM ENGINEERING**  
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2020





**LEMBAR PENGESAHAN**

**MODEL SIMULASI PENENTUAN SUMBER DAYA YANG  
DIBUTUHKAN PADA PENGAPALAN *FLY ASH*  
DI PT PUPUK KALTIM**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem dan Industri

Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

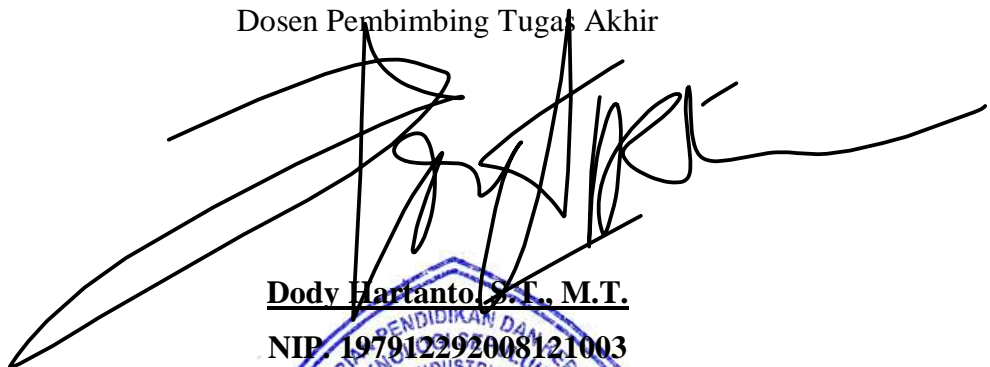
Oleh:

**MUHAMMAD FAHLUL ALHABSY**

NRP 02411640000183

Disetujui oleh:

Dosen Pembimbing Tugas Akhir



**Dody Hartanto, S.T., M.T.**

**NIP. 197912292008121003**







# MODEL SIMULASI PENENTUAN SUMBER DAYA YANG DIBUTUHKAN PADA PENGAPALAN *FLY ASH* DI PT PUPUK KALTIM

Nama : Muhammad Fahlul Alhabsy  
NRP : 02411640000183  
Pembimbing : Dody Hartanto, S.T., M.T.

## ABSTRAK

PT Pupuk Kaltim merupakan salah satu produsen pupuk yang memenuhi permintaan domestik maupun luar negeri. Dalam memenuhi permintaan tersebut, PT Pupuk Kaltim memproduksi listrik dengan menggunakan proses pembakaran pada *boiler* batu bara. Proses tersebut meninggalkan residu berupa *fly ash*. *Fly ash* dikategorikan sebagai limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3), sehingga perlu dikelola secara khusus. Pengelolaan *fly ash* di PT Pupuk Kaltim dilakukan dengan mendistribusikan limbah tersebut ke beberapa perusahaan semen melalui jalur laut, dengan menggunakan kapal tongkang. Sebelum proses tersebut, terdapat proses pengapalan yang dilakukan. Proses pengapalan tersebut meliputi, proses *loading fly ash* di *boiler*, proses pengiriman ke Tempat Penampungan Sementara (TPS) dan kapal dengan menggunakan *dump truck*, proses *loading* di TPS menggunakan ekskavator, hingga proses perataan *fly ash* di kapal menggunakan *wheel loader* dan ekskavator. Realita pada proses pengapalan tersebut membutuhkan waktu hingga 7 hari, sehingga kapal yang disewa dari pihak ketiga memerlukan waktu yang lebih lama di pelabuhan. Oleh sebab itu, keberadaan *resource* lainnya perlu dioptimalkan agar kapal yang merupakan *resource* dengan biaya paling besar dapat menemukan waktu sewa yang efisien. Pada penelitian ini metode *Discrete Event Simulation* (DES) digunakan untuk mengetahui kebutuhan *resource* yang diperlukan pada setiap tahap proses pengapalan. Selain itu, DES juga digunakan untuk menjawab kompleksitas dalam permasalahan sistem pengapalan yang berupa *uncertainty* dan interdependensi. Berdasarkan hasil simulasi, didapatkan jumlah *dump truck* 4 dan penambahan *crane* LHM 180 dengan rata-rata durasi pengapalan selama 1,33 hari serta penghematan biaya sebesar Rp2.342.519.097,00. Dengan melakukan analisis sensitivitas, didapatkan kapasitas optimal TPS sebesar 28.057 ton yang dapat mengantisipasi turunnya *rate* pengiriman *fly ash* hingga 25% dari kondisi normal. Sedangkan *what-if analysis* menunjukkan penerapan jenis kapal 180 *feet* dapat memberikan penghematan biaya sebesar Rp52.179.653,00 dari jenis kapal semula (270 *feet*), tetapi perlu memperhatikan beberapa aspek dalam penerapan ini.

**Kata kunci :** *Discrete event simulation, fly ash, pengapalan*

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

# **SIMULATION MODEL FOR DETERMINING THE RESOURCES NEEDED ON FLY ASH SHIPMENT IN PT PUPUK KALTIM**

Name : Muhammad Fahlul Alhabsy  
NRP : 02411640000183  
Supervisor : Dody Hartanto, S.T., M.T.

## **ABSTRACT**

PT Pupuk Kaltim was one of the fertilize producer that fulfill demand of domestic nor international market. In the order to fulfill that demand, PT Pupuk Kaltim producing the electricity with coal burn process in coal boiler. This process releases residue that called as fly ash. Fly ash was categorized as "*Bahan Berbahaya dan Beracun*" (B3) waste by the government. Hence of that, fly ash must be managed with carefully. Fly ash that managed by PT Pupuk Kaltim, was conducted by distributing that waste to several cement company. The distribution process was carried out by sea, with using a barge. Before that process was done, there was a shipment process beforehand. That shipment process covers, fly ash loading process in boiler, transportation to "*Tempat Penampungan Sementara*" (TPS) and barge with using a couple of dump truck, fly ash loading process in TPS with using wheel loader and excavator. In fact, that shipment process takes up to 7 days. As a result of that, the barge that leased from the third parties need addition time at the port. Therefore, the availability of another resource should be optimized so the barge as we know as one of the costly resources, could be found the efficient rent time. In this research, Discrete Event Simulation (DES) was selected as the method that will be used to known the amount of resources needed on each stage of shipment process. On the other hand, DES also used to respond the complexity of the shipment process system, in form of uncertainty and interdependence. Based on the simulation output, 4 dump trucks and addition crane LHM 180 was selected as the best scenario, with average shipment duration 1,33 days and cost savings reach Rp2.342.519.097,00. In addition, the sensitivity analysis shows the amount of TPS that should be prepared was 28.057 tons. This capacity can anticipate the possibility of the descent of shipment rate up to 25% from normal condition. Meanwhile, what-if analysis shows by using 180 feet barges can save Rp52.179.653 when it compared to existing barges (270 feet), however there is several aspects that must be consider.

**Keywords:** Discrete event simulation, fly ash, shipment

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT karena atas berkat, rahmat, dan ridho-Nya, penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir ini. Dalam pembuatan laporan penelitian tugas akhir ini, penulis banyak mendapatkan saran, motivasi, bimbingan, serta wawasan dari berbagai pihak yang sangat berharga. Oleh karena itu, rasa terima kasih sebesar-besarnya penulis sampaikan khusus kepada

1. Bapak Triyono, Ibu Alm. Wahyuning Puji Sejati dan Endang Purwati, dr. Muhammad Cholis Hidayat, S.Ked., dan Muhammad Febrianto Ramadhan, S.T. selaku keluarga yang selalu memberikan dukungan, doa, dan nasihat kepada penulis dalam menyelesaikan studi hingga sarjana dan menggapai cita-cita.
2. Bapak Dody Hartanto, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan arahan dalam penyusunan penelitian tugas akhir ini. Terima kasih penulis ucapkan karena sudah memberikan ilmu dan waktu serta selalu sabar dalam membimbing penulis hingga menghasilkan laporan penelitian tugas akhir ini.
3. Bapak Rusnawi dan Edy, selaku Assistant Superintendent *Boiler* Batu Bara di PT Pupuk Kaltim karena sudah membantu penulis dalam menyediakan data untuk penelitian ini. Terima kasih atas kesempatan dan waktu yang diberikan.
4. Mas Gaffar, selaku karyawan *Boiler* Batu Bara di PT Pupuk Kaltim yang turut serta membantu menyediakan data dalam penelitian ini.
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Suparno, MSIE, Prof. Ir. Nyoman Pujawan, Ph.D, CSCP, CSCA, dan Ibu Ratna Sari Dewi, S.T., M.T., Ph.D., sebagai penguji penulis dalam seminar proposal yang telah memberikan masukan yang sangat berharga bagi penulis dan penelitian ini.
6. Bapak Adithya Sudiarno, S.T., M.T., selaku Kepala Program Studi Sarjana yang selalu membantu dan memberikan arahan kepada penulis mengenai prosedur dalam pengerjaan penelitian tugas akhir.
7. Bapak Nurhadi Siswanto, S.T., MSIE., Ph.D. selaku Kepala Departemen yang selama ini telah memberikan inspirasi bagi penulis.

8. Bapak ibu, dosen, dan karyawan Departemen Teknik Sistem dan Industri yang turut membantu mulai dari memberikan ilmu hingga urusan administrasi dalam pengerjaan penelitian tugas akhir ini.
9. Saudara serta keluarga ADHIGANA TI-32 yang selalu mendampingi penulis dan saling berbagi ilmu hingga dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir ini.
10. Saudara-saudara seperjuangan Himpunan Mahasiswa Bontang (HMB) Cabang Surabaya serta kerabat IRMADA yang selalu menemani dan memberikan dukungan moral hingga terselesaikannya penelitian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam laporan ini terdapat kekurangan. Semoga penelitian ini dapat diimplementasikan atau dijadikan sebagai referensi untuk penelitian lainnya. Besar harapan penulis penelitian ini dapat menjadi langkah awal dan juga jembatan untuk memberikan manfaat bagi almamater, bangsa, dan negara.

Surabaya, 2 Agustus 2020

Muhammad Fahlul Alhabsy

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK .....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	5
1.3. Tujuan.....	5
1.4. Manfaat.....	5
1.5. Ruang Lingkup Penelitian .....	6
1.6. Sistematika Penulisan Laporan .....	6
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>9</b>
2.1 <i>Fly Ash</i> (Abu Terbang).....	9
2.2 Distribusi dan Transportasi .....	10
2.3 Transportasi Menggunakan Kapal.....	11
2.4 Simulasi Diskrit.....	14
2.5 Penelitian Pendahulu .....	14
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>17</b>
3.1 Identifikasi Sistem .....	18
3.2 Pengumpulan Data .....	20
3.3 Pengolahan Data.....	20
3.4 Pembuatan Model Konseptual.....	21
3.5 Validasi Model Konseptual .....	21
3.6 Pengembangan Skenario .....	21
3.7 Pembuatan Model Simulasi .....	22
3.8 Verifikasi dan Validasi Model Simulasi .....	22
3.9 Running Experiment.....	23
3.10 Analisis Hasil Simulasi .....	23
3.11 Kesimpulan dan Saran.....	24



<b>BAB IV</b>	<b>PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA.....</b>	<b>25</b>
4.1	Pengumpulan Data .....	25
4.1.1	Data Jadwal Pengapalan .....	25
4.1.2	Jumlah Produksi Fly Ash .....	26
4.1.3	Jumlah Fly Ash yang Dipindahkan dari Boiler ke TPS .....	27
4.1.4	Waktu Pemindahan Fly Ash dari Boiler ke TPS .....	27
4.1.5	Waktu Siklus Pengapalan Fly Ash .....	29
4.1.6	Jarak antara Lokasi .....	30
4.2	Pengolahan Data .....	30
4.2.1	Rekapitulasi Data .....	31
4.2.2	Fitting Distribution .....	34
4.3	Pembuatan Model Konseptual .....	35
4.4	Pembuatan Model Simulasi .....	37
4.5	Verifikasi Model Simulasi .....	40
4.6	Perhitungan Jumlah Replikasi .....	42
4.7	Validasi Model Simulasi.....	44
<b>BAB V</b>	<b>PENGEMBANGAN SKENARIO DAN HASIL SIMULASI.....</b>	<b>47</b>
5.1	Pengembangan Skenario Perbaikan.....	47
5.2	Running Experiment .....	48
5.2.1	Skenario 1 .....	49
5.2.2	Skenario 2 .....	50
5.2.3	Skenario 3 .....	51
5.2.4	Skenario 4.....	52
5.2.5	Skenario 5.....	53
5.2.6	Skenario 6.....	54
5.2.7	Skenario 7.....	56
5.2.8	Skenario 8.....	57
5.2.9	Skenario 9.....	58
5.2.10	Skenario 10 .....	59
5.2.11	Skenario 11 .....	60
5.3	Hasil <i>Running</i> Skenario .....	62
<b>BAB VI</b>	<b>ANALISIS DAN INTERPRETASI .....</b>	<b>65</b>
6.1	Analisis Kondisi Semula Pengapalan .....	65
6.2	Analisis Hasil <i>Running</i> Simulasi .....	66

6.3	Skenario Terpilih .....	67
6.4	Analisis Sensitivitas .....	71
6.4.1	Rate Pengiriman Diturunkan 10% dari Data Historis.....	71
6.4.2	Rate Pengiriman Diturunkan 20% dari Data Historis.....	73
6.4.3	Rate Pengiriman Diturunkan 25% dari Data Historis.....	74
6.4.4	Pengaruh Penurunan Rate Pengiriman Terhadap Skenario Terpilih .....	75
6.4.5	Penentuan Besar TPS Berdasarkan Hasil Analisis Sensitivitas.....	76
6.5	What-if Analysis.....	77
<b>BAB VII</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>81</b>
7.1	Kesimpulan.....	81
7.2	Saran.....	82
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>83</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>87</b>
<b>BIOGRAFI PENULIS .....</b>		<b>91</b>

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Alur Pengapalan <i>Fly Ash</i> .....	2
Gambar 1.2 Detail Informasi Alur Pengapalan <i>Fly Ash</i> .....	3
Gambar 1.3 Ilustrasi Penambahan <i>Resource</i> Berupa <i>Crane</i> .....	4
Gambar 2.1 Alur Produksi <i>Fly Ash</i> Berbasis Batu Bara .....	9
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Metodologi Penelitian .....	17
Gambar 4.1 <i>Flowchart</i> Model Konseptual Pengapalan <i>Fly Ash</i> .....	36
Gambar 4.2 Blok Simulasi Pada <i>Boiler</i> Batu Bara .....	37
Gambar 4.3 Blok Simulasi pada Tempat Penampungan Sementara (TPS) .....	38
Gambar 4.4 Blok Simulasi pada Pelabuhan .....	39
Gambar 4.5 Hasil <i>Check Model</i> Simulasi Pengapalan <i>Fly Ash</i> .....	40
Gambar 4.6 Animasi Silo yang Terisi <i>Fly Ash</i> .....	41
Gambar 4.7 Animasi TPS yang Terisi Muatan <i>Fly Ash</i> .....	41
Gambar 4.8 Animasi Proses Pengapalan .....	42
Gambar 4.9 Model Simulasi Penambahan <i>Resource</i> Berupa <i>Crane</i> .....	48
Gambar 5.1 Grafik Perbandingan Waktu Dalam Pengapalan.....	63
Gambar 6.1 Grafik Perbandingan Total Biaya.....	69
Gambar 6.2 Muatan <i>Fly Ash</i> Dengan <i>Rate</i> Pengiriman Turun 10%.....	72
Gambar 6.3 Muatan <i>Fly Ash</i> Dengan <i>Rate</i> Pengiriman Turun 20%.....	73
Gambar 6.4 Muatan <i>Fly Ash</i> Dengan <i>Rate</i> Pengiriman Turun 25%.....	75
Gambar 6.5 Grafik Perubahan Nilai Maksimum TPS .....	76
Gambar 6.6 Ilustrasi Volume Trapesium .....	77

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Ringkasan Penelitian Pendahulu.....	15
Tabel 3.1 Elemen Sistem Pengapalan <i>Fly Ash</i> .....	19
Tabel 3.2 Variabel Sistem Pengapalan <i>Fly Ash</i> .....	19
Tabel 3.3 Kebutuhan Data Penelitian.....	20
Tabel 3.4 Pilihan Skenario Perbaikan.....	22
Tabel 4.1 Jadwal Pengapalan <i>Fly Ash</i> .....	25
Tabel 4.2 Jumlah <i>Fly Ash</i> yang Dihasilkan Oleh <i>Boiler</i> .....	26
Tabel 4.3 Jumlah <i>Fly Ash</i> yang Dipindahkan dari <i>Boiler</i> ke TPS.....	27
Tabel 4.4 Waktu Pemindahan <i>Fly Ash</i> Dari <i>Boiler</i> ke TPS.....	28
Tabel 4.5 Waktu Siklus Pengapalan.....	29
Tabel 4.6 Jarak antara Lokasi Dalam Satuan Meter.....	30
Tabel 4.7 Rekapitulasi Jadwal Pengapalan <i>Fly Ash</i> .....	31
Tabel 4.8 Rekapitulasi Waktu Proses Pengapalan <i>Fly Ash</i> .....	32
Tabel 4.9 Rekapitulasi Waktu Proses Pemindahan <i>Fly Ash</i> dari <i>Boiler</i> ke TPS...	33
Tabel 4.10 Hasil <i>Fitting Distribution</i> .....	34
Tabel 4.11 Hasil <i>Running</i> Simulasi Pertama.....	43
Tabel 4.12 Perbandingan Rata-rata Waktu Pengapalan.....	44
Tabel 4.13 Hasil <i>Student's t test</i> dengan Menggunakan Excel.....	46
Tabel 5.1 Skenario Perbaikan.....	47
Tabel 5.2 Hasil <i>Running</i> Simulasi Skenario 1.....	49
Tabel 5.3 Informasi Detail <i>Output</i> Skenario 1.....	49
Tabel 5.4 Hasil <i>Running</i> Simulasi Skenario 2.....	50
Tabel 5.5 Informasi Detail <i>Output</i> Skenario 2.....	50
Tabel 5.6 Hasil <i>Running</i> Simulasi Skenario 3.....	51
Tabel 5.7 Informasi Detail <i>Output</i> Skenario 3.....	52
Tabel 5.8 Hasil <i>Running</i> Simulasi Skenario 4.....	52
Tabel 5.9 Informasi Detail <i>Output</i> Skenario 4.....	53
Tabel 5.10 Hasil <i>Running</i> Simulasi Skenario 5.....	53
Tabel 5.11 Informasi Detail <i>Output</i> Skenario 5.....	54
Tabel 5.12 Hasil <i>Running</i> Simulasi Skenario 6.....	54
Tabel 5.13 Informasi Detail <i>Output</i> Skenario 6.....	55
Tabel 5.14 Hasil <i>Running</i> Simulasi Skenario 7.....	56
Tabel 5.15 Informasi Detail <i>Output</i> Skenario 7.....	56
Tabel 5.16 Hasil <i>Running</i> Simulasi Skenario 8.....	57
Tabel 5.17 Informasi Detail <i>Output</i> Skenario 8.....	57
Tabel 5.18 Hasil <i>Running</i> Simulasi Skenario 9.....	58
Tabel 5.19 Informasi Detail <i>Output</i> Skenario 9.....	58
Tabel 5.20 Hasil <i>Running</i> Simulasi Skenario 10.....	59
Tabel 5.21 Informasi Detail <i>Output</i> Skenario 10.....	60
Tabel 5.22 Hasil <i>Running</i> Simulasi Skenario 11.....	60
Tabel 5.23 Informasi Detail <i>Output</i> Skenario 11.....	61
Tabel 5.24 Rekapitulasi <i>Running</i> Simulasi.....	62

Tabel 6.1 Komponen Biaya Dalam Skenario .....	67
Tabel 6.2 Rekapitulasi Biaya Setiap Skenario.....	68
Tabel 6.3 Total Biaya Setiap Skenario Dalam Kurun Waktu 5 Tahun .....	69
Tabel 6.4 Hasil Simulasi Dengan <i>Rate</i> Pengiriman Turun 10% .....	72
Tabel 6.5 Hasil Simulasi Dengan <i>Rate</i> Pengiriman Turun 20% .....	73
Tabel 6.6 Hasil Simulasi Dengan <i>Rate</i> Pengiriman Turun 25% .....	74
Tabel 6.7 Jenis dan Spesifikasi Kapal Tongkang .....	78
Tabel 6.8 <i>Output</i> Jenis Kapal 180 <i>feet</i> .....	78
Tabel 6.9 <i>Output</i> Jenis Kapal 230 <i>feet</i> .....	78
Tabel 6.10 <i>Output</i> Jenis Kapal 300 <i>feet</i> .....	79
Tabel 6.11 Rekapitulasi Hasil <i>What-if Analysis</i> .....	79
Tabel 6.12 Perhitungan Total Biaya Sewa Kapal.....	80

# BAB I

## PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan dan manfaat, ruang lingkup penelitian, dan sistem penulisan laporan dalam pengerjaan laporan ini.

### 1.1. Latar Belakang

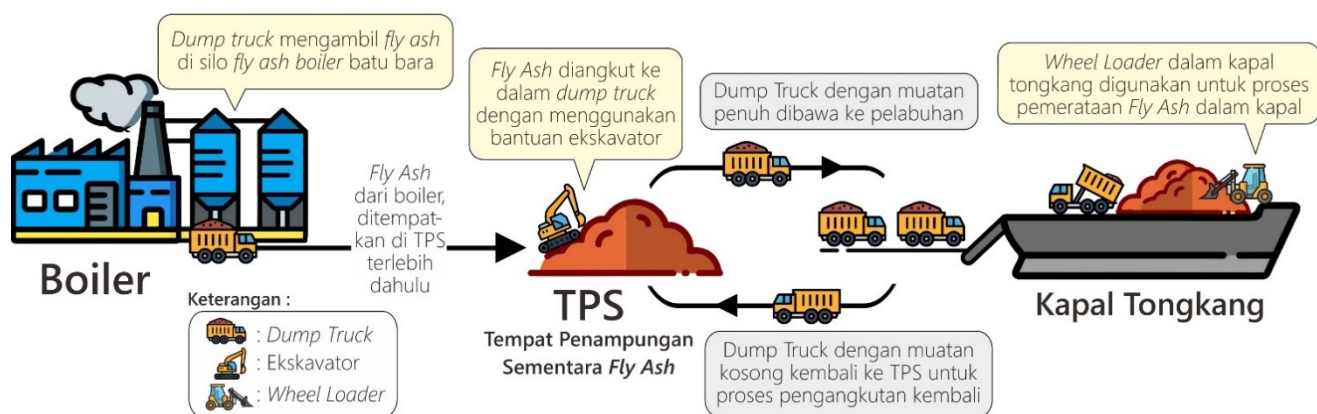
PT Pupuk Kalimantan Timur (Pupuk Kaltim) merupakan perusahaan yang memiliki bisnis utama dalam memproduksi dan menjual Amoniak, Urea, dan Pupuk NPK untuk pasokan domestik maupun luar negeri. Tercatat, pada tahun 2018 PT Pupuk Kaltim memiliki kapasitas produksi Urea sebesar 3,43 juta ton per tahun, Amoniak sebanyak 2,74 juta ton per tahun, dan Pupuk NPK sebanyak 350 ribu ton per tahun. Untuk memenuhi *demand* tersebut, PT Pupuk Kaltim berasosiasi dengan PT Kaltim Daya Mandiri sebagai pemasok tenaga listrik dan *steam*. Pada tahun 2018, PT Pupuk Kaltim menggunakan energi berbasis batu bara hingga sebesar 10.405.089 giga joule. Energi tersebut dihasilkan dari *Boiler* Batu Bara perusahaan. Dalam rangka menghasilkan listrik, batu bara dibakar di *boiler* untuk menghasilkan uap yang dapat menggerakkan generator. Namun, proses pembakaran ini meninggalkan residu berupa butiran debu yang biasa disebut dengan *Fly Ash* dan *Bottom Ash* (FABA).

Berdasarkan pada Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 101 Tahun 2014 mengenai Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3), FABA dikategorikan sebagai Limbah B3. Oleh karena itu, perlu adanya penanganan limbah secara khusus. FABA dikategorikan sebagai Limbah B3 dikarenakan memiliki potensi pencemaran air dan tanah, karena limbah tersebut memiliki kandungan logam berat yang sangat tinggi (Kurda, et al., 2018). Berdasarkan pada data tahun 2018 dan 2019, PT Pupuk Kaltim telah menghasilkan *fly ash* sebanyak secara berurutan 37.741 dan 30.110 ton dalam rentang kurun waktu dua tahun. Walaupun tergolong sebagai Limbah B3, *fly ash* dapat dimanfaatkan menjadi sesuatu yang bermanfaat. *Fly ash* dapat digunakan sebagai bahan campuran beton, semen, batu bata, ubin, dan lain-lain. Dari seluruh sektor tersebut, pemanfaatan *fly ash* untuk dijadikan sebagai campuran semen merupakan sektor paling dominan,



dengan persentase 41,33% (Loya & Rawani, 2014). Oleh karena itu, saat ini PT Pupuk Kaltim mengirimkan *fly ash* ke beberapa perusahaan semen ternama seperti PT Semen Tonasa dan PT Semen Bosowa Maros.

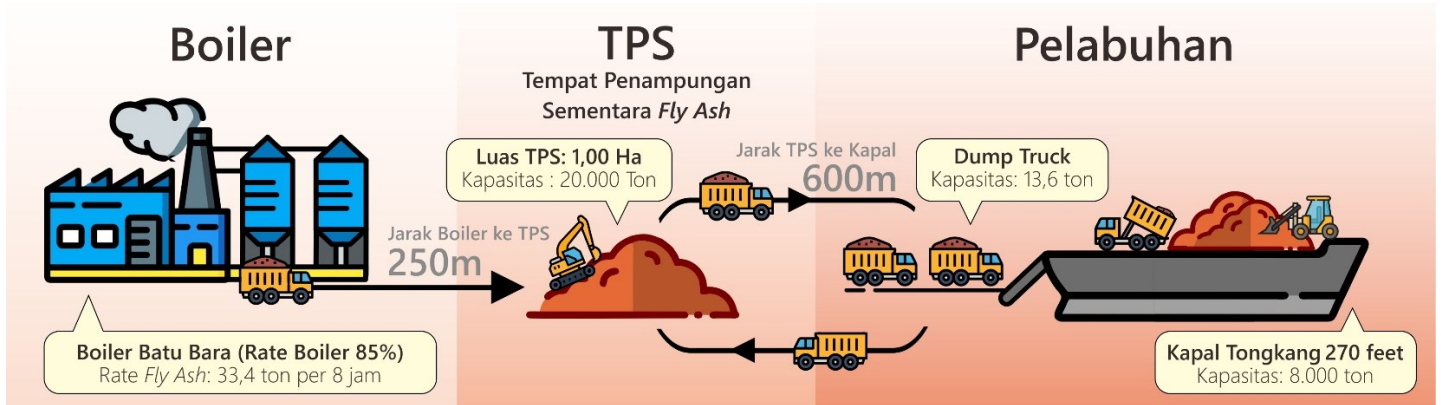
Pada proses pendistribusian *fly ash* ke beberapa perusahaan semen, PT Pupuk Kaltim menggunakan jalur laut dengan memakai kapal tongkang. Pada proses distribusi dengan menggunakan jalur laut, *fly ash* akan dikirim ke luar pulau Kalimantan, lebih tepatnya didistribusikan ke pulau Sulawesi (Semen Tonasa dan Bosowa). Sebelum dikirim, terdapat proses pengapalan *fly ash* yang meliputi proses *loading fly ash* di *boiler* batu bara untuk dibawa ke Tempat Penampungan Sementara (TPS), hingga proses pemuatan *fly ash* ke dalam kapal tongkang. Pada kegiatan pengapalan *fly ash* terdapat beberapa *resource* yang dibutuhkan untuk menunjang proses distribusi, di antaranya ialah kapal tongkang, *dump truck* yang mengantar *fly ash* dari *boiler* hingga ke kapal, ekskavator sebagai alat bantu proses *loading*, dan *wheel loader* yang berfungsi meratakan *fly ash* dalam kapal tongkang.



**Gambar 1.1 Alur Pengapalan *Fly Ash***

Pada Gambar 1.1 menunjukkan kegiatan distribusi *fly ash* dilakukan melalui beberapa tahap, yaitu diawali dengan mengambil *fly ash* yang ada pada *boiler* batu bara untuk dipindahkan ke TPS. TPS berfungsi untuk tempat sementara *fly ash* selagi menunggu periode kapal tongkang untuk datang ke pelabuhan. Proses pemindahan dari *boiler* ke TPS dilakukan dengan *dump truck*. Setelah *fly ash* berada di TPS, selanjutnya dilakukan proses pemindahan *fly ash* ke *dump truck* untuk dibawa ke pelabuhan dengan menggunakan bantuan dua unit ekskavator. Setelah muatan *dump truck* telah penuh, *dump truck* akan membawa muatan ke pelabuhan, untuk selanjutnya dilakukan proses *unloading fly ash* ke dalam kapal

tongkang. Proses ini dilakukan dengan memasukkan *dump truck* ke dalam badan kapal seperti ilustrasi yang ada pada Gambar 1.2. Pada tahap selanjutnya, masing-masing dua unit ekskavator dan *wheel loader* diperlukan untuk proses perataan *fly ash* di kapal tongkang.

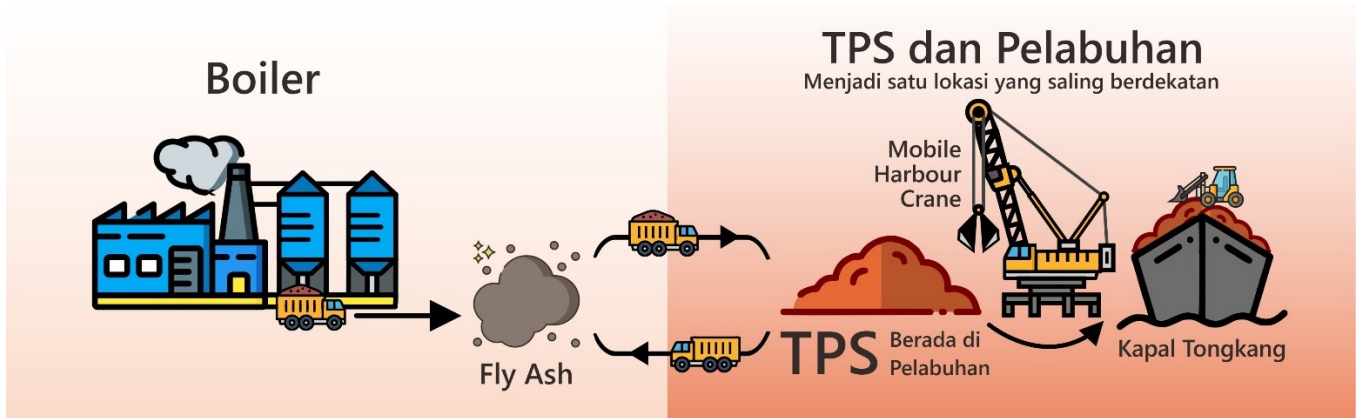


**Gambar 1.2 Detail Informasi Alur Pengapalan *Fly Ash***

Namun, proses pengapalan *fly ash* tersebut kurang berjalan secara efisien. Karena pada kenyataannya proses pengapalan *fly ash* di PT Pupuk Kaltim dapat memakan waktu hingga 7 hari. Dengan durasi pengapalan selama itu, secara tidak langsung akan menyebabkan waktu tunggu kapal yang lebih lama, sehingga membutuhkan biaya yang cukup besar untuk biaya penyewaan kapal saja. Proses pengapalan yang kurang efisien tersebut, disebabkan oleh beberapa faktor. Salah satunya ialah tidak seimbang *resource* yang tersedia pada proses pengapalan. Dalam hal ini, *resource* yang dimaksud ialah berupa *dump truck*. Ketidakseimbangan tersebut dapat terjadi saat kapal yang sudah berlabuh harus menunggu *dump truck* untuk menyelesaikan proses *loading fly ash* dari TPS. Hal tersebut terjadi ketika *resource dump truck* yang berjumlah 4 unit, harus secara bergantian untuk mengapalkan *fly ash* ke dalam kapal tongkang. Selain itu, proses *unloading fly ash* di kapal tongkang masih dilakukan secara konvensional, di mana *dump truck* masuk ke dalam kapal dengan cara memundurkan kendaraan agar *fly ash* dapat ditumpahkan di dalam badan kapal tongkang.

Oleh karena itu, pada penelitian tugas akhir ini, *resource* yang memiliki biaya aset lebih kecil, seperti *dump truck*, perlu ditentukan kuantitas serta kapasitas yang efisien, agar *resource* kapal tongkang dapat menemukan waktu sewa yang efisien. Penelitian tugas akhir ini juga diharapkan dapat memberi rekomendasi berupa

alternatif skenario dalam menentukan dan menambah jumlah kebutuhan *resource*, seperti halnya menambahkan *resource mobile harbour crane* pada daerah pelabuhan seperti halnya ilustrasi pada Gambar 1.3, guna meminimalkan waktu pengapalan *fly ash*, karena dengan menggunakan *crane* diharapkan dapat memangkas proses *unloading fly ash* di kapal tongkang yang semula menggunakan *dump truck*, sehingga terjadi keseimbangan kapasitas pada tiap tahap proses pengapalan.



Gambar 1.3 Ilustrasi Penambahan *Resource* Berupa *Crane*

Namun, permasalahan dalam menyeimbangkan jumlah *resource* merupakan permasalahan yang kompleks. Hal tersebut dikarenakan sistem pengapalan akan dipengaruhi dengan faktor ketidakpastian dari berbagai aspek dan adanya faktor interdependensi atau ketergantungan antara satu elemen dengan elemen yang lainnya. Faktor ketidakpastian seperti perjalanan *dump truck* menuju kapal, pasang surut air laut yang menghambat proses pengapalan, dan adanya proses *maintenance* yang tidak terduga pada *boiler* batu bara merupakan beberapa ketidakpastian yang dihadapi dalam sistem. Selain itu, setiap elemen akan saling berdampak dengan elemen yang lainnya, seperti lama proses pencurahan *fly ash* oleh *dump truck* akan memengaruhi lama kapal tongkang akan bersandar. Oleh karena itu, untuk menjawab kompleksitas permasalahan sistem yang berupa ketidakpastian (*uncertainty*) dan interdependensi, penelitian ini akan menggunakan *Discrete Event Simulation* (DES). DES menjadi pilihan simulasi dalam penelitian ini karena DES dapat menyimulasikan adanya antrian dalam sistem. Adapun antrian pada sistem ini terletak pada proses *unloading fly ash* di kapal tongkang. Simulasi akan memegang peranan penting pada penelitian ini, karena simulasi dapat digunakan

sebagai sarana dalam mengetahui kebutuhan *resource* yang diperlukan pada setiap tahap pengapalan *fly ash*.

### **1.2. Perumusan Masalah**

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, rumusan masalah yang diangkat dalam penelitian ini, yaitu bagaimana menentukan kebutuhan kapasitas *resource* pada setiap tahap pengapalan *fly ash*, sehingga proses pengapalan dapat dilakukan secara efisien dan efektif.

### **1.3. Tujuan**

Berdasarkan permasalahan yang telah dipaparkan, maka tujuan dari penelitian tugas akhir ini ialah sebagai berikut :

1. Menentukan jumlah serta kapasitas *resource* yang diperlukan dalam setiap tahapan pengapalan *fly ash* pada setiap alternatif kebijakan yang bisa diambil oleh PT Pupuk Kaltim
2. Melakukan analisis sensitivitas serta *what-if analysis* untuk mengetahui dampak perubahan yang mungkin terjadi pada masa depan terhadap kebutuhan kapasitas *resource*.

### **1.4. Manfaat**

Penelitian tugas akhir ini akan memberikan manfaat, terutama untuk PT Pupuk Kaltim, yaitu meliputi :

1. Mengetahui kebutuhan kapasitas *resource* pada setiap tahap pengapalan *fly ash*.
2. Mengetahui dampak dari berbagai kemungkinan hambatan pada proses pengapalan *fly ash*.
3. Mengetahui kapasitas muatan serta luasan TPS baru untuk kemungkinan skenario pemindahan TPS ke daerah pelabuhan.

## 1.5. Ruang Lingkup Penelitian

Penentuan ruang lingkup penelitian dilakukan agar penelitian dapat lebih fokus dan menghasilkan penelitian yang baik. Pada subbab ini terdiri dari batasan dan asumsi yang digunakan dalam penelitian.

### 1.5.1. Batasan

Batasan yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini ialah sebagai berikut.

- a. Proses pengapalan yang diamati di PT Pupuk Kaltim, hanya untuk pengangkutan *fly ash*.
- b. Proses pengapalan yang diamati hanya meliputi perpindahan *fly ash* dari *boiler* batu bara hingga ke kapal tongkang.

### 1.5.2. Asumsi

Asumsi yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini ialah sebagai berikut.

- a. *Fly ash* yang diangkut merupakan *fly ash* dengan jenis yang seragam.
- b. *Fly ash* yang dibawa menggunakan *dump truck* tidak mengalami penyusutan berat saat proses perjalanan.
- c. Durasi pengapalan *fly ash* tidak meliputi waktu *berthing* dan *unberthing* pada kapal tongkang.
- d. Tidak memperhatikan adanya waktu istirahat *resource* maupun operator
- e. Kecepatan *dump truck* diasumsikan konstan.
- f. Terdapat lahan yang selalu cukup untuk pemindahan TPS.

## 1.6. Sistematika Penulisan Laporan

Laporan penelitian tugas akhir ini tersusun atas enam bab yang terdiri dari pendahuluan, tinjauan pustaka, metodologi penelitian, pengumpulan dan pengolahan data, interpretasi dan analisis, serta kesimpulan dan saran pada akhir laporan. Berikut akan dijabarkan mengenai penjelasan secara umum dari setiap bab yang ada dalam laporan.

## **BAB I PENDAHULUAN**

Pada bab ini akan membahas mengenai latar belakang dari penelitian tugas akhir ini. Setelah itu perumusan masalah untuk mengetahui permasalahan apa yang ingin diselesaikan, sehingga dapat diketahui tujuan serta manfaat yang dapat diperoleh. Pada bab ini juga ditentukan batasan dan asumsi selama penelitian, sehingga penelitian dapat lebih fokus, serta dilanjutkan dengan sistematika penulisan laporan yang menjelaskan secara menyeluruh setiap bagian pada laporan penelitian.

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini akan membahas mengenai landasan teori yang digunakan dalam penelitian. Penjelasan teori tersebut digunakan untuk memandu pembaca dalam memahami keseluruhan konsep penelitian, karena penelitian ini mengacu pada berbagai literatur dan penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.

## **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai rencana pengerjaan penelitian atau kerangka berpikir dalam pengerjaan penelitian tugas akhir. Metodologi penelitian ini digunakan sebagai acuan pengerjaan, sehingga penelitian dapat terarah dan mampu memperoleh tujuan yang diinginkan.

## **BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA**

Pada bab ini akan membahas mengenai tata cara dan proses dalam pengumpulan data yang dikumpulkan agar dapat memberikan informasi sesuai dengan yang dibutuhkan dalam menunjang penelitian tugas akhir. Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data terkait distribusi atau proses pengapalan *fly ash* di perusahaan amatan. Kemudian data yang telah diperoleh, akan diolah dengan menggunakan metode yang tepat agar dapat menghasilkan luaran sesuai dengan yang diharapkan.

## **BAB V INTERPRETASI DAN ANALISIS**

Pada bab ini akan membahas mengenai proses pendefinisian data yang telah diolah dengan menggunakan metode yang sesuai. Data tersebut akan menghasilkan informasi yang mendukung penulis dalam menentukan kondisi alternatif yang akan disampaikan ke perusahaan amatan sebagai bentuk rekomendasi perbaikan.

## **BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN**

Pada bab ini akan membahas mengenai kesimpulan yang diperoleh pada penelitian tugas akhir ini, dengan berdasarkan pada tujuan penelitian yang ingin diraih. Pada bab ini juga akan membahas saran yang dapat diberikan oleh penulis untuk proses bisnis perusahaan amatan maupun untuk penelitian dalam beberapa tahun ke depan.

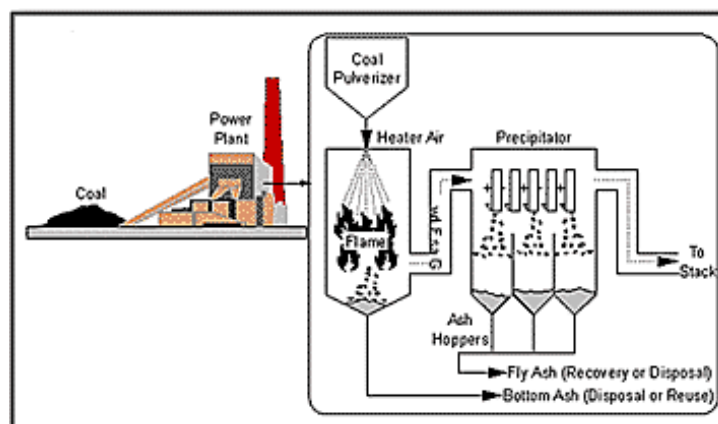
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai konsep-konsep yang menjadi pemahaman dasar sebelum atau selama melakukan penelitian tugas akhir. Tinjauan pustaka yang akan ditampilkan merupakan pustaka yang memiliki kaitan dengan kondisi perusahaan saat ini dan metode penelitian yang diterapkan selama penelitian berlangsung.

#### 2.1 *Fly Ash* (Abu Terbang)

*Fly ash* merupakan produk sampingan yang dihasilkan dari proses pembakaran batu bara pada pembangkit listrik tenaga uap, dengan memiliki sifat yang tercermin pada mineral yang ada dalam batu bara tersebut (Dutta, et al., 2016). Hasil pembakaran batu bara menghasilkan produk sampingan atau biasa disebut dengan *Coal Combustion Residuals* (CCR), yang meliputi *fly ash*, *bottom ash*, *boiler slag*, residu *fluegas desulfurization*, dan *fluidized bed combustion ash*. Lebih dari 70% dari abu batu bara tersebut dapat dikategorikan sebagai *fly ash* (Bhatt, et al., 2019). *Fly ash* merupakan bubuk halus yang memiliki karakteristik bentuk seperti bola dan memiliki diameter yang bervariasi. Bila diamati dengan menggunakan mikroskop, *fly ash* terlihat seperti gelembung-gelembung kecil yang dipadatkan atau bola-bola dengan ukuran partikel rata-rata sekitar 10 $\mu$ m, tetapi dapat bervariasi mulai dari <1 $\mu$ m sampai 150 $\mu$ m (Ramme & Tharaniyil, 2013). Kandungan utama *fly ash* terdiri dari Silikon Dioksida (SiO<sub>2</sub>), Aluminium Oksida (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), dan Ferro Oksida (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) (Ramme & Tharaniyil, 2013).



Gambar 2.1 Alur Produksi *Fly Ash* Berbasis Batu Bara (American Coal Ash Association, 2016)



Gambar 2.1 menunjukkan proses produksi *fly ash* dalam operasi boiler berbahan bakar batu bara kering. *Fly ash* pada proses tersebut ditangkap dengan menggunakan *precipitator*, yang kemudian akan dijatuhkan ke *ash hoppers*. *Precipitator* yang digunakan untuk menangkap *fly ash* ialah *precipitator* jenis *electrostatic precipitator* (American Coal Ash Association, 2016).

Saat ini, *fly ash* dapat diperhitungkan sebagai sumber daya mineral yang bermanfaat, dan seiring dengan perkembangan teknologi, *fly ash* dapat dimanfaatkan untuk berbagai sektor. *Fly ash* dapat dimanfaatkan dalam pembuatan semen, beton, batu bata, dan konstruksi jalan (Yu, et al., 2012). Produksi semen merupakan salah satu sektor yang paling sering dimanfaatkan untuk pengelolaan *fly ash*. Kecenderungan tersebut dikarenakan *fly ash* memiliki kemampuan untuk mensubstitusi pozzolan dalam proses pembuatan semen, serta dapat menghasilkan semen dengan sifat yang lebih hemat air dan tahan terhadap panas (M., 2010).

## **2.2 Distribusi dan Transportasi**

Pada penerapan logistik secara konvensional, produk akan mengalir dari satu tahap ke tahap selanjutnya yang saling terhubung hingga dapat sampai ke tangan konsumen (Bozorgirad, et al., 2012). Pergerakan produk seperti itu, biasa disebut dengan distribusi. Distribusi pada dasarnya memiliki kaitan dengan memastikan produk mencapai target konsumen dengan cara yang efektif dan efisien (Dent, 2011). Menurut Bowersox (2002), distribusi memiliki beberapa tujuan utama, yaitu mendistribusikan produk dengan biaya yang minimum selaras dengan kepuasan konsumen dalam aspek layanan distribusi (pengiriman tepat waktu, keselamatan, kemasan, dan lain-lain). Tujuan-tujuan tersebut merupakan prinsip dasar dalam menerapkan transportasi yang efisien, dan distribusi akan ekonomis secara skala dan jarak. Prinsip-prinsip ekonomis tersebut memungkinkan adanya penurunan biaya per unit berat karena ukuran dan jarak pengiriman mengalami peningkatan. Sedangkan, distribusi yang efektif ialah distribusi yang dapat memberikan kenyamanan pada konsumen dalam bentuk ketersediaan (*what, where, when* – produk yang tepat, di tempat yang tepat, pada waktu yang tepat), akses (informasi terkait availabilitas produk dan otorisasi pembelian), dan *support* (layanan saran pra-penjualan, promosi penjualan dan *merchandising*) (Yeboah, et al., 2013). Distribusi memiliki kaitan yang kuat dengan transportasi dalam konsep logistik.

Transportasi menurut Bowersox (2002), merupakan area operasional dari logistik yang secara geografis memindahkan dan memposisikan *inventory*. Dari segi sudut pandang sistem logistik, tingkat kinerja logistik dapat diukur dengan melihat tiga faktor dasar transportasi, di antaranya ialah biaya, kecepatan, dan konsistensi.

**Biaya** transportasi ialah biaya yang dikeluarkan untuk mengirim barang antara dua titik lokasi geografis serta biaya lainnya yang menyangkut dengan pemeliharaan *inventory* selama proses perjalanan. Sistem logistik seharusnya memaksimalkan utilitas transportasi, sehingga dapat meminimalkan total biaya sistem. Hal tersebut dapat mengimplikasikan bahwa metode transportasi yang termurah belum tentu menghasilkan total biaya logistik yang terendah.

**Kecepatan** pada transportasi merupakan waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan perpindahan yang spesifik. Kecepatan dan biaya memiliki keterkaitan dalam bentuk dua cara. Pertama, perusahaan yang memberikan penawaran layanan yang cepat, umumnya akan memberikan tarif yang lebih tinggi. Kedua, semakin cepat layanan transportasi, maka interval waktu *inventory* selama perjalanan dan ketidaktersediaan akan semakin cepat juga. Dengan demikian, Hal yang kritis saat menentukan metode transportasi yang paling tepat, ialah untuk menyeimbangkan antara aspek kecepatan dan biaya.

**Konsistensi** dari transportasi mengarah pada variasi waktu yang dibutuhkan dalam menyelesaikan sejumlah perpindahan yang spesifik. Konsistensi dapat mencerminkan ketergantungan transportasi. *Safety stock* diperlukan pada konsistensi transportasi untuk mengantisipasi adanya penghambat dalam kegiatan transportasi.

### 2.3 Transportasi Menggunakan Kapal

Dalam melakukan kegiatan transportasi, terdapat beberapa jenis atau moda transportasi yang biasa digunakan oleh perusahaan. Menurut Waters (2003), pada dasarnya terdapat 5 moda transportasi yang umumnya digunakan, yaitu rel, jalan, air, udara, dan *pipeline*. Setiap moda transportasi memiliki karakteristik masing-masing, sehingga pilihan terbaik untuk menentukan moda transportasi yang akan

digunakan akan sangat bergantung pada jenis produk yang akan dibawa. Termasuk moda transportasi air yang memiliki karakteristik dan keunggulan tersendiri.

Moda transportasi air memiliki keunggulan dari segi kapabilitas. Kapabilitas yang dimaksud ialah kapabilitas dalam membawa volume muatan, karena pada dasarnya moda transportasi air seperti kapal memiliki kapasitas yang sangat besar (Bowersox, et al., 2002). Moda transportasi air memiliki peran yang sangat vital pada rantai pasok. Sebagian besar kegiatan rantai pasok menggunakan pengiriman yang menyeberangi lautan, dan lebih dari 90% perdagangan dunia digerakkan melalui laut (Waters, 2003).

Terdapat banyak jenis transportasi yang digunakan dalam moda transportasi air. Untuk menyeberangi lautan luas, kapal menjadi salah satu pilihan transportasi yang sering digunakan. Pada laporan penelitian tugas akhir ini, jenis kapal yang digunakan ialah *barge* atau biasa disebut dengan kapal tongkang. Adapun beberapa jenis kapal lainnya yang biasa digunakan untuk membawa barang. Menurut Waters (2003), berikut merupakan jenis-jenis kapal yang digunakan dalam moda transportasi laut.

1. Kapal *General Cargo*

Kapal kargo memiliki kapasitas besar yang dapat membawa berbagai tipe kargo. Pada umumnya, muatan yang akan dimuat di kapal kargo akan menggunakan bantuan *crane*, akan tetapi pada beberapa jenis kapal kargo terdapat pintu samping yang memungkinkan untuk kendaraan untuk masuk dan keluar.

2. Kapal *Bulk Carriers*

Kapal jenis ini umumnya membawa material dalam jumlah besar dengan nilai yang murah, seperti gandum dan biji-bijian lainnya.

3. Kapal Tanker

Kapal tanker membawa muatan cairan dengan berbagai jenis. Sejauh ini muatan yang paling sering dibawa oleh kapal jenis ini ialah berupa minyak. Untuk memaksimalkan skala ekonomis, kapal tanker didesain untuk memuat muatan dengan kapasitas yang sebesar mungkin.

#### 4. Kapal Kontainer

Kapal jenis ini dirancang khusus untuk membawa muatan berupa kontainer standar. Kapasitas ini umumnya menggunakan satuan TEU (ekuivalen dengan 20 kaki) atau FEU (ekuivalen dengan 40 kaki).

#### 5. Kapal Feri

Kapal feri biasa disebut dengan RO-RO (*roll on roll-off*) yang membawa muatan berupa orang dan kendaraan seperti, truk, mobil, dan motor.

#### 6. Kapal Tongkang (*Barge*)

Kapal tongkang digunakan untuk rute pengiriman yang lebih pendek, bila dibanding dengan kapal jenis lainnya. Selain itu, kapal ini juga digunakan untuk perairan yang memiliki tinggi ombak yang relatif rendah. Pada penelitian tugas akhir ini, kapal tongkang digunakan oleh perusahaan karena perairan Selat Makassar yang merupakan jalur yang dilalui oleh kapal dengan tingkat ketinggian gelombang 0-1 meter. Oleh BMKG tinggi gelombang tersebut masih dikategorikan dalam gelombang rendah.

#### 7. Kombinasi Kapal-kapal

Pada jenis ini, kapal dengan beberapa spesialisasi dikombinasikan agar dapat memberikan utilitas yang tinggi. Sebagai contoh, kombinasi kapal RO-RO/Kontainer yang mengimpor mobil dari Jepang ke Amerika Serikat, dan ketika kembali, kapal tersebut membawa gandum curah ke Jepang.

Kapal Tongkang merupakan moda transportasi yang digunakan dalam sistem pengapalan *fly ash*. Pada pengapalan *fly ash* menggunakan kapal tongkang, terdapat beberapa faktor luar sistem yang menghambat proses pengapalan. Di antaranya seperti pasang-surut air laut yang akan membuat *dump truck* tidak dapat masuk ke dalam kapal tongkang karena kondisi tinggi kapal dengan tinggi daratan di pelabuhan akan terdapat perbedaan. Selain itu, apabila pelabuhan dalam kondisi yang sedang becek, akan membuat *dump truck* kesusahan saat melakukan manuver untuk memasukkan kendaraan ke dalam kapal tongkang, sehingga memerlukan waktu yang lebih lama dibanding dengan kondisi normal.

## 2.4 Simulasi Diskrit

Simulasi diskrit atau biasa disebut dengan *Discrete Event Simulation* (DES), merupakan simulasi yang memodelkan sebuah sistem sebagai urutan kejadian dalam suatu waktu. Setiap peristiwa akan terjadi pada titik-titik waktu tertentu (diskrit) dan menandai perubahan status dalam sistem (Robinson, 2014). DES digunakan untuk memodelkan suatu sistem yang memiliki antrian. Antrian dapat ditemukan ketika entitas tiba lebih cepat dibanding dengan proses yang akan dilakukan pada aktivitas berikutnya.

Simulasi digunakan untuk menyelesaikan kompleksitas dari suatu permasalahan. Kompleksitas tersebut dapat diketahui dengan adanya variabilitas (ketidakpastian) dan interdependensi (kesalingbergantungan) antar variabel dalam sebuah sistem. Oleh karena itu, ketika model matematika sudah tidak mampu untuk menyelesaikan suatu permasalahan, simulasi akan menjadi jawaban untuk menyelesaikan kompleksitas permasalahan tersebut.

DES dapat dilakukan dengan bantuan berbagai jenis *software* yang menunjang proses simulasi. Beberapa *software* tersebut di antaranya ialah, AnyLogic, FlexSim, Arena, GPSS, dan berbagai *software* lainnya. Pada penelitian tugas akhir ini, *software* Arena akan menjadi pilihan dalam menjalankan simulasi. Arena dipilih, karena pada dasarnya Arena menggunakan metodologi *flowchart* berbasis entitas untuk memodelkan proses yang dinamis. Hal tersebut sangat berguna untuk memahami model sistem yang telah dibuat dalam *software*, dan memudahkan saat proses validasi. Sedangkan, *software* simulasi lainnya menggunakan basis *coding* untuk membuat model simulasi.

## 2.5 Penelitian Pendahulu

Dalam penelitian tugas akhir ini, terdapat beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dengan topik yang serupa dengan penelitian tugas akhir ini. Berikut merupakan Tabel 2.1, yang akan menyajikan beberapa penelitian pendahulu dalam bentuk ringkasan, yang menampilkan judul penelitian, penulis, tujuan penelitian, metode yang digunakan, serta penjelasan umum penelitian tersebut.

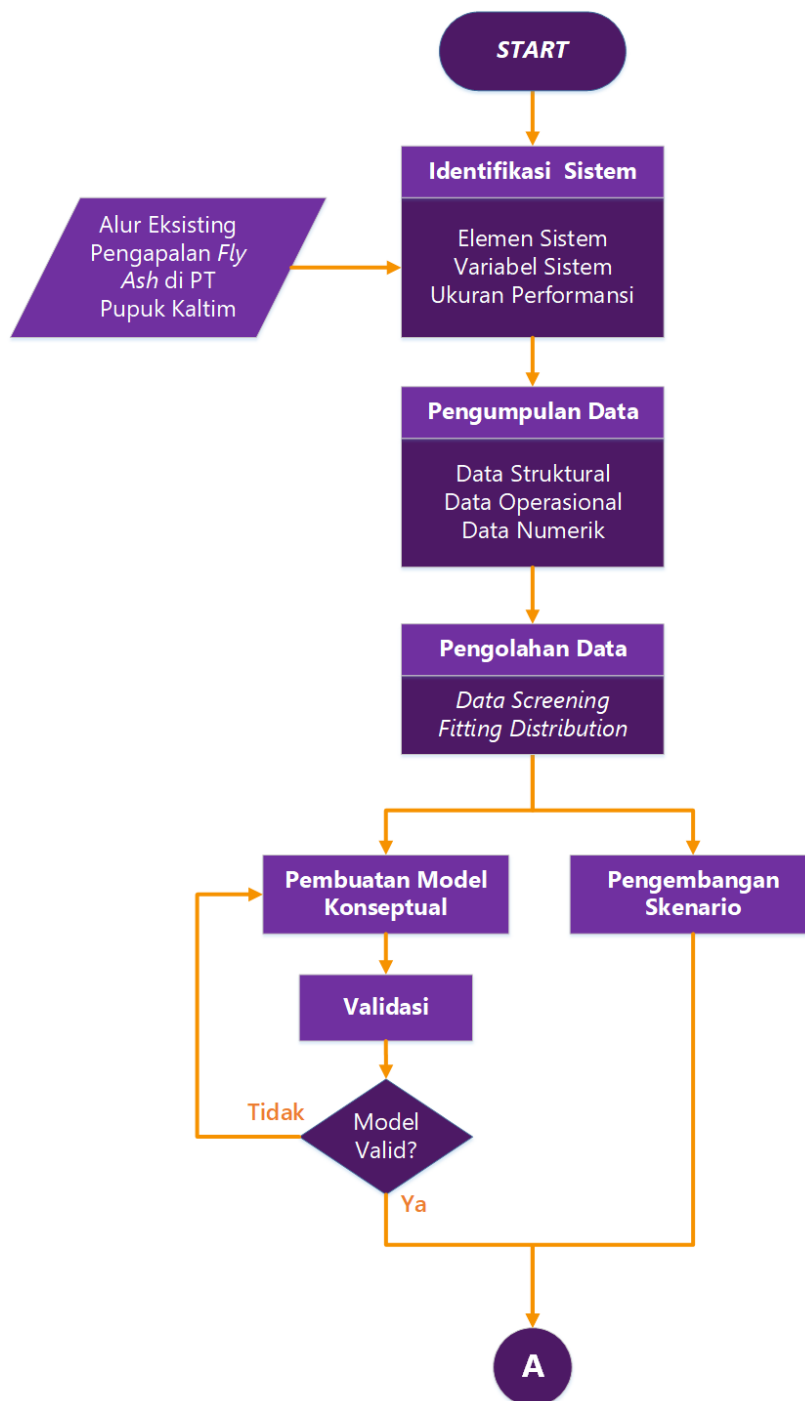
**Tabel 2.1 Ringkasan Penelitian Pendahulu**

Judul	Keterangan
<p>Model Simulasi Peningkatan <i>Loading Rate</i> Pupuk <i>In-bag</i> pada Kapal PT Petrokimia Gresik</p>	<p>Penulis (Tahun) : Neisy Nurul Hasanah (2019)</p>
	<p>Tujuan :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Menentukan target pada setiap aktivitas (<i>loading</i> pupuk ke truk di gudang, pengiriman pupuk dari gudang ke pelabuhan, <i>loading</i> pupuk ke kapal) yang mempengaruhi <i>loading rate</i> kapal.</li> <li>2. Menentukan banyaknya sumber daya yang dibutuhkan pada setiap tahap untuk mencapai target yang telah ditentukan sehingga tidak terdapat <i>bottleneck</i>.</li> </ol>
	<p>Metode :</p> <p>Simulasi diskrit menggunakan <i>software</i> Arena</p>
	<p>Penjelasan Singkat :</p> <p>Menemukan skenario terbaik dengan cara menentukan jumlah <i>resource</i> seperti jumlah truk dan tenaga kerja bongkar muat.</p>
<p>Analisis Sistem Distribusi Pupuk Phonska Pasca <i>Revamping</i> pada PT Petrokimia Gresik</p>	<p>Penulis (Tahun) : Theta Dyah Damayanti (2016)</p>
	<p>Tujuan :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Menentukan penambahan kapasitas gudang yang diperlukan pasca <i>revamping</i> Pabrik Phonska dengan menggunakan sistem distribusi yang mengacu pada minimal kebutuhan 21 hari di gudang penyangga.</li> <li>2. Menentukan sistem distribusi Pupuk Phonska untuk mengantisipasi dampak <i>revamping</i> Pabrik Phonska dengan kapasitas gudang eksisting.</li> </ol>
	<p>Metode :</p> <p>Simulasi diskrit menggunakan <i>software</i> Arena</p>
	<p>Penjelasan Singkat :</p> <p>Menentukan perbaikan sistem distribusi terkait kebijakan <i>inventory</i> dan kebijakan pengiriman serta penambahan kapasitas gudang yang meliputi kapasitas gudang Gresik dan kapasitas gudang penyangga Pupuk Phonska pasca <i>revamping</i>.</p>

Judul	Keterangan
<p>Analisis Strategi Distribusi Pupuk Phonska di Daerah Jawa Barat dan Banten Dengan Simulasi dan Optimasi (Studi Kasus : PT Petrokimia Gresik)</p>	Penulis (Tahun) : Rahmat Hamidin Shaleh (2019)
	<p>Tujuan :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Menentukan <i>coverage area</i> atau kapasitas distribution center Cigading.</li> <li>2. Menentukan metode distribusi yang tepat untuk gudang penyangga Jawa Barat dan Banten.</li> </ol>
	<p>Metode :</p> <p>Simulasi diskrit menggunakan <i>software</i> ARENA dan optimasi dengan LINGO.</p>
	<p>Penjelasan Singkat :</p> <p>Analisis mengenai distribusi pupuk dengan memanfaatkan packing plant atau distribution center Cigading untuk daerah Jawa Barat dan Banten.</p>
<p><i>Multiobjective Optimization of Fly Ash Allocation Problem in PLTU Using Normalized Weight Goal Programming</i></p>	Penulis (Tahun) : Gery Alfian Ilham Radika (2018)
	<p>Tujuan :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Memetakan produksi dan penggunaan <i>fly ash</i> yang dikelola oleh PT PLN</li> <li>2. Memaksimalkan penggunaan <i>fly ash</i> untuk perindustrian yang tepat dengan biaya yang paling efektif</li> </ol>
	<p>Metode :</p> <p><i>Multi-objective optimization</i> dan <i>Weight Goal Programming</i> untuk menyelesaikan permasalahan alokasi.</p>
	<p>Penjelasan Singkat :</p> <p>Menentukan alokasi <i>fly ash</i> dari setiap PLTU ke masing-masing pengguna potensial untuk menemukan solusi dengan biaya transportasi yang minimum dan memaksimalkan nilai <i>fly ash</i> yang dapat terolah.</p>

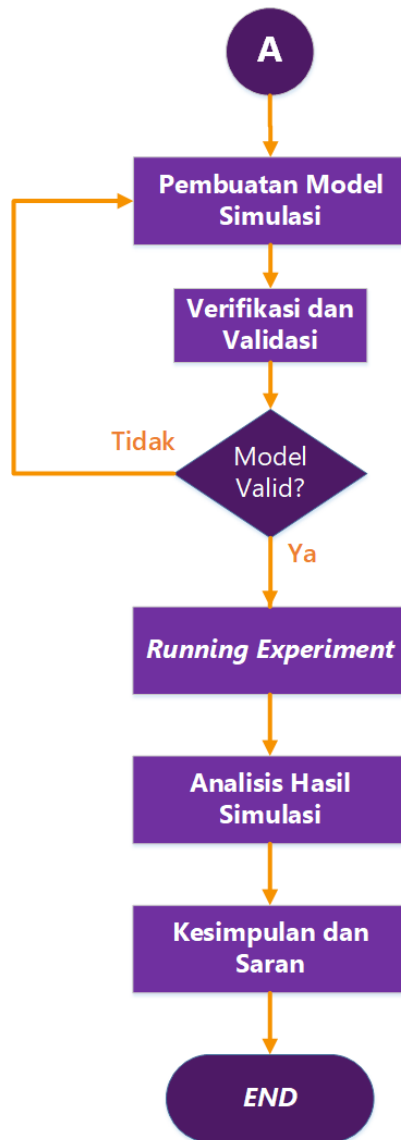
### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini, akan dijelaskan mengenai metodologi penelitian dalam pengapalan *fly ash* di PT Pupuk Kaltim. Metodologi penelitian berfungsi sebagai panduan dalam menjalani penelitian tugas akhir, sehingga dapat mencapai tujuan penelitian.



Gambar 3.1 Flowchart Metodologi Penelitian





**Gambar 3.1 Flowchart Metodologi Penelitian (Lanjutan)**

Metodologi penelitian dibagi menjadi beberapa tahapan. Berikut merupakan penjabaran masing-masing tahap dalam metodologi penelitian tugas akhir ini.

### **3.1 Identifikasi Sistem**

Pada tahap ini, identifikasi dijalankan terhadap sistem pengapalan *fly ash* pada PT Pupuk Kaltim. Proses identifikasi meliputi mengidentifikasi seluruh elemen dan variabel sistem.

### 3.1.1 Elemen Sistem

Sistem tersusun dari empat elemen, yaitu meliputi entitas, aktivitas, sumber daya, dan kontrol. Berikut merupakan Tabel 3.1 yang memberikan penjelasan lebih rinci mengenai elemen sistem yang ada pada sistem pengapalan *fly ash* di PT Pupuk Kaltim.

**Tabel 3.1 Elemen Sistem Pengapalan *Fly Ash***

<b>Elemen Sistem</b>	<b>Elemen pada Penelitian</b>
Entitas ( <i>Entities</i> )	<i>Fly ash</i>
Aktivitas ( <i>Activities</i> )	Penyimpanan, Pengapalan ( <i>loading</i> , pengiriman, dan <i>unloading</i> )
Sumber Daya ( <i>Resources</i> )	<i>Dump truck</i> , ekskavator, <i>crane</i> , <i>open storage</i> (TPS), <i>wheel loader</i> , dan kapal tongkang
Kontrol ( <i>Control</i> )	Antrian dalam proses <i>unloading</i> di kapal tongkang menerapkan <i>first come, first served</i> (FCFS)

### 3.1.2 Variabel Sistem

Sistem menjadi kesatuan yang utuh dengan adanya interaksi antar elemen sistem. Dengan adanya interaksi tersebut akan timbul dominasi dari suatu variabel. Berikut merupakan Tabel 3.2 yang akan menjabarkan variabel-variabel yang ada dalam sistem.

**Tabel 3.2 Variabel Sistem Pengapalan *Fly Ash***

<b>Variabel Sistem</b>	<b>Variabel pada Penelitian</b>
Variabel Keputusan ( <i>Decision Variable</i> )	Jumlah penambahan <i>resource dump truck</i> , penambahan <i>resource</i> lainnya yang diperlukan
Variabel Respon ( <i>Response Variable</i> )	<i>Cycle time</i> pengapalan <i>fly ash</i> dan frekuensi <i>dump truck</i> dalam mengapalkan <i>fly ash</i>
Variabel Status ( <i>State Variable</i> )	Kondisi <i>dump truck</i> , kondisi ekskavator, dan kondisi kapal tongkang

### 3.1.3 Ukuran Performansi

Ukuran performansi merupakan ukuran kuantitatif yang diperlukan untuk mengetahui ukuran performansi dalam mencapai objektif suatu permasalahan. Dalam penelitian tugas akhir ini, ukuran performansi yang akan diukur ialah durasi proses pengapalan *fly ash* di PT Pupuk Kaltim.

### 3.2 Pengumpulan Data

Kebutuhan data dalam penelitian ini disusun berdasarkan dengan model konseptual yang telah dirancang pada tahap sebelumnya. Data yang dibutuhkan dapat dikategorikan menjadi tiga data utama, yaitu data struktural, data operasional, dan data numerik (Harrell, et al., 2004). Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang telah dikumpulkan oleh PT Pupuk Kaltim. Berikut merupakan data yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini.

**Tabel 3.3 Kebutuhan Data Penelitian**

Jenis Data	Keterangan Data
Data Struktural ( <i>Structural Data</i> )	<b>Entitas</b> : <i>Fly ash</i> <b>Resources</b> : <i>Dump truck</i> , ekskavator, kapal tongkang, dan <i>wheel loader</i> . <b>Lokasi</b> : <i>Boiler</i> batu bara, tempat penyimpanan sementara (TPS), dan pelabuhan PT Pupuk Kaltim.
Data Operasional ( <i>Operational Data</i> )	<i>Rate</i> produksi <i>fly ash</i> , waktu <i>loading fly ash</i> di <i>boiler</i> , pemindahan <i>fly ash</i> dari <i>boiler</i> ke TPS, <i>unloading fly ash</i> di TPS, <i>loading fly ash</i> di TPS, pemindahan <i>fly ash</i> dari TPS ke Pelabuhan, <i>unloading fly ash</i> di kapal tongkang, dan waktu antar kedatangan kapal.
Data Numerik ( <i>Numerical Data</i> )	Kapasitas <i>dump truck</i> , waktu <i>loading</i> dan <i>unloading</i> , kapasitas TPS, dan kapasitas kapal tongkang

Berdasarkan pada Tabel 3.3, data dibagi menjadi tiga jenis, yaitu data struktural, data operasional, dan data numerik. Data struktural merupakan data yang memiliki kaitan dengan objek yang ada dalam sistem, yaitu entitas, *resource*, dan lokasi aktivitas dilakukan. Data operasional merupakan data yang akan menjelaskan bagaimana sistem dapat berjalan. Sedangkan, data numerik merupakan data yang akan menjelaskan bilangan atau angka dari suatu variabel dalam sistem.

### 3.3 Pengolahan Data

Setelah seluruh data yang diperlukan telah terkumpul, tahap selanjutnya ialah mengolah data terlebih dahulu sebelum dimasukkan ke dalam model simulasi. Dalam tahap ini, data diolah dengan melakukan *data screening* dan *fitting distribution*. *Data screening* memproses data-data yang tidak relevan dan tidak diperlukan dalam penelitian. Setelah itu data yang telah terseleksi akan dilakukan

uji untuk mengetahui serta menghilangkan data *outlier*, agar data dapat merepresentasikan keadaan normal. Selanjutnya data akan dimasukkan dalam *input analyzer* untuk dilakukan proses *fitting distribution*. *Fitting distribution* bertujuan untuk mengetahui persebaran distribusi dari data yang akan digunakan.

### **3.4 Pembuatan Model Konseptual**

Model konseptual dibuat dengan menggunakan diagram alir agar seluruh proses dapat tergambarkan secara bertahap. Diagram alir tersebut dimulai dengan proses *loading fly ash* yang ada di *boiler* batu bara ke dalam *dump truck* hingga *fly ash* dapat dibongkar (*unloading*) di dalam kapal tongkang. Model konseptual mengacu pada Gambar 1.1 yang merupakan alur pengapalan *fly ash* di PT Pupuk Kaltim.

### **3.5 Validasi Model Konseptual**

Validasi dilakukan untuk menguji apakah model konseptual yang telah dibuat dapat mencerminkan kondisi yang ada pada sistem riil. Validasi dilakukan dengan *expert intuition*, yaitu dengan cara berdiskusi dengan orang-orang lapangan yang ahli (*expert*) dan berpengalaman di dalam sistem amatan. Dalam penelitian ini, Bagian Operasional Batu Bara PT Pupuk Kaltim menjadi pihak yang berpengalaman karena memiliki otoritas dalam proses pengapalan *fly ash*. Model konseptual dapat dinyatakan valid apabila telah mengikuti logika alur kerja pengapalan dan mendapatkan persetujuan dengan pihak-pihak ahli yang bersangkutan.

### **3.6 Pengembangan Skenario**

Pembuatan skenario dilakukan untuk membandingkan skenario perbaikan dengan kondisi semula. Tujuan dalam proses perbandingan tersebut untuk mengetahui skenario terbaik yang dapat diterapkan, dari berbagai pilihan skenario lainnya. Berikut merupakan pilihan skenario perbaikan yang digunakan dalam simulasi sistem ini.

**Tabel 3.4 Pilihan Skenario Perbaikan**

Nomor	Pilihan Skenario
1	Penambahan jumlah <i>resource dump truck</i>
2	Pemindahan lokasi TPS ke daerah sekitar pelabuhan beserta dengan penambahan <i>resource</i> baru berupa <i>crane</i> di daerah pelabuhan
3	Gabungan skenario 1 dan 2

Perancangan skenario yang ada pada Tabel 3.4 disusun dengan mempertimbangkan data dan kondisi lapangan yang ada pada proses pengapalan *fly ash*. Hal tersebut berkaitan dengan beberapa hambatan yang terjadi pada proses pengapalan, seperti adanya *bottleneck* dalam proses *unloading* di dalam kapal tongkang.

### **3.7 Pembuatan Model Simulasi**

Model simulasi yang dibuat mengacu pada model konseptual yang telah tervalidasi oleh *expert*. Model simulasi dibuat dengan menggunakan *software* simulasi Arena versi 14 dengan memanfaatkan beberapa modul dalam *software*, seperti modul *basic process*, *advance process*, dan *advance transfer*. Model simulasi dapat memvisualisasikan setiap elemen sistem pengapalan *fly ash* secara sistematis.

### **3.8 Verifikasi dan Validasi Model Simulasi**

Setelah model konseptual tervalidasi, model simulasi selanjutnya dibuat. Pada model simulasi tersebut akan dilakukan proses verifikasi. Verifikasi merupakan proses untuk memastikan apakah model konseptual telah ditransformasikan menjadi model komputer (*software* Arena) dengan cukup akurat (Davis, 1992). Dalam proses transformasi model tersebut tentu terdapat *error* dalam proses pembuatannya. *Error* tersebut dikategorikan menjadi dua jenis, yaitu *syntax* dan *semantic error*. *Syntax error* merupakan kesalahan dalam melakukan penamaan modul atau *input* data. Kesalahan tersebut dapat dideteksi dalam *software* Arena dengan menekan tombol F4 pada *keyboard*. Sedangkan, *semantic error* merupakan kesalahan simulasi dalam menjalankan proses kerja. *Error* ini dapat dideteksi dengan memperhatikan pergerakan animasi atau bisa juga dideteksi dengan analisis *output* simulasi.

Validasi model simulasi dilakukan dengan validasi data *output* simulasi, yaitu dengan cara membandingkan hasil simulasi dengan kondisi semula, untuk kemudian dilihat tingkat rasionalitas perbandingannya. Model simulasi dapat dikatakan valid apabila hasil simulasi menunjukkan nilai yang masih dapat diterima dan tidak bertolak belakang dengan data pada kondisi semula. Proses validasi juga dilakukan dengan validasi proses kerja sistem (*white box validation*), dengan cara memeriksa setiap modul dalam model simulasi apakah telah mewakili seluruh elemen pada sistem riil.

### **3.9 Running Experiment**

*Running experiment* akan dilakukan berdasarkan pada skenario yang telah dibuat pada tahap sebelumnya. Eksperimen dilakukan terhadap masing-masing skenario untuk menemukan skenario yang memiliki hasil terbaik.

### **3.10 Analisis Hasil Simulasi**

Analisis dilakukan untuk masing-masing skenario yang telah melewati tahap eksperimen. Analisis dilakukan dengan membandingkan antara kondisi semula dengan skenario untuk dilihat perbandingan waktu pengapalan *fly ash* serta total biaya. Berdasarkan perbandingan dan analisis tersebut, dapat ditentukan skenario mana yang dapat menghasilkan catatan waktu yang paling baik serta penghematan biaya yang besar, sehingga dapat dinyatakan sebagai skenario terbaik. Setelah skenario terbaik ditentukan, selanjutnya ialah melakukan analisis sensitivitas serta *what-if analysis* terhadap faktor-faktor yang dapat memengaruhi skenario tersebut untuk mengetahui tingkat kelayakan skenario tersebut terhadap kemungkinan perubahan faktor lainnya yang akan terjadi. Analisis sensitivitas menjadi penting karena dunia ini sangat dinamis, sehingga menyebabkan beberapa faktor terus mengalami perubahan. Oleh karena itu analisis sensitivitas penting dilakukan untuk mengetahui perubahan apa saja yang dapat terjadi pada solusi optimal (Pidd, 2003).

### **3.11 Kesimpulan dan Saran**

Bagian ini merupakan tahap terakhir dalam penelitian, yang akan memaparkan kesimpulan dan saran dari penelitian tugas akhir ini. Kesimpulan akan didasarkan pada tujuan penelitian, yaitu menentukan *resource* yang diperlukan serta menentukan jumlah serta kapasitas *resource* yang diperlukan dalam setiap tahapan pengapalan *fly ash*. Saran diberikan berdasarkan pada pengerjaan penelitian tugas akhir terkait dengan topik penelitian maupun pelaksanaan penelitian secara menyeluruh.

## BAB IV

### PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Pada bab ini akan menjelaskan mengenai pengumpulan dan pengolahan data yang digunakan dalam penelitian ini. Selain itu pada bab ini juga akan dijelaskan mengenai rancangan hingga analisis pada *output* model simulasi.

#### 4.1 Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu data historis yang diperoleh dari PT Pupuk Kaltim serta hasil wawancara dengan *stakeholder* yang memiliki kewenangan dalam bidang terkait. Selain itu dikarenakan kondisi pandemi COVID-19 yang terjadi saat penelitian, sehingga tidak memungkinkan untuk melakukan observasi serta pengambilan data secara langsung, data yang meliputi data proses pengapalan *fly ash* secara keseluruhan, mulai dari proses *loading* di *boiler* batu bara hingga proses *unloading* di kapal tongkang serta data lainnya yang berkaitan dengan proses pengapalan didapatkan berdasarkan dari hasil *generate random number* menggunakan Microsoft Excel yang didasarkan pada estimasi interval minimal dan maksimal waktu proses dari *stakeholder* yang kemudian dicocokkan dengan *possible no-data distribution* pada Kelton, et al. (2014).

##### 4.1.1 Data Jadwal Pengapalan

Berikut merupakan jadwal pengapalan *fly ash* menggunakan kapal tongkang jenis 270 feet yang akan membawa muatan *fly ash* dari PT Pupuk Kaltim.

**Tabel 4.1 Jadwal Pengapalan Fly Ash**

No.	Nama Kapal	Jadwal Pengapalan		Tujuan
		Mulai	Selesai	
1	Marine Power 3027	08/05/2018 09:25	14/05/2018 13:46	Semen Indonesia, Tuban
2	Miduk 323	28/06/2018 09:07	04/07/2018 17:15	Semen Tonasa, Pangkep
3	Miduk 323	18/07/2018 08:23	24/07/2018 04:23	Semen Tonasa, Pangkep
4	Marine Power 3027	28/10/2018 09:31	02/11/2018 23:02	Semen Tonasa, Pangkep
5	Lintas Segara 10	01/12/2018 01:05	06/12/2018 05:57	Semen Tonasa, Pangkep
6	Miduk 323	04/05/2019 01:14	09/05/2019 19:36	Semen Tonasa, Pangkep



No.	Nama Kapal	Jadwal Pengapalan		Tujuan
		Mulai	Selesai	
7	Lintas Segara 10	10/06/2019 00:48	15/06/2019 22:10	Semen Tonasa, Pangkep
8	Marine Power 3027	17/06/2019 08:33	23/06/2019 17:52	Semen Bosowa, Maros
9	Miduk 323	16/12/2019 01:16	21/12/2019 20:35	Semen Tonasa, Pangkep

#### 4.1.2 Jumlah Produksi Fly Ash

Data produksi *fly ash* yang digunakan merupakan data yang telah diolah. Data ini juga menunjukkan jumlah *fly ash* yang diproduksi dalam satuan *dump truck* (DT), dalam artian untuk setiap satu DT dapat menampung hingga 13,6 ton *fly ash*.

**Tabel 4.2 Jumlah Fly Ash yang Dihasilkan Oleh Boiler**

Tanggal	Jumlah Fly Ash (Ton)	Dalam Satuan Dump Truck (13,6 Ton)
15/11/2019	116	9
16/11/2019	106	8
17/11/2019	89	7
18/11/2019	110	8
19/11/2019	102	8
20/11/2019	101	7
21/11/2019	100	7
22/11/2019	95	7
23/11/2019	111	8
24/11/2019	103	8
25/11/2019	112	8
26/11/2019	106	8
27/11/2019	110	8
28/11/2019	111	8
29/11/2019	82	6
30/11/2019	83	6
01/12/2019	98	7
02/12/2019	101	7
03/12/2019	97	7
04/12/2019	99	7
05/12/2019	77	6
06/12/2019	114	8

Tanggal	Jumlah Fly Ash (Ton)	Dalam Satuan Dump Truck (13,6 Ton)
07/12/2019	84	6
08/12/2019	84	6
09/12/2019	110	8
10/12/2019	93	7
11/12/2019	97	7
12/12/2019	91	7
13/12/2019	96	7
14/12/2019	102	7

#### 4.1.3 Jumlah Fly Ash yang Dipindahkan dari Boiler ke TPS

Jumlah pemindahan *fly ash* dari *boiler* ke TPS menggunakan satuan *Dump Truck* (DT), yaitu satu DT dapat mengangkut sebanyak 13,6 ton *fly ash*. Proses pemindahan ini dibagi menjadi beberapa waktu, yaitu *shift* pagi, siang, dan malam.

**Tabel 4.3 Jumlah Fly Ash yang Dipindahkan dari Boiler ke TPS**

Tanggal	Shift Malam (00.00 - 09.00)	Shift Pagi (08.00 - 17.00)	Shift Siang (16.00 - 01.00)
15/11/2019	3	3	3
16/11/2019	3	2	3
17/11/2019	3	2	2
18/11/2019	2	3	3
19/11/2019	3	2	3
20/11/2019	2	2	3
21/11/2019	2	3	2
22/11/2019	3	2	2
23/11/2019	2	3	3
24/11/2019	2	3	3
25/11/2019	3	2	3
26/11/2019	2	3	3
27/11/2019	2	3	3

#### 4.1.4 Waktu Pemindahan Fly Ash dari Boiler ke TPS

Proses pemindahan *fly ash* ini dilakukan di tepatnya di silo penampungan *fly ash* yang berada di *boiler* batu bara. Proses ini meliputi proses *loading fly ash* dari silo ke dalam *dump truck*, proses perjalanan *dump truck* ke TPS, hingga

proses *unloading fly ash* di TPS. Berikut merupakan data waktu dari proses tersebut.

**Tabel 4.4 Waktu Pemindahan *Fly Ash* Dari *Boiler* ke TPS**

<b>Tanggal</b>	<b>Shift</b>	<b>Datang di Boiler dan Mulai Loading</b>	<b>Pergi Menuju TPS</b>	<b>Sampai di TPS dan Mulai Unloading</b>	<b>Selesai Unloading</b>
15/11/2019	Malam	00:08	00:10	00:14	00:18
		00:22	00:25	00:29	00:32
		00:36	00:39	00:43	00:46
	Pagi	08:12	08:15	08:19	08:22
		08:27	08:30	08:34	08:38
		08:42	08:44	08:49	08:52
	Siang	16:03	16:05	16:10	16:13
		16:17	16:20	16:24	16:27
		16:31	16:34	16:38	16:41
16/11/2019	Malam	00:11	00:13	00:17	00:20
		00:24	00:27	00:31	00:34
		00:38	00:40	00:45	00:48
	Pagi	08:06	08:09	08:13	08:17
		08:21	08:25	08:29	08:32
	Siang	16:15	16:17	16:21	16:24
		16:28	16:31	16:36	16:38
		16:42	16:45	16:50	16:53
	17/11/2019	Malam	00:04	00:06	00:10
00:17			00:20	00:24	00:26
00:31			00:34	00:38	00:40
Pagi		08:10	08:13	08:17	08:21
		08:26	08:28	08:32	08:36
Siang		16:02	16:04	16:08	16:11
16:15	16:18	16:22	16:25		
18/11/2019	Malam	00:13	00:15	00:19	00:23
		00:27	00:29	00:33	00:37
	Pagi	08:12	08:15	08:19	08:22
		08:26	08:29	08:33	08:35
		08:40	08:42	08:46	08:49
	Siang	16:03	16:05	16:10	16:14
		16:18	16:20	16:24	16:28
		16:32	16:35	16:39	16:42

#### 4.1.5 Waktu Siklus Pengapalan Fly Ash

Proses pengapalan *fly ash* merupakan proses lanjutan dari pemindahan *fly ash* dari *boiler* ke TPS. Proses pengapalan dilakukan ketika kapasitas dalam TPS telah memenuhi kriteria batas atas kapasitas TPS. Data waktu siklus pengapalan meliputi data proses *loading fly ash* di TPS hingga proses *unloading fly ash* di dalam kapal tongkang. Proses tersebut dilakukan dengan bantuan empat unit *dump truck* dengan muatan 13,6 ton serta dua unit ekskavator untuk proses *loading* di TPS.

**Tabel 4.5 Waktu Siklus Pengapalan**

Nomor Plat	Datang di TPS	Mulai Loading di TPS	Pergi Menuju Pelabuhan	Sampai di Pelabuhan	Mulai Masuk Kapal dan Unloading	Selesai Unloading
KT 1547 DD	00:08	00:08	00:13	00:18	00:18	00:22
KT 2489 DJ	00:19	00:19	00:25	00:30	00:30	00:36
KT 1547 DD	00:27	00:27	00:33	00:38	00:38	00:44
KT 3782 DJ	00:33	00:33	00:38	00:43	00:44	00:50
KT 2489 DJ	00:41	00:41	00:47	00:52	00:52	00:57
KT 4591 DD	00:45	00:45	00:51	00:56	00:57	01:03
KT 1547 DD	00:49	00:51	00:58	01:03	01:03	01:09
KT 3782 DJ	00:55	00:55	01:01	01:06	01:09	01:13
KT 2489 DJ	01:02	01:02	01:07	01:13	01:14	01:20
KT 4591 DD	01:08	01:08	01:13	01:19	01:21	01:25
KT 1547 DD	01:14	01:14	01:20	01:25	01:25	01:32
KT 3782 DJ	01:18	01:18	01:24	01:29	01:32	01:37
KT 2489 DJ	01:25	01:25	01:32	01:37	01:37	01:42
KT 4591 DD	01:30	01:30	01:36	01:42	01:43	01:47
KT 1547 DD	01:37	01:37	01:43	01:49	01:49	01:55
KT 3782 DJ	01:42	01:42	01:47	01:52	01:55	02:02
KT 2489 DJ	01:47	01:47	01:53	01:58	02:02	02:08
KT 4591 DD	01:52	01:52	01:57	02:02	02:02	02:07
KT 1547 DD	02:00	02:00	02:06	02:11	02:11	02:16
KT 3782 DJ	02:07	02:07	02:12	02:17	02:17	02:23
KT 4591 DD	02:12	02:12	02:18	02:23	02:23	02:29
KT 2489 DJ	02:13	02:13	02:19	02:24	02:29	02:33
KT 1547 DD	02:21	02:21	02:26	02:31	02:34	02:38
KT 3782 DJ	02:28	02:28	02:34	02:39	02:39	02:44
KT 4591 DD	02:34	02:34	02:39	02:44	02:44	02:49
KT 2489 DJ	02:38	02:38	02:44	02:50	02:50	02:55

Nomor Plat	Datang di TPS	Mulai Loading di TPS	Pergi Menuju Pelabuhan	Sampai di Pelabuhan	Mulai Masuk Kapal dan Unloading	Selesai Unloading
KT 1547 DD	02:44	02:44	02:49	02:54	02:55	03:01
KT 3782 DJ	02:49	02:49	02:55	03:00	03:02	03:08
KT 4591 DD	02:54	02:54	02:59	03:05	03:08	03:14
KT 2489 DJ	03:00	03:00	03:06	03:11	03:14	03:18
KT 1547 DD	03:07	03:07	03:12	03:17	03:18	03:23
KT 3782 DJ	03:13	03:13	03:19	03:24	03:24	03:30
KT 4591 DD	03:19	03:19	03:24	03:29	03:29	03:35
KT 2489 DJ	03:23	03:23	03:28	03:33	03:36	03:42
KT 1547 DD	03:28	03:28	03:33	03:39	03:42	03:48
KT 3782 DJ	03:35	03:35	03:41	03:46	03:48	03:53
KT 4591 DD	03:40	03:40	03:47	03:52	03:54	03:59
KT 2489 DJ	03:47	03:47	03:53	03:58	03:59	04:06
KT 1547 DD	03:53	03:53	04:00	04:05	04:07	04:12
KT 3782 DJ	03:58	03:58	04:05	04:10	04:13	04:18
KT 4591 DD	04:04	04:04	04:10	04:15	04:18	04:25

#### 4.1.6 Jarak antara Lokasi

Jarak antara lokasi merupakan data yang akan dibutuhkan dalam menentukan waktu tempuh kendaraan dari dan ke masing-masing lokasi tujuan dalam sistem pengapalan. Berikut merupakan jarak antara lokasi dalam sistem pengapalan *fly ash*.

**Tabel 4.6 Jarak antara Lokasi Dalam Satuan Meter**

	Boiler	TPS	Kapal	Stasiun Dump Truck
Boiler	-	250	430	65
TPS	250	-	600	300
Kapal	430	600	-	400
Stasiun Dump Truck	65	300	400	-

## 4.2 Pengolahan Data

Setelah data yang dibutuhkan telah dikumpulkan, proses selanjutnya ialah melakukan pengolahan data berdasarkan pada data yang ada pada bagian

pengumpulan data. Pengolahan data dibagi menjadi dua bagian, yaitu rekapitulasi data dan *fitting distribution*.

#### 4.2.1 Rekapitulasi Data

Rekapitulasi dilakukan dengan meringkas serta menampilkan waktu yang dibutuhkan pada setiap proses ke dalam satuan waktu tertentu agar dari data yang telah dikumpulkan dapat dilakukan proses *fitting distribution*, untuk kemudian menjadi *input* dalam model simulasi. Berikut merupakan hasil dari rekapitulasi data pengapalan *fly ash*.

**Tabel 4.7 Rekapitulasi Jadwal Pengapalan *Fly Ash***

No.	Nama Kapal	Durasi Pengapalan (Hari)	Jumlah (ton)	Durasi Hujan Selama Pengapalan (Jam)	Tujuan
1	Marine Power 3027	6,181	7.554,93	2	Semen Indonesia, Tuban
2	Miduk 323	6,339	7.534,57	7	Semen Tonasa, Pangkep
3	Miduk 323	5,833	7.453,59	0	Semen Tonasa, Pangkep
4	Marine Power 3027	5,563	7.599,64	5	Semen Tonasa, Pangkep
5	Lintas Segara 10	5,203	7.598,25	0	Semen Tonasa, Pangkep
6	Miduk 323	5,765	7.497,94	8	Semen Tonasa, Pangkep
7	Lintas Segara 10	5,890	7.749,71	9	Semen Tonasa, Pangkep
8	Marine Power 3027	6,388	7.599,49	5	Semen Bosowa, Maros
9	Miduk 323	5,805	7.262,40	10	Semen Tonasa, Pangkep

Pada rekap jadwal pengapalan, selain durasi pengapalan, rekap juga dilakukan pada data durasi hujan selama proses pengapalan. Hal tersebut berguna untuk menggambarkan salah satu faktor penghambat yang ada pada proses pengapalan *fly ash*, yaitu faktor cuaca yang berupa hujan.

Untuk membuat model simulasi, selain membutuhkan data jadwal pengapalan, waktu proses pengapalan juga dibutuhkan untuk mengetahui waktu

proses pada tiap tahap proses pengapalan. Berikut merupakan rekapitulasi waktu proses pengapalan *fly ash*.

**Tabel 4.8 Rekapitulasi Waktu Proses Pengapalan *Fly Ash***

No.	Nomor Plat	<i>Loading Fly Ash di TPS (menit)</i>	<i>Unloading Fly Ash di Kapal Tongkang (menit)</i>
1	KT 1547 DD	5,0	4,4
2	KT 2489 DJ	5,7	6,3
3	KT 1547 DD	5,5	5,5
4	KT 3782 DJ	5,4	5,5
5	KT 2489 DJ	5,5	4,6
6	KT 4591 DD	6,2	5,6
7	KT 1547 DD	6,0	5,8
8	KT 3782 DJ	6,3	4,1
9	KT 2489 DJ	5,6	6,2
10	KT 4591 DD	5,4	4,4
11	KT 1547 DD	5,8	6,5
12	KT 3782 DJ	6,1	4,3
13	KT 2489 DJ	6,4	4,8
14	KT 4591 DD	5,9	4,6
15	KT 1547 DD	6,3	6,5
16	KT 3782 DJ	5,3	6,1
17	KT 2489 DJ	5,5	6,4
18	KT 4591 DD	5,0	4,1
19	KT 1547 DD	6,1	4,3
20	KT 3782 DJ	5,8	5,3
21	KT 4591 DD	6,2	5,7
22	KT 2489 DJ	5,4	4,2
23	KT 1547 DD	5,6	5,0
24	KT 3782 DJ	5,9	4,5
25	KT 4591 DD	5,5	4,5
26	KT 2489 DJ	6,0	5,0
27	KT 1547 DD	5,4	6,4
28	KT 3782 DJ	6,3	6,0
29	KT 4591 DD	5,3	5,3
30	KT 2489 DJ	6,4	4,2
31	KT 1547 DD	5,1	4,7
32	KT 3782 DJ	6,0	5,8
33	KT 4591 DD	5,2	6,2
34	KT 2489 DJ	5,1	6,0
35	KT 1547 DD	5,3	6,2

No.	Nomor Plat	Loading Fly Ash di TPS (menit)	Unloading Fly Ash di Kapal Tongkang (menit)
36	KT 3782 DJ	5,7	4,6
37	KT 4591 DD	6,5	5,4
38	KT 2489 DJ	6,2	6,3
39	KT 1547 DD	6,5	5,4
40	KT 3782 DJ	6,5	5,2
41	KT 4591 DD	5,7	6,4

Selain rekapitulasi waktu proses pengapalan *fly ash*, waktu proses pemindahan *fly ash* dari *boiler* ke TPS juga dilakukan rekapitulasi. Berikut merupakan hasil rekapitulasi tersebut.

**Tabel 4.9 Rekapitulasi Waktu Proses Pemindahan *Fly Ash* dari *Boiler* ke TPS**

Tanggal	Shift	Proses Loading di Boiler (menit)	Unloading Fly Ash di TPS (menit)
15/11/2019	Malam	2,5	3,8
		2,9	3,1
		3,0	2,8
	Pagi	2,5	3,7
		3,4	3,2
		2,5	3,6
	Siang	2,6	3,7
		2,6	3,2
		2,5	2,4
16/11/2019	Malam	2,1	3,4
		2,6	2,7
		2,5	3,3
	Pagi	2,6	3,9
		3,5	2,9
	Siang	2,4	2,4
		2,9	2,3
		2,7	3,6
	17/11/2019	Malam	2,4
2,5			2,7
3,1			2,4
Pagi		2,8	3,8
		2,5	3,1
Siang		2,5	2,6
		2,5	3,6



Tanggal	Shift	Proses Loading di Boiler (menit)	Unloading Fly Ash di TPS (menit)
18/11/2019	Malam	2,2	3,3
		2,0	3,2
	Pagi	2,7	3,1
		2,7	2,3
		2,0	2,8
	Siang	2,5	4,0
		2,1	3,7
		2,4	2,7

#### 4.2.2 Fitting Distribution

Dari data yang telah dilakukan proses rekapitulasi, selanjutnya ialah melakukan *fitting distribution* dengan menggunakan *tools Input Analyzer* yang tersemat pada *software Arena*. *Fitting distribution* bertujuan untuk mengetahui distribusi statistik yang paling sesuai dengan masing-masing jenis data yang akan menjadi *input* dalam model simulasi. Berikut merupakan hasil *fitting distribution* dari data yang telah dikumpulkan dan diolah.

**Tabel 4.10 Hasil Fitting Distribution**

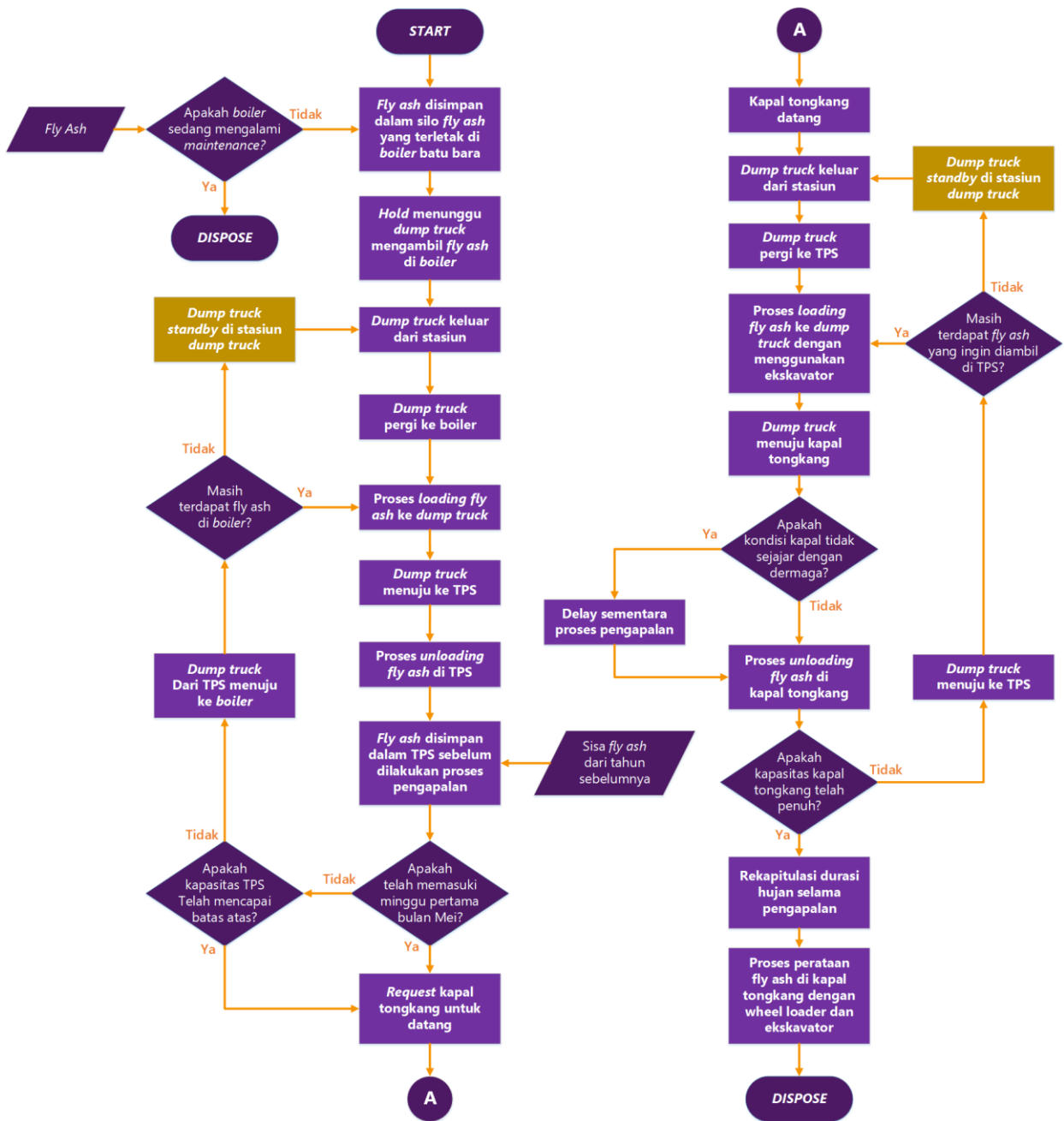
Jenis Data	Distribusi	Expression	Satuan
Jumlah <i>Fly Ash</i> yang Dihasilkan Boiler	Normal	NORM(7,27, 0,772)	<i>Dump Truck</i> (13,6 ton)
Jumlah <i>Fly Ash</i> yang dikirim ke TPS	Triangular	TRIA(1,5, 2,77, 3,5)	<i>Dump Truck</i> (13,6 ton)
Waktu Proses <i>Loading</i> di Boiler (Silo <i>Fly Ash</i> )	Normal	NORM(2,58, 0,34)	Menit
Waktu Proses <i>Unloading</i> di TPS	Beta	2,13 + 1,87 * BETA(1,18, 1,04)	Menit
Waktu Proses <i>Loading</i> di TPS	Beta	5 + 1,65 * BETA(1,08, 1,23)	Menit
Waktu Proses <i>Unloading</i> di Dalam Kapal	Beta	4 + 2,74 * BETA(0,919, 0,982)	Menit
Jumlah <i>Fly Ash</i> yang Dikirim ke Kapal Tongkang	Triangular	TRIA(534, 559, 571)	<i>Dump Truck</i> (13,6 ton)
Waktu Proses Perataan <i>Fly Ash</i> di Kapal Tongkang	Uniform	UNIF(4, 6)	Jam

 : Hasil *Generate Random Number*

### 4.3 Pembuatan Model Konseptual

Pembuatan model konseptual dalam penelitian ini bertujuan untuk merepresentasikan sistem pengapalan *fly ash* secara aktual. Selain itu model konseptual juga menggambarkan alur serta tahapan yang dilalui pada sistem amatan. Model konseptual mencakup mulai dari proses produksi *fly ash* hingga proses pengapalan di kapal tongkang.

Pada model konseptual ini, akan menggambarkan alur *fly ash* yang berawal dari hasil pembakaran *boiler* batu bara yang kemudian ditampung terlebih dahulu di silo *fly ash*. Terdapat kondisi tertentu di mana *fly ash* harus dilakukan *dispose*. Kondisi tersebut ialah ketika *boiler* sedang dalam keadaan *maintenance*. Setelah *fly ash* tersimpan dalam silo, *dump truck* kemudian akan menuju ke *boiler* untuk mengambil *fly ash* yang sudah berada dalam silo untuk kemudian dibawa ke TPS. Dalam proses pemindahan *fly ash* dari *boiler* ke TPS terdapat proses *loading* di *boiler* dan *unloading* di TPS. Proses tersebut dilakukan secara iteratif hingga terjadi siklus pengapalan pertama yang dilakukan setiap minggu pertama di bulan Mei atau hingga kapasitas TPS telah mencapai batas atas. Setelah salah satu dari kedua kondisi tersebut terjadi, selanjutnya melakukan *request* kapal tongkang untuk datang. Setelah kapal tongkang datang, *dump truck* akan mengangkut *fly ash* untuk kemudian dibawa ke dalam kapal tongkang. Proses pemindahan *fly ash* dari TPS ke kapal tongkang terdapat proses *loading* di TPS dan *unloading* di kapal tongkang. Proses tersebut dilakukan secara berulang hingga kapal tongkang penuh. Dalam proses tersebut, terdapat kemungkinan *delay* karena kapal sedang tidak sejajar dengan dermaga, sehingga kemungkinan terjadinya *delay* tersebut ditentukan oleh *decide* terlebih dahulu. Setelah kapal tongkang penuh, dilakukan rekap waktu hujan selama pengapalan terjadi. Setelah proses tersebut, tahap terakhir ialah melakukan proses perataan *fly ash* di kapal tongkang dengan bantuan *wheel loader* dan ekskavator. Seusai proses pemindahan yang secara iteratif dilakukan oleh *dump truck* di TPS maupun di Pelabuhan, selanjutnya masing-masing *dump truck* akan *standby* di stasiun *dump truck*. Penjelasan lebih detail mengenai model konseptual tersebut akan ditampilkan melalui *flowchart* sebagai berikut.



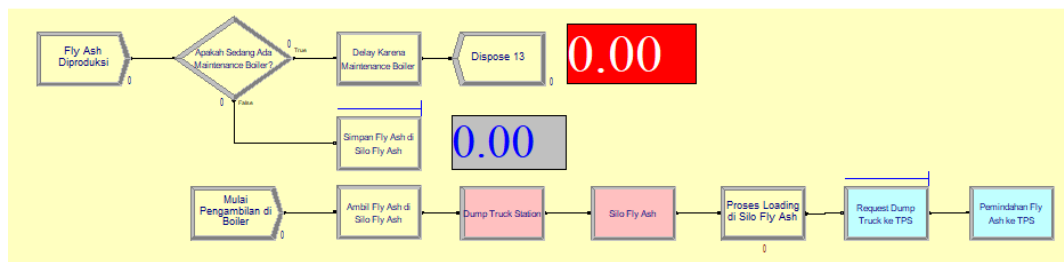
Gambar 4.1 Flowchart Model Konseptual Pengapalan Fly Ash

Model konseptual pada penelitian ini telah dilakukan validasi dengan menggunakan metode *expert intuition*. Metode *expert intuition* merupakan salah satu metode untuk memeriksa model dengan cara memberikan kesempatan kepada para ahli (*expert*) dan/atau orang yang berpengalaman dalam bidang terkait untuk memeriksa kesesuaian alur dari sebuah model. *Expert* dalam penelitian ini ialah karyawan serta tenaga ahli yang berada di bagian *boiler* batu bara PT Pupuk Kaltim yang terlibat langsung dalam proses pengawasan pengapalan *fly ash*.

#### 4.4 Pembuatan Model Simulasi

Pembuatan model simulasi pada kondisi semula dibuat dengan menggunakan *software* Arena versi 14.00. Model simulasi dibuat berdasarkan dengan alur proses yang ada pada model konseptual. Namun, pada model simulasi akan dipetakan menjadi beberapa blok simulasi sesuai dengan lokasi yang ada pada kondisi riil. Lokasi-lokasi tersebut ialah, *boiler* batu bara, Tempat Penampungan Sementara (TPS), dan Pelabuhan tempat kapal tongkang bersandar. *Replication length* yang digunakan dalam simulasi ini ialah selama 365 hari (satu tahun).

### Boiler Batu Bara



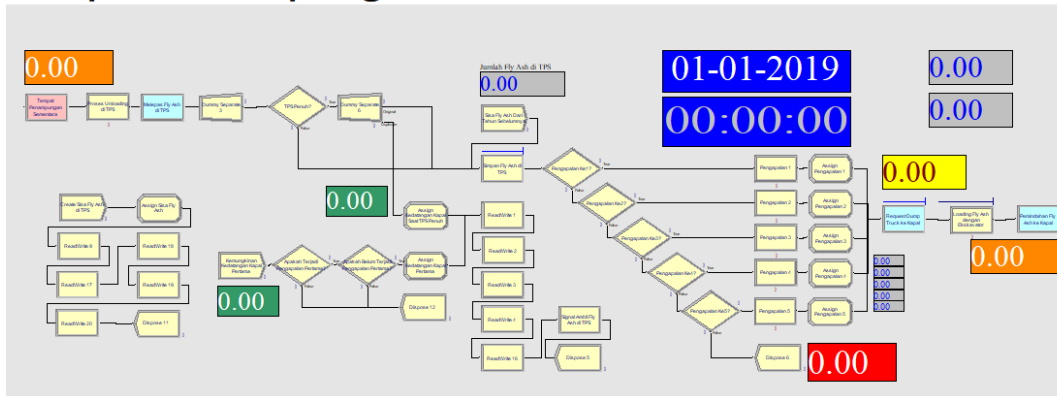
Gambar 4.2 Blok Simulasi pada *Boiler* Batu Bara

Kedatangan *fly ash* yang telah diproduksi dari *boiler* konstan terjadi setiap 24 jam. Setiap satu entitas yang dihasilkan pada modul *Create* merepresentasikan *fly ash* yang setara dengan satu unit muatan *dump truck* atau setara dengan 13,6 ton *fly ash*. Sedangkan kedatangan untuk pengambilan *fly ash* di *boiler* dilakukan setiap satu *shift* kerja, yaitu setiap 8 jam sekali dan kedatangan pertama terjadi pada 24 jam pertama. Sebelum *fly ash* yang diproduksi disimpan di dalam silo, terdapat kemungkinan *boiler* sedang dalam kondisi *maintenance*, sehingga proses produksi *fly ash* akan berhenti sementara. *Maintenance* terjadi bila *boiler* telah beroperasi selama 8.000 jam tanpa henti, oleh karena itu dalam blok simulasi ini modul *decide* akan menentukan apakah *boiler* sedang dalam *maintenance* atau tidak. Dalam model simulasi ini, proses *maintenance* memakan waktu hingga 21 hari sesuai dengan kondisi aktualnya.

Setelah *fly ash* tersimpan dalam silo, selanjutnya proses pengambilan *fly ash* di silo *fly ash* yang terletak di *boiler* batu bara dengan menggunakan modul *pickup*. Proses *loading* di silo *fly ash* tersebut dilakukan tanpa menggunakan bantuan *resource* apa pun, karena *dump truck* langsung menerima muatan *fly ash* yang

ditumpahkan dari silo. Jumlah *fly ash* yang diproduksi, jumlah pengambilan *fly ash* setiap *shift*, dan waktu proses *loading* di silo *fly ash* didasarkan oleh hasil *fitting distribution* pada Tabel 4.10 yang telah diperoleh di bagian pengolahan data. Pada blok ini, proses pemindahan *fly ash* dari *boiler* hingga ke TPS dilakukan dengan menggunakan modul *Transport* dan *Station* dengan jumlah *dump truck* sebanyak 4 unit serta jarak antar stasiun yang telah diatur sesuai dengan Tabel 4.6.

## Tempat Penampungan Sementara (TPS)



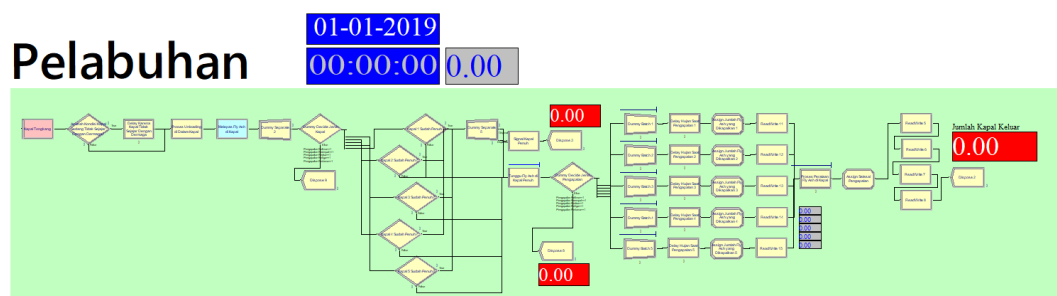
**Gambar 4.3 Blok Simulasi pada Tempat Penampungan Sementara (TPS)**

*Fly ash* dari *boiler* selanjutnya dipindahkan ke TPS untuk ditampung sementara di modul *hold* selagi menunggu kedatangan kapal tongkang. Adapun dalam modul *hold* tersebut, terdapat penambahan sisa *fly ash* yang terakumulasi pada tahun sebelumnya. Dalam model simulasi ini, sisa *fly ash* dari tahun sebelumnya diasumsikan sebesar 1.103 entitas atau setara dengan 15.000,8 ton. Nilai tersebut didapatkan dari hasil kalkulasi estimasi *rate* produksi *fly ash*. Hasil estimasi diperoleh dengan melakukan perkalian konsumsi batu bara (80 ton/jam) dengan nilai *ash content* yang berkisar 4-6%, lalu dikalikan dengan satuan waktu yang ingin ditentukan.

Pada blok ini, kedatangan kapal tongkang untuk membawa *fly ash* dari PT Pupuk Kaltim ditentukan oleh dua kondisi. Kondisi pertama ialah ketika *fly ash* yang disimpan di TPS telah mencapai siklus satu tahun, maka proses pengapalan harus segera dilakukan. Karena berdasarkan regulasi yang telah ditetapkan oleh pemerintah melalui PP No. 101 Tahun 2014, masa penyimpanan limbah B3 yang berupa *fly ash* paling lama disimpan selama satu tahun. Berdasarkan data historis perusahaan, siklus tahunan *fly ash* dilakukan setiap minggu pertama di bulan Mei, maka pada model simulasi ini pengapalan pertama dimulai setiap minggu pertama

di bulan Mei. Kondisi kedua ialah ketika kapasitas TPS telah mencapai batas atas. Pada model simulasi ini, batas atas yang ditentukan ialah sebanyak 1.000 entitas atau setara dengan 13.600 ton *fly ash*. Nilai tersebut juga didapatkan berdasarkan pada hasil kalkulasi estimasi *rate* produksi *fly ash* yang telah disinggung pada paragraf sebelumnya.

Pada blok simulasi ini, setiap pengapalan dibagi sesuai dengan urutan waktu terjadinya pengapalan. Pembagian ini dilakukan dengan menggunakan modul *Decide*. Hal tersebut dilakukan untuk memudahkan proses pencatatan data waktu serta jumlah muatan pada masing-masing pengapalan *fly ash*. Proses *record* data tersebut dilakukan dengan menggunakan modul *Assign* serta *ReadWrite*. Proses selanjutnya ialah proses *loading fly ash* di TPS menggunakan *resource* berupa ekskavator yang berjumlah dua unit. Sama halnya dengan blok simulasi sebelumnya, proses pemindahan *fly ash* dari TPS ke kapal tongkang menggunakan modul *Transport* dan *Station*.



**Gambar 4.4 Blok Simulasi pada Pelabuhan**

Saat terjadinya proses pengapalan, maka *fly ash* dari TPS akan dipindahkan ke dalam kapal tongkang dengan menggunakan *dump truck*. Pada proses tersebut, terdapat beberapa faktor penghambat proses pengapalan yang berupa tidak seajarnya kapal dengan dermaga karena adanya pasang surut air laut, serta adanya faktor cuaca seperti hujan deras. Faktor penghambat tersebut juga dimodelkan dalam model simulasi ini dengan menggunakan modul *delay*.

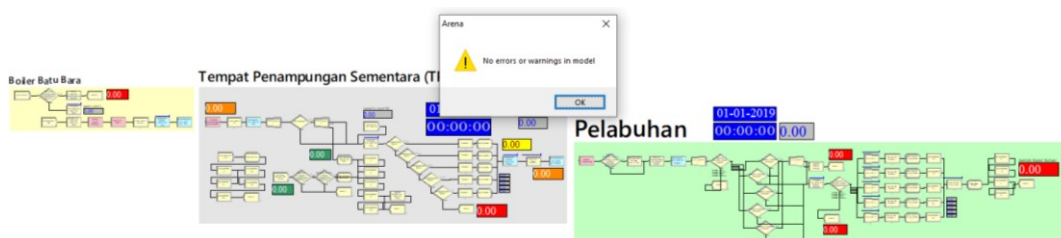
Hujan deras dalam model simulasi ini dimasukkan ke dalam modul *delay* berdasarkan dari data historis cuaca yang diperoleh dari *website* World Weather Online. Sumber ini memiliki kredibilitas yang tinggi karena telah menjalin kerja sama dengan beberapa perusahaan ternama, seperti Volvo, Qatar Airways, Coca-Cola, dan perusahaan ternama lainnya. Untuk memperoleh data dari portal cuaca

tersebut, pencatatan untuk *delay* hujan dilakukan dengan mencatat durasi hujan yang terjadi selama pengapalan sesuai dengan tanggal pengapalan pada data historis. Dari data tersebut selanjutnya dilakukan *fitting distribution* untuk kemudian didapatkan ekspresi distribusi data tersebut. Kemudian data tersebut dimasukkan ke dalam modul *delay*. Sedangkan, khusus untuk tidak seajarnya kapal dengan dermaga, modul *delay* didahului dengan modul *decide* yang memiliki peluang sebesar 1,41% sesuai dengan estimasi historis pengapalan. Selain itu durasi *delay* ditentukan menggunakan distribusi *uniform* dengan ekspresi UNIF(8, 16) dalam satuan waktu jam.

Pada blok simulasi ini, terdapat proses *unloading* muatan *fly ash* di dalam kapal tongkang tanpa menggunakan *resource* apa pun, karena *dump truck* akan langsung mencurahkan muatan *fly ash* langsung ke badan kapal. Setelah muatan kapal terpenuhi, maka sinyal akan diberikan dengan menggunakan modul *signal* untuk memasuki tahapan perataan muatan kapal. Proses perataan seluruh muatan kapal akan dilakukan dengan menggunakan *resource* berupa ekskavator dan *wheel loader*, yang masing-masing *resource* berjumlah satu unit. Ketika proses perataan selesai, menandakan bahwa proses pengapalan telah selesai dilakukan.

#### 4.5 Verifikasi Model Simulasi

Verifikasi model simulasi dilakukan dengan mengidentifikasi adanya *syntax error* dan *semantic error*. *Syntax error* diidentifikasi dengan memanfaatkan fitur *check model* pada *software* Arena dengan cara menekan tombol F4 pada *keyboard* saat sedang membuka *software* Arena. Model akan terverifikasi bila terdapat pemberitahuan *pop-up message* seperti gambar berikut.

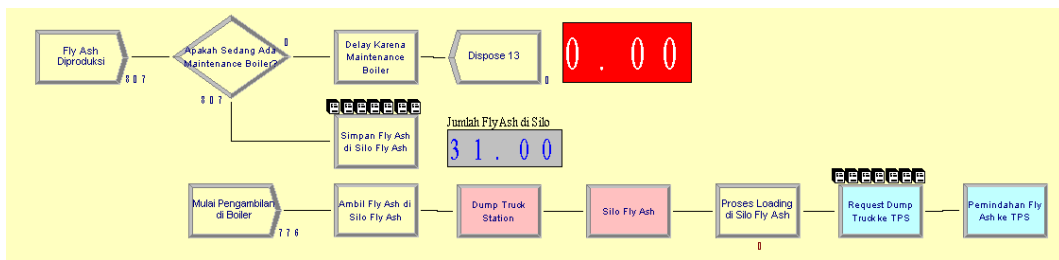


**Gambar 4.5 Hasil Check Model Simulasi Pengapalan Fly Ash**

Berdasarkan gambar 4.5 dapat diketahui bahwa model simulasi tidak mengalami *error* pada penamaan modul maupun pada data yang telah dimasukkan

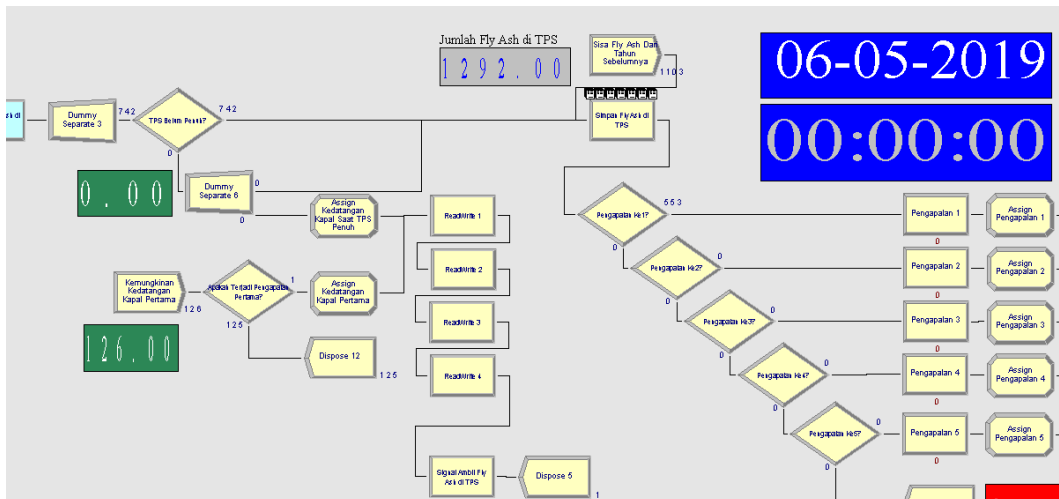
ke dalam model simulasi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa model simulasi telah terverifikasi dari *syntax error*. Proses verifikasi selanjutnya ialah dengan mengidentifikasi adanya *semantic error*.

*Semantic error* diidentifikasi dengan cara memeriksa alur pergerakan setiap entitas yang dibuat dalam model simulasi. Jika alur model sudah sesuai dengan alur logika yang seharusnya, maka langkah selanjutnya ialah memeriksa logika antar blok simulasi. Verifikasi dilakukan dengan melihat animasi pada *software* Arena.



**Gambar 4.6 Animasi Silo yang Terisi *Fly Ash***

Gambar 4.6 menggambarkan animasi silo *fly ash* yang dipenuhi oleh muatan *fly ash* setiap harinya. Selain itu variabel jumlah kapasitas silo juga ditampilkan sebagai indikator kapasitas silo.

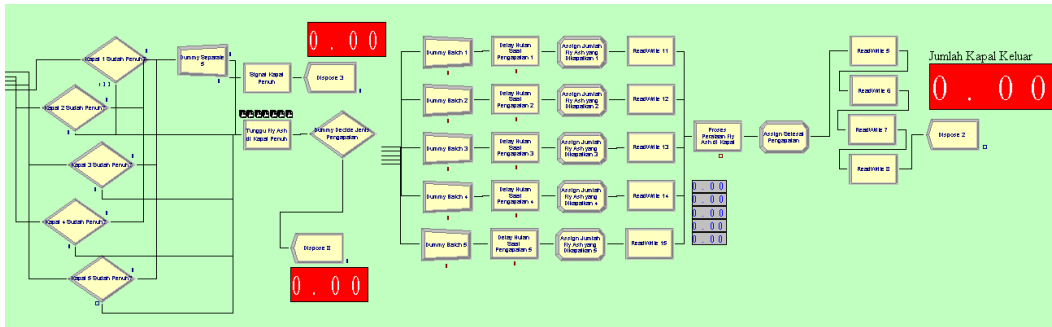


**Gambar 4.7 Animasi TPS yang Terisi Muatan *Fly Ash***

Gambar 4.7 menunjukkan kapasitas TPS yang menerima muatan *fly ash* dari *boiler* batu bara. Kapasitas TPS akan terus terisi hingga menyentuh batas atas kapasitas dan akan berkurang sesuai dengan jumlah muatan *fly ash* yang akan dikapalkan. Variabel jumlah *fly ash* di TPS juga menunjukkan nilai kapasitas TPS



saat simulasi berjalan. Animasi variabel kapasitas TPS akan terus bertambah hingga replikasi berikutnya mulai berjalan.



**Gambar 4.8 Animasi Proses Pengapalan**

Gambar 4.8 menggambarkan kondisi kapal yang akan dipenuhi oleh muatan *fly ash*. Setelah kapal telah mencapai jumlah muatan yang akan dikapalkan, selanjutnya entitas akan bergerak hingga menuju modul *dispose*, yang menandakan selesainya proses pengapalan dan akan menambah nilai pada variabel jumlah kapal keluar.

#### 4.6 Perhitungan Jumlah Replikasi

Jumlah replikasi ditentukan untuk memastikan bahwa *output* yang diperoleh dari model simulasi dapat cukup mewakili kondisi riil. Berikut merupakan rumus yang digunakan untuk menentukan jumlah replikasi yang mencukupi.

$$n' = \left[ \frac{(Z_{\alpha/2}) \times s}{e} \right]^2$$

Keterangan :

$n'$  = Jumlah replikasi yang dibutuhkan

$Z$  = Nilai  $z$

$\alpha$  = *Significance level*

$s$  = Standar deviasi

$e$  = *Half width* yang diharapkan (*absolute error*)

Sedangkan nilai *half width* untuk *running* simulasi pertama diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

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

Keterangan :

*hw* = *Half width*

*t* = Nilai *t-table*

*n* = Jumlah replikasi awal

$\alpha$  = *Significance level*

*s* = Standar deviasi

Simulasi pertama dijalankan sesuai dengan kondisi semula, yaitu dengan *resource dump truck* sebanyak 4 unit. Replikasi awal yang akan digunakan ialah sebanyak 10 kali atau  $n = 10$  replikasi. Berikut merupakan hasil *running* simulasi pertama.

**Tabel 4.11 Hasil *Running* Simulasi Pertama**

Replikasi	Rata-rata Waktu Pengapalan (Hari)
Replikasi 1	6,24
Replikasi 2	5,78
Replikasi 3	6,29
Replikasi 4	5,91
Replikasi 5	6,31
Replikasi 6	5,93
Replikasi 7	6,02
Replikasi 8	6,04
Replikasi 9	5,90
Replikasi 10	5,73
<b>Rata-rata</b>	<b>6,02</b>
<b>Standar Deviasi</b>	<b>0,206</b>

Berdasarkan data pada tabel 4.11, langkah selanjutnya ialah menemukan nilai *half width*. *t-table* diperoleh dengan probabilitas *alpha* 5% dan *degree of freedom*  $n-1$ . Berikut merupakan rumus beserta dengan perhitungan nilai *half width* (*hw*) pada *running* simulasi pertama.

$$hw = \frac{(t_{n-1, \alpha/2}) \times s}{\sqrt{n}} = \frac{(t_{9, 0,05/2}) \times 0,206}{\sqrt{10}} = 0,175$$

Setelah nilai  $hw$  diperoleh, berikutnya nilai  $hw$  akan dibandingkan dengan nilai  $hw$  yang diharapkan ( $e$ ). Pada penelitian ini  $hw$  yang didapatkan dari replikasi awal ialah sebesar 0,175, nilai tersebut lebih kecil dari  $hw$  yang diharapkan, yaitu senilai 0,2. Sehingga dari perbandingan tersebut, dapat dikatakan replikasi sebanyak 10 kali dianggap cukup, dan tidak perlu dilakukan perhitungan replikasi kembali dengan menggunakan formulasi  $n'$ .

#### 4.7 Validasi Model Simulasi

Validasi model simulasi dilakukan untuk mengetahui apakah model yang telah dibuat dapat merepresentasikan kondisi nyata sistem pengapalan *fly ash*. Pada bagian ini, validasi model simulasi dilakukan dengan membandingkan *output* simulasi dengan data historis pengapalan yang telah terjadi di PT Pupuk Kaltim. Metode yang digunakan dalam memvalidasi model simulasi ialah dengan menggunakan *student's t test* dengan membandingkan parameter yang berupa rata-rata waktu pengapalan *fly ash*. Berikut merupakan hipotesis yang digunakan dalam validasi model simulasi.

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_A : \mu_1 \neq \mu_2$$

Berikut merupakan tabel perbandingan data rata-rata waktu pengapalan pada hasil simulasi dengan kondisi riil perusahaan.

**Tabel 4.12 Perbandingan Rata-rata Waktu Pengapalan**

Replikasi	Rata-rata Waktu Pengapalan Kondisi Riil (Hari)	Rata-rata Waktu Pengapalan Hasil Simulasi (Hari)
Replikasi 1	5,82	6,24
Replikasi 2	5,96	5,78
Replikasi 3	-	6,29
Replikasi 4	-	5,91
Replikasi 5	-	6,31
Replikasi 6	-	5,93
Replikasi 7	-	6,02
Replikasi 8	-	6,04

Replikasi	Rata-rata Waktu Pengapalan Kondisi Riil (Hari)	Rata-rata Waktu Pengapalan Hasil Simulasi (Hari)
Replikasi 9	-	5,90
Replikasi 10	-	5,73
<b>Rata-rata</b>	<b>5,89</b>	<b>6,02</b>
<b>Standar Deviasi</b>	<b>0,098</b>	<b>0,206</b>

Dari data yang telah diperoleh, langkah selanjutnya ialah menghitung nilai *pooled standard deviation* dengan rumus dan perhitungan sebagai berikut.

$$s_p = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} = \sqrt{\frac{(2 - 1)0,098^2 + (10 - 1)0,206^2}{2 + 10 - 2}} = 2,863$$

Dengan menggunakan *level of significance* ( $\alpha$ ) sebesar 5% dan  $df = 13$ , maka dengan formulasi T.INV.2T dapat diperoleh nilai *t critical* sebesar 2,228. Karena *student's t test* merupakan uji *two tails*, maka dapat disimpulkan nilai *t critical* ialah  $\pm 2,228$ . Tahap selanjutnya ialah mencari nilai *t test* menggunakan rumus sebagai berikut. Dalam perhitungan ini nilai selisih antara  $\mu_1$  dan  $\mu_2$  adalah 0 (Groebner, et al., 2014).

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{s_p \sqrt{\frac{1}{n_1} - \frac{1}{n_2}}} = \frac{(5,89 - 6,02) - 0}{2,863 \sqrt{\frac{1}{2} - \frac{1}{10}}} = -0,0554$$

Berdasarkan hasil perhitungan *t critical* dan *t stat* dapat diketahui bahwa nilai *t stat* berada dalam rentang nilai *t critical* ( $-2,228 < -0,0554 < 2,228$ ). Maka dapat dinyatakan bahwa keputusan yang diambil ialah tidak tolak  $H_0$ , sehingga dapat disimpulkan bahwa model simulasi dianggap valid.

Selain menggunakan perhitungan manual, *student's t test* juga dilakukan menggunakan bantuan Microsoft Excel. *Confidence interval* yang digunakan ialah 95% ( $\alpha=0,05$ ) dengan hasil perhitungan Excel sebagai berikut.

**Tabel 4.13 Hasil *Student's t test* dengan Menggunakan Excel**

<i>t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances</i>	Kondisi Nyata	Simulasi
<i>Mean</i>	5,8930	6,0159
<i>Observations</i>	2	10
<i>Degree of freedom (df)</i>	10	
<i>t Stat</i>	-0,8025	
<i>t Critical two-tail</i>	± 2,228	
Keputusan	Tidak tolak H <sub>0</sub>	
Kesimpulan	Model dinyatakan valid karena <i>t stat</i> berada dalam rentang <i>t Critical two-tail</i> (-2,228 < -0,8025 < 2,228)	

Berdasarkan tabel 4.13 dapat diketahui bahwa nilai *t stat* berada dalam rentang *t critical two-tail* (-2,228 < -0,8025 < 2,228). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa keputusan yang diambil ialah tidak tolak H<sub>0</sub>, sehingga model simulasi dapat dinyatakan valid.

## BAB V

### PENGEMBANGAN SKENARIO DAN HASIL SIMULASI

Pada bab ini akan ditampilkan mengenai proses pengembangan skenario agar dapat memenuhi tujuan dari penelitian serta menampilkan hasil yang didapatkan dari *running* simulasi.

#### 5.1 Pengembangan Skenario Perbaikan

Skenario perbaikan disusun berdasarkan variabel apa saja yang dapat memengaruhi lama durasi pengapalan serta variabel apa saja yang memiliki kemungkinan untuk meningkatkan efisiensi waktu proses pengapalan *fly ash*. Berdasarkan pengembangan skenario pada subbab 3.6, dapat dilakukan penjabaran untuk masing-masing skenario. Berikut merupakan skenario perbaikan yang akan disimulasikan dalam model.

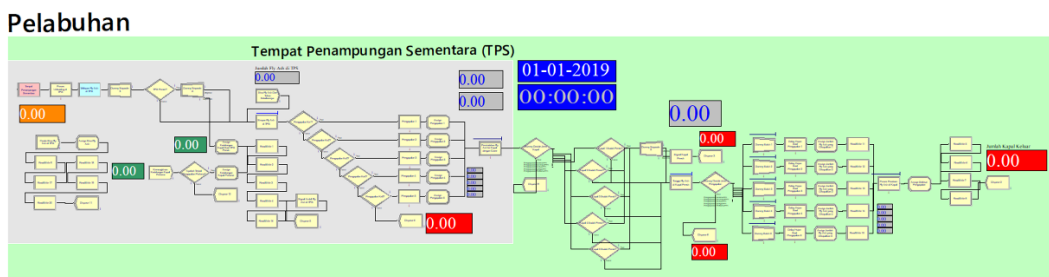
Tabel 5.1 Skenario Perbaikan

Kondisi	<i>Dump Truck</i>	Pemindahan TPS ke Pelabuhan	Penambahan <i>Crane</i> (Jenis – Kapasitas per <i>Cycle</i> )
Kondisi Semula	4	Tidak	Tidak
Skenario 1	5	Tidak	Tidak
Skenario 2	6	Tidak	Tidak
Skenario 3	7	Tidak	Tidak
Skenario 4	4	Iya	LHM 120 - 13,9 Ton
Skenario 5	5	Iya	LHM 120 - 13,9 Ton
Skenario 6	6	Iya	LHM 120 - 13,9 Ton
Skenario 7	7	Iya	LHM 120 - 13,9 Ton
Skenario 8	4	Iya	LHM 180 - 28,6 Ton
Skenario 9	5	Iya	LHM 180 - 28,6 Ton
Skenario 10	6	Iya	LHM 180 - 28,6 Ton
Skenario 11	7	Iya	LHM 180 - 28,6 Ton

Berdasarkan hasil simulasi pada kondisi semula, didapatkan bahwa *resource* yang paling memengaruhi waktu pengapalan ialah *dump truck* karena dapat memberikan waktu tunggu *resource* dalam pengapalan paling lama bila dibanding dengan *resource* lain seperti ekskavator dan *wheel loader*, dengan total waktu tunggu hingga 65 jam. Oleh karena itu *resource* pada kondisi semula yang akan

dilakukan eksperimen ialah *dump truck*, karena *resource* tersebut memberikan dampak signifikan dalam lama durasi proses pengapalan *fly ash*.

Berdasarkan jenis dan kapasitas *crane* yang ditentukan dalam skenario perbaikan, dalam model simulasi ini, LHM 120 dapat mengangkat hingga satu entitas atau setara dengan 13,6 ton *fly ash*, sedangkan LHM 180 dapat mengangkat hingga dua entitas atau setara dengan 27,2 ton muatan *fly ash*. Dengan adanya pemindahan TPS ke pelabuhan serta penambahan *resource* berupa *crane*, maka model simulasi akan disesuaikan terlebih dahulu, agar dapat menggambarkan proses pengangkutan *fly ash* menggunakan *crane*. Berikut merupakan model simulasi dengan adanya penambahan *crane*.



**Gambar 4.9 Model Simulasi Penambahan Resource Berupa Crane**

Pemindahan TPS di pelabuhan serta penambahan *crane* akan melenyapkan proses pengapalan yang semula menggunakan *dump truck*, termasuk proses *loading* di TPS, perjalanan menuju pelabuhan, *unloading* di kapal tongkang, dan juga faktor penghambat dalam pengapalan, yaitu tidak seajarnya kapal dengan dermaga juga akan menghilang. Waktu proses pemindahan muatan *fly ash* dari TPS ke dalam kapal akan bersumber pada spesifikasi *turnover rate* masing-masing jenis *crane*. LHM 120 memiliki waktu *turnover* selama 4,58 menit. Sedangkan LHM 180 memiliki waktu *turnover* selama 4,8 menit.

## 5.2 Running Experiment

Berdasarkan pengembangan skenario yang telah dijabarkan pada subbab sebelumnya, langkah selanjutnya ialah menjalankan simulasi sesuai dengan pengembangan skenario yang telah dirancang.

### 5.2.1 Skenario 1

Skenario ini menggunakan *resource dump truck* sebanyak 5 unit tanpa adanya tambahan *resource* lainnya. Berikut merupakan hasil *running* simulasi untuk skenario 1.

**Tabel 5.2 Hasil *Running* Simulasi Skenario 1**

Replikasi Skenario 1	Rata-rata Waktu Pengapalan (Hari)
Replikasi 1	4,87
Replikasi 2	5,05
Replikasi 3	4,95
Replikasi 4	5,11
Replikasi 5	4,89
Replikasi 6	5,26
Replikasi 7	4,87
Replikasi 8	5,11
Replikasi 9	4,80
Replikasi 10	5,19
<b>Rata-rata</b>	<b>5,01</b>

Berdasarkan 10 replikasi yang telah dilakukan, dapat diperoleh rata-rata waktu pengapalan selama 5,01 hari. Berikut merupakan informasi mendetail mengenai *output running* simulasi skenario 1.

**Tabel 5.3 Informasi Detail *Output* Skenario 1**

Replikasi Skenario 1	Muatan Maksimum TPS (Ton)	<i>Dump Truck Queue</i> (Jam)	Total Waktu <i>Delay</i> Karena Hujan (Jam)	Total Waktu <i>Delay</i> Karena Kapal Tidak Sejajar (Jam)
Replikasi 1	25.582	52	27	376
Replikasi 2	25.323	52	33	387
Replikasi 3	25.364	53	26	452
Replikasi 4	25.459	54	27	467
Replikasi 5	25.201	51	22	377
Replikasi 6	25.364	54	32	538
Replikasi 7	25.228	53	12	447
Replikasi 8	25.282	53	27	507
Replikasi 9	25.065	52	12	400
Replikasi 10	25.214	55	33	503
<b>Rata-rata</b>		<b>53</b>	<b>25</b>	<b>445</b>



Berdasarkan data tersebut, dapat diperoleh nilai muatan maksimum yang ada dalam TPS ialah 25.582 ton. Sedangkan rata-rata waktu *dump truck* menunggu ialah 53 jam. Total waktu *delay* karena hujan serta *delay* karena kapal tidak sejajar secara berurutan adalah 25 dan 445 jam.

### 5.2.2 Skenario 2

Skenario ini menggunakan *resource dump truck* sebanyak 6 unit tanpa adanya tambahan *resource* lainnya. Berikut merupakan hasil *running* simulasi untuk skenario 2.

**Tabel 5.4 Hasil *Running* Simulasi Skenario 2**

Replikasi Skenario 2	Rata-rata Waktu Pengapalan (Hari)
Replikasi 1	4,09
Replikasi 2	4,37
Replikasi 3	4,24
Replikasi 4	4,51
Replikasi 5	4,44
Replikasi 6	4,40
Replikasi 7	4,18
Replikasi 8	4,18
Replikasi 9	4,40
Replikasi 10	4,30
<b>Rata-rata</b>	<b>4,31</b>

Berdasarkan 10 replikasi yang telah dilakukan, dapat diperoleh rata-rata waktu pengapalan selama 4,31 hari. Berikut merupakan informasi mendetail mengenai *output running* simulasi skenario 2.

**Tabel 5.5 Informasi Detail *Output* Skenario 2**

Replikasi Skenario 2	Muatan Maksimum TPS (Ton)	<i>Dump Truck Queue</i> (Jam)	Total Waktu <i>Delay</i> Karena Hujan (Jam)	Total Waktu <i>Delay</i> Karena Kapal Tidak Sejajar (Jam)
Replikasi 1	24.902	41	20	291
Replikasi 2	25.201	42	25	390
Replikasi 3	25.595	45	17	470
Replikasi 4	25.310	43	29	470
Replikasi 5	25.106	46	21	581
Replikasi 6	25.174	44	26	495
Replikasi 7	25.065	43	29	419
Replikasi 8	25.269	43	31	361

Replikasi Skenario 2	Muatan Maksimum TPS (Ton)	Dump Truck Queue (Jam)	Total Waktu Delay Karena Hujan (Jam)	Total Waktu Delay Karena Kapal Tidak Seajar (Jam)
Replikasi 9	25.146	44	27	436
Replikasi 10	25.378	44	25	505
<b>Rata-rata</b>		<b>43</b>	<b>25</b>	<b>442</b>

Berdasarkan data tersebut, dapat diperoleh nilai muatan maksimum yang ada dalam TPS ialah 25.595 ton. Sedangkan rata-rata waktu *dump truck* menunggu ialah 43 jam. Total waktu *delay* karena hujan serta *delay* karena kapal tidak seajar secara berurutan adalah 25 dan 442 jam.

### 5.2.3 Skenario 3

Skenario ini menggunakan *resource dump truck* sebanyak 7 unit tanpa adanya tambahan *resource* lainnya. Berikut merupakan hasil *running* simulasi untuk skenario 3.

**Tabel 5.6 Hasil *Running* Simulasi Skenario 3**

Replikasi Skenario 3	Rata-rata Waktu Pengapalan (Hari)
Replikasi 1	3,82
Replikasi 2	4,00
Replikasi 3	3,77
Replikasi 4	3,71
Replikasi 5	3,95
Replikasi 6	3,60
Replikasi 7	3,81
Replikasi 8	3,53
Replikasi 9	3,92
Replikasi 10	3,96
<b>Rata-rata</b>	<b>3,81</b>

Berdasarkan 10 replikasi yang telah dilakukan, dapat diperoleh waktu pengapalan selama 3,81 hari. Berikut merupakan informasi mendetail mengenai *output running* simulasi skenario 3.

**Tabel 5.7 Informasi Detail *Output* Skenario 3**

Replikasi Skenario 3	Muatan Maksimum TPS (Ton)	<i>Dump Truck Queue</i> (Jam)	Total Waktu <i>Delay</i> Karena Hujan (Jam)	Total Waktu <i>Delay</i> Karena Kapal Tidak Sejajar (Jam)
Replikasi 1	24.929	38	33	505
Replikasi 2	25.078	38	26	479
Replikasi 3	25.214	38	19	504
Replikasi 4	25.391	37	15	481
Replikasi 5	25.242	37	30	422
Replikasi 6	25.323	35	30	288
Replikasi 7	25.255	37	23	451
Replikasi 8	25.418	37	16	365
Replikasi 9	25.541	38	26	504
Replikasi 10	25.582	36	29	501
<b>Rata-rata</b>		<b>37</b>	<b>25</b>	<b>450</b>

Berdasarkan data tersebut, dapat diperoleh nilai muatan maksimum yang ada dalam TPS ialah 25.582 ton. Sedangkan rata-rata waktu *dump truck* menunggu ialah 37 jam. Total waktu *delay* karena hujan serta *delay* karena kapal tidak sejajar secara berurutan adalah 25 dan 450 jam.

#### 5.2.4 Skenario 4

Skenario ini menggunakan *resource dump truck* sebanyak 4 unit dengan tambahan *resource* berupa *crane* LHM 120 serta pemindahan lokasi TPS ke daerah pelabuhan. Berikut merupakan hasil *running* simulasi untuk skenario 4.

**Tabel 5.8 Hasil *Running* Simulasi Skenario 4**

Replikasi Skenario 4	Rata-rata Waktu Pengapalan (Hari)
Replikasi 1	2,10
Replikasi 2	2,25
Replikasi 3	2,26
Replikasi 4	2,11
Replikasi 5	2,16
Replikasi 6	2,32
Replikasi 7	2,35
Replikasi 8	2,24
Replikasi 9	2,14
Replikasi 10	2,14
<b>Rata-rata</b>	<b>2,21</b>

Berdasarkan 10 replikasi yang telah dilakukan, dapat diperoleh rata-rata waktu pengapalan selama 2,21 hari. Berikut merupakan informasi mendetail mengenai *output running* simulasi skenario 4.

**Tabel 5.9 Informasi Detail Output Skenario 4**

Replikasi Skenario 4	Muatan Maksimum TPS (Ton)	Dump Truck Queue (Jam)	Total Waktu Delay Karena Hujan (Jam)	Total Waktu Delay Karena Kapal Tidak Seajar (Jam)
Replikasi 1	25.160	0	14	0
Replikasi 2	25.391	0	32	0
Replikasi 3	25.418	0	31	0
Replikasi 4	25.418	0	16	0
Replikasi 5	25.350	0	25	0
Replikasi 6	25.146	0	38	0
Replikasi 7	25.214	0	44	0
Replikasi 8	25.337	0	27	0
Replikasi 9	25.078	0	18	0
Replikasi 10	25.391	0	17	0
<b>Rata-rata</b>		<b>0</b>	<b>26</b>	<b>0</b>

Berdasarkan data tersebut, dapat diperoleh nilai muatan maksimum yang ada dalam TPS ialah 25.418 ton. Sedangkan rata-rata waktu *dump truck* menunggu ialah 0 jam. Total waktu *delay* karena hujan serta *delay* karena kapal tidak seajar secara berurutan adalah 26 dan 0 jam.

### 5.2.5 Skenario 5

Skenario ini menggunakan *resource dump truck* sebanyak 5 unit dengan tambahan *resource* berupa *crane* LHM 120 serta pemindahan lokasi TPS ke daerah pelabuhan. Berikut merupakan hasil *running* simulasi untuk skenario 5.

**Tabel 5.10 Hasil Running Simulasi Skenario 5**

Replikasi Skenario 5	Rata-rata Waktu Pengapalan (Hari)
Replikasi 1	2,34
Replikasi 2	2,19
Replikasi 3	2,17
Replikasi 4	2,14
Replikasi 5	2,11
Replikasi 6	2,24
Replikasi 7	2,16
Replikasi 8	2,24

Replikasi Skenario 5	Rata-rata Waktu Pengapalan (Hari)
Replikasi 9	2,16
Replikasi 10	2,15
<b>Rata-rata</b>	<b>2,19</b>

Berdasarkan 10 replikasi yang telah dilakukan, dapat diperoleh rata-rata waktu pengapalan selama 2,19 hari. Berikut merupakan informasi mendetail mengenai *output running* simulasi skenario 5.

**Tabel 5.11 Informasi Detail *Output* Skenario 5**

Replikasi Skenario 5	Muatan Maksimum TPS (Ton)	<i>Dump Truck Queue</i> (Jam)	Total Waktu <i>Delay</i> Karena Hujan (Jam)	Total Waktu <i>Delay</i> Karena Kapal Tidak Sejajar (Jam)
Replikasi 1	25.269	0	42	0
Replikasi 2	25.214	0	24	0
Replikasi 3	25.391	0	25	0
Replikasi 4	25.636	0	20	0
Replikasi 5	25.296	0	16	0
Replikasi 6	25.201	0	30	0
Replikasi 7	25.255	0	21	0
Replikasi 8	25.228	0	29	0
Replikasi 9	25.364	0	21	0
Replikasi 10	25.391	0	21	0
<b>Rata-rata</b>		<b>0</b>	<b>25</b>	<b>0</b>

Berdasarkan data tersebut, dapat diperoleh nilai muatan maksimum yang ada dalam TPS ialah 25.636 ton. Sedangkan rata-rata waktu *dump truck* menunggu ialah 0 jam. Total waktu *delay* karena hujan serta *delay* karena kapal tidak sejajar secara berurutan adalah 25 dan 0 jam.

#### 5.2.6 Skenario 6

Skenario ini menggunakan *resource dump truck* sebanyak 6 unit dengan tambahan *resource* berupa *crane* LHM 120 serta pemindahan lokasi TPS ke daerah pelabuhan. Berikut merupakan hasil *running* simulasi untuk skenario 6.

**Tabel 5.12 Hasil *Running* Simulasi Skenario 6**

Replikasi Skenario 6	Rata-rata Waktu Pengapalan (Hari)
Replikasi 1	2,19
Replikasi 2	2,15

Replikasi Skenario 6	Rata-rata Waktu Pengapalan (Hari)
Replikasi 3	2,19
Replikasi 4	2,15
Replikasi 5	2,10
Replikasi 6	2,20
Replikasi 7	2,16
Replikasi 8	2,23
Replikasi 9	2,11
Replikasi 10	2,16
<b>Rata-rata</b>	<b>2,16</b>

Berdasarkan 10 replikasi yang telah dilakukan, dapat diperoleh rata-rata waktu pengapalan selama 2,16 hari. Berikut merupakan informasi mendetail mengenai *output running* simulasi skenario 6.

**Tabel 5.13 Informasi Detail Output Skenario 6**

Replikasi Skenario 6	Muatan Maksimum TPS (Ton)	<i>Dump Truck Queue</i> (Jam)	Total Waktu Delay Karena Hujan (Jam)	Total Waktu Delay Karena Kapal Tidak Seajar (Jam)
Replikasi 1	25.350	0	22	0
Replikasi 2	25.255	0	22	0
Replikasi 3	25.432	0	26	0
Replikasi 4	25.282	0	18	0
Replikasi 5	25.486	0	13	0
Replikasi 6	25.119	0	28	0
Replikasi 7	24.997	0	26	0
Replikasi 8	25.446	0	27	0
Replikasi 9	25.133	0	16	0
Replikasi 10	25.201	0	24	0
<b>Rata-rata</b>		<b>0</b>	<b>22</b>	<b>0</b>

Berdasarkan data tersebut, dapat diperoleh nilai muatan maksimum yang ada dalam TPS ialah 25.486 ton. Sedangkan rata-rata waktu *dump truck* menunggu ialah 0 jam. Total waktu *delay* karena hujan serta *delay* karena kapal tidak sejajar secara berurutan adalah 22 dan 0 jam.

### 5.2.7 Skenario 7

Skenario ini menggunakan *resource dump truck* sebanyak 7 unit dengan tambahan *resource* berupa *crane* LHM 120 serta pemindahan lokasi TPS ke daerah pelabuhan. Berikut merupakan hasil *running* simulasi untuk skenario 7.

**Tabel 5.14 Hasil *Running* Simulasi Skenario 7**

Replikasi Skenario 7	Rata-rata Waktu Pengapalan (Hari)
Replikasi 1	2,17
Replikasi 2	2,20
Replikasi 3	2,18
Replikasi 4	2,15
Replikasi 5	2,16
Replikasi 6	2,05
Replikasi 7	2,20
Replikasi 8	2,16
Replikasi 9	2,02
Replikasi 10	2,02
<b>Rata-rata</b>	<b>2,13</b>

Berdasarkan 10 replikasi yang telah dilakukan, dapat diperoleh rata-rata waktu pengapalan selama 2,13 hari. Berikut merupakan informasi mendetail mengenai *output running* simulasi skenario 7.

**Tabel 5.15 Informasi Detail *Output* Skenario 7**

Replikasi Skenario 7	Muatan Maksimum TPS (Ton)	<i>Dump Truck Queue</i> (Jam)	Total Waktu <i>Delay</i> Karena Hujan (Jam)	Total Waktu <i>Delay</i> Karena Kapal Tidak Seajar (Jam)
Replikasi 1	25.418	0	22	0
Replikasi 2	25.201	0	26	0
Replikasi 3	25.119	0	29	0
Replikasi 4	25.187	0	21	0
Replikasi 5	25.214	0	25	0
Replikasi 6	25.106	0	11	0
Replikasi 7	25.038	0	30	0
Replikasi 8	25.255	0	18	0
Replikasi 9	25.323	0	3	0
Replikasi 10	25.350	0	7	0
<b>Rata-rata</b>		<b>0</b>	<b>19</b>	<b>0</b>

Berdasarkan data tersebut, dapat diperoleh nilai muatan maksimum yang ada dalam TPS ialah 25.418 ton. Sedangkan rata-rata waktu *dump truck* menunggu ialah 0 jam. Total waktu *delay* karena hujan serta *delay* karena kapal tidak sejajar secara berurutan adalah 19 dan 0 jam.

### 5.2.8 Skenario 8

Skenario ini menggunakan *resource dump truck* sebanyak 4 unit dengan tambahan *resource* berupa *crane* LHM 180 serta pemindahan lokasi TPS ke daerah pelabuhan. Berikut merupakan hasil *running* simulasi untuk skenario 8.

**Tabel 5.16 Hasil *Running* Simulasi Skenario 8**

Replikasi Skenario 8	Rata-rata Waktu Pengapalan (Hari)
Replikasi 1	1,32
Replikasi 2	1,33
Replikasi 3	1,40
Replikasi 4	1,33
Replikasi 5	1,41
Replikasi 6	1,34
Replikasi 7	1,31
Replikasi 8	1,20
Replikasi 9	1,33
Replikasi 10	1,30
<b>Rata-rata</b>	<b>1,33</b>

Berdasarkan 10 replikasi yang telah dilakukan, dapat diperoleh rata-rata waktu pengapalan selama 1,33 hari. Berikut merupakan informasi mendetail mengenai *output running* simulasi skenario 8.

**Tabel 5.17 Informasi Detail *Output* Skenario 8**

Replikasi Skenario 8	Muatan Maksimum TPS (Ton)	<i>Dump Truck Queue</i> (Jam)	Total Waktu <i>Delay</i> Karena Hujan (Jam)	Total Waktu <i>Delay</i> Karena Kapal Tidak Sejajar (Jam)
Replikasi 1	25.119	0	23	0
Replikasi 2	25.391	0	27	0
Replikasi 3	25.214	0	33	0
Replikasi 4	25.255	0	26	0
Replikasi 5	25.418	0	32	0
Replikasi 6	25.269	0	26	0
Replikasi 7	25.269	0	22	0
Replikasi 8	25.214	0	7	0



Replikasi Skenario 8	Muatan Maksimum TPS (Ton)	Dump Truck Queue (Jam)	Total Waktu Delay Karena Hujan (Jam)	Total Waktu Delay Karena Kapal Tidak Sejajar (Jam)
Replikasi 9	25.160	0	23	0
Replikasi 10	25.051	0	19	0
<b>Rata-rata</b>		<b>0</b>	<b>24</b>	<b>0</b>

Berdasarkan data tersebut, dapat diperoleh nilai muatan maksimum yang ada dalam TPS ialah 25.418 ton. Sedangkan rata-rata waktu *dump truck* menunggu ialah 0 jam. Total waktu *delay* karena hujan serta *delay* karena kapal tidak sejajar secara berurutan adalah 24 dan 0 jam.

### 5.2.9 Skenario 9

Skenario ini menggunakan *resource dump truck* sebanyak 5 unit dengan tambahan *resource* berupa *crane* LHM 180 serta pemindahan lokasi TPS ke daerah pelabuhan. Berikut merupakan hasil *running* simulasi untuk skenario 9.

**Tabel 5.18 Hasil *Running* Simulasi Skenario 9**

Replikasi Skenario 9	Rata-rata Waktu Pengapalan (Hari)
Replikasi 1	1,30
Replikasi 2	1,31
Replikasi 3	1,33
Replikasi 4	1,22
Replikasi 5	1,36
Replikasi 6	1,40
Replikasi 7	1,33
Replikasi 8	1,38
Replikasi 9	1,39
Replikasi 10	1,31
<b>Rata-rata</b>	<b>1,33</b>

Berdasarkan 10 replikasi yang telah dilakukan, dapat diperoleh rata-rata waktu pengapalan selama 1,33 hari. Berikut merupakan informasi mendetail mengenai *output running* simulasi skenario 9.

**Tabel 5.19 Informasi Detail *Output* Skenario 9**

Replikasi Skenario 9	Muatan Maksimum TPS (Ton)	Dump Truck Queue (Jam)	Total Waktu Delay Karena Hujan (Jam)	Total Waktu Delay Karena Kapal Tidak Sejajar (Jam)
Replikasi 1	25.242	0	20	0

Replikasi Skenario 9	Muatan Maksimum TPS (Ton)	Dump Truck Queue (Jam)	Total Waktu Delay Karena Hujan (Jam)	Total Waktu Delay Karena Kapal Tidak Seajar (Jam)
Replikasi 2	25.323	0	25	0
Replikasi 3	25.078	0	22	0
Replikasi 4	25.255	0	12	0
Replikasi 5	25.609	0	25	0
Replikasi 6	25.418	0	31	0
Replikasi 7	25.323	0	28	0
Replikasi 8	25.391	0	27	0
Replikasi 9	25.296	0	30	0
Replikasi 10	25.282	0	22	0
<b>Rata-rata</b>		<b>0</b>	<b>24</b>	<b>0</b>

Berdasarkan data tersebut, dapat diperoleh nilai muatan maksimum yang ada dalam TPS ialah 25.609 ton. Sedangkan rata-rata waktu *dump truck* menunggu ialah 0 jam. Total waktu *delay* karena hujan serta *delay* karena kapal tidak seajar secara berurutan adalah 24 dan 0 jam.

#### 5.2.10 Skenario 10

Skenario ini menggunakan *resource dump truck* sebanyak 6 unit dengan tambahan *resource* berupa *crane* LHM 180 serta pemindahan lokasi TPS ke daerah pelabuhan. Berikut merupakan hasil *running* simulasi untuk skenario 10.

**Tabel 5.20 Hasil *Running* Simulasi Skenario 10**

Replikasi Skenario 10	Rata-rata Waktu Pengapalan (Hari)
Replikasi 1	1,32
Replikasi 2	1,36
Replikasi 3	1,32
Replikasi 4	1,41
Replikasi 5	1,29
Replikasi 6	1,45
Replikasi 7	1,31
Replikasi 8	1,25
Replikasi 9	1,34
Replikasi 10	1,27
<b>Rata-rata</b>	<b>1,33</b>

Berdasarkan 10 replikasi yang telah dilakukan, dapat diperoleh rata-rata waktu pengapalan selama 1,33 hari. Berikut merupakan informasi mendetail mengenai *output running* simulasi skenario 10.

**Tabel 5.21 Informasi Detail Output Skenario 10**

Replikasi Skenario 10	Muatan Maksimum TPS (Ton)	Dump Truck Queue (Jam)	Total Waktu Delay Karena Hujan (Jam)	Total Waktu Delay Karena Kapal Tidak Sejajar (Jam)
Replikasi 1	25.378	0	24	0
Replikasi 2	25.568	0	29	0
Replikasi 3	25.473	0	24	0
Replikasi 4	25.378	0	34	0
Replikasi 5	25.391	0	20	0
Replikasi 6	25.609	0	38	0
Replikasi 7	25.214	0	23	0
Replikasi 8	25.704	0	14	0
Replikasi 9	25.078	0	26	0
Replikasi 10	25.323	0	18	0
<b>Rata-rata</b>		<b>0</b>	<b>25</b>	<b>0</b>

Berdasarkan data tersebut, dapat diperoleh nilai muatan maksimum yang ada dalam TPS ialah 25.704 ton. Sedangkan rata-rata waktu *dump truck* menunggu ialah 0 jam. Total waktu *delay* karena hujan serta *delay* karena kapal tidak sejajar secara berurutan adalah 25 dan 0 jam.

### 5.2.11 Skenario 11

Skenario ini menggunakan *resource dump truck* sebanyak 7 unit dengan tambahan *resource* berupa *crane* LHM 180 serta pemindahan lokasi TPS ke daerah pelabuhan. Berikut merupakan hasil *running* simulasi untuk skenario 11.

**Tabel 5.22 Hasil Running Simulasi Skenario 11**

Replikasi Skenario 11	Rata-rata Waktu Pengapalan (Hari)
Replikasi 1	1,39
Replikasi 2	1,25
Replikasi 3	1,46
Replikasi 4	1,27
Replikasi 5	1,38
Replikasi 6	1,23
Replikasi 7	1,40
Replikasi 8	1,30

Replikasi Skenario 11	Rata-rata Waktu Pengapalan (Hari)
Replikasi 9	1,33
Replikasi 10	1,32
<b>Rata-rata</b>	<b>1,33</b>

Berdasarkan 10 replikasi yang telah dilakukan, dapat diperoleh rata-rata waktu pengapalan selama 1,33 hari. Berikut merupakan informasi mendetail mengenai *output running* simulasi skenario 11.

**Tabel 5.23 Informasi Detail *Output* Skenario 11**

Replikasi Skenario 11	Muatan Maksimum TPS (Ton)	<i>Dump Truck Queue</i> (Jam)	Total Waktu <i>Delay</i> Karena Hujan (Jam)	Total Waktu <i>Delay</i> Karena Kapal Tidak Sejajar (Jam)
Replikasi 1	25.595	0	24	0
Replikasi 2	25.391	0	29	0
Replikasi 3	25.146	0	24	0
Replikasi 4	25.187	0	34	0
Replikasi 5	25.146	0	20	0
Replikasi 6	25.323	0	38	0
Replikasi 7	25.323	0	23	0
Replikasi 8	25.214	0	14	0
Replikasi 9	25.432	0	26	0
Replikasi 10	25.228	0	18	0
<b>Rata-rata</b>		<b>0</b>	<b>25</b>	<b>0</b>

Berdasarkan data tersebut, dapat diperoleh rata-rata nilai muatan maksimum yang ada dalam TPS ialah 25.595 ton. Sedangkan rata-rata waktu *dump truck* menunggu ialah 0 jam. Total waktu *delay* karena hujan serta *delay* karena kapal tidak sejajar secara berurutan adalah 25 dan 0 jam.

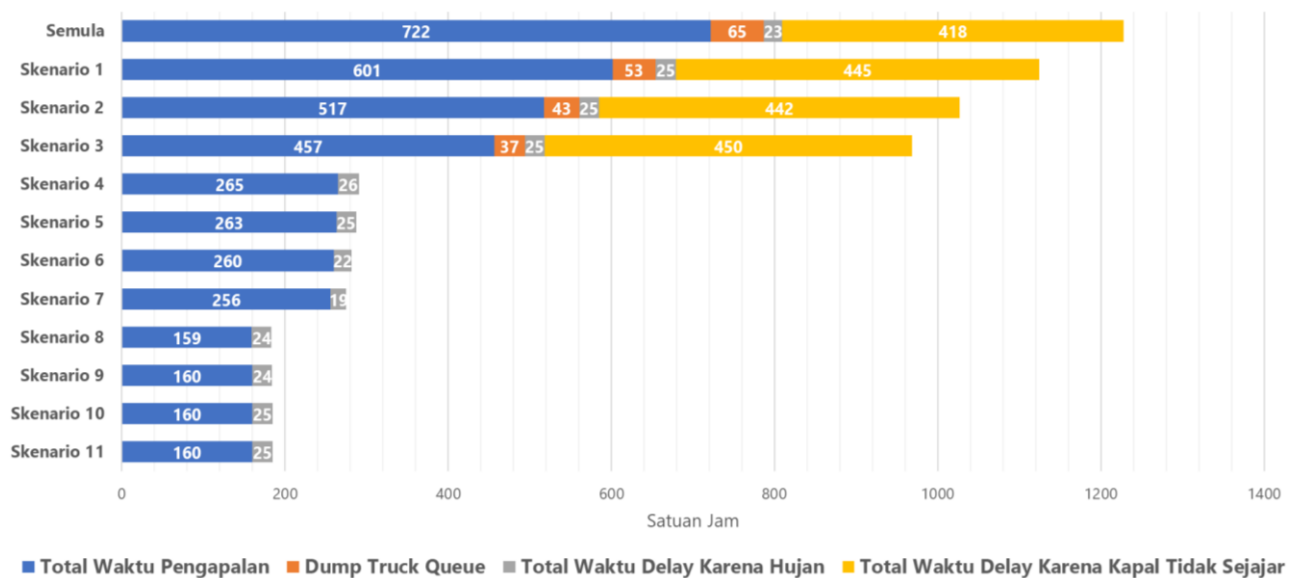
### 5.3 Hasil *Running* Skenario

Pada bagian ini akan ditampilkan mengenai rekapitulasi *output* simulasi yang telah dijalankan berdasarkan 11 skenario yang telah disusun sebelumnya. Rekap data ini meliputi informasi mengenai rata-rata waktu pengapalan, *dump truck queue*, total waktu *delay* karena hujan, total waktu *delay* karena kapal tidak sejajar dengan dermaga dan muatan maksimal TPS. Berikut merupakan data rekapitulasi *output* simulasi.

**Tabel 5.24 Rekapitulasi *Running* Simulasi**

<b>Kondisi</b>	<b>Rata-rata Waktu Pengapalan (Hari)</b>	<b><i>Dump Truck Queue</i> (Jam)</b>	<b>Total Waktu <i>Delay</i> Karena Hujan (Jam)</b>	<b>Total Waktu <i>Delay</i> Karena Kapal Tidak Sejajar (Jam)</b>	<b>Muatan Maksimum TPS (Ton)</b>
Semula DT 4 Unit	6,02	65	23	418	25.609
Skenario 1 DT 5 Unit	5,01	53	25	445	25.582
Skenario 2 DT 6 Unit	4,31	43	25	442	25.595
Skenario 3 DT 7 Unit	3,81	37	25	450	25.582
Skenario 4 DT 4 - LHM 120	2,21	0	26	0	25.418
Skenario 5 DT 5 - LHM 120	2,19	0	25	0	25.636
Skenario 6 DT 6 - LHM 120	2,16	0	22	0	25.486
Skenario 7 DT 7 - LHM 120	2,13	0	19	0	25.418
Skenario 8 DT 4 - LHM 180	1,33	0	24	0	25.418
Skenario 9 DT 5 - LHM 180	1,33	0	24	0	25.609
Skenario 10 DT 6 - LHM 180	1,33	0	25	0	25.704
Skenario 11 DT 7 - LHM 180	1,33	0	25	0	25.595

Berdasarkan data rekapitulasi tersebut, dapat dilihat bahwa rata-rata waktu pengapalan paling kecil ialah pada skenario 8 hingga skenario 11 dengan rata-rata waktu pengapalan selama 1,33 hari. Selain itu, juga terdapat informasi mengenai muatan maksimum TPS selama pengapalan terjadi. Nilai muatan sebesar 25.704 ton merupakan nilai maksimum bila dibandingkan dengan semua skenario pengapalan *fly ash*. Informasi tersebut dapat menjadi acuan dalam menentukan kapasitas TPS yang baru. Bila rata-rata waktu pengapalan dikonversikan menjadi satuan jam dan menjadi waktu total, maka dapat diperoleh grafik perbandingan waktu yang terjadi dalam pengapalan sebagaimana berikut.



**Gambar 5.1 Grafik Perbandingan Waktu Dalam Pengapalan**

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB VI

### ANALISIS DAN INTERPRETASI

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai analisis dan interpretasi hasil *running* simulasi yang telah dilakukan pada bab sebelumnya. Analisis ini juga mempertimbangkan kemungkinan-kemungkinan yang dapat terjadi di masa depan, sehingga pengambil keputusan dapat memahami aspek-aspek eksternal sistem.

#### 6.1 Analisis Kondisi Semula Pengapalan

Pada kondisi semula, kegiatan pengapalan terdiri dari gabungan beberapa aktivitas, di antaranya ialah proses *loading fly ash* di *boiler*, proses pengiriman *fly ash* dari *boiler* ke TPS, proses *unloading fly ash* di TPS, proses *loading fly ash* di TPS, proses pengiriman *fly ash* dari TPS ke kapal tongkang, proses *unloading fly ash* di kapal tongkang, dan proses perataan *fly ash* di dalam kapal tongkang. Seluruh proses tersebut membutuhkan beberapa *resource* seperti, *dump truck*, ekskavator, *wheel loader*, dan kapal tongkang. Kapal merupakan *resource* dengan biaya yang paling besar, adapun dalam kondisi aktualnya kapal harus menunggu proses pemuatan *fly ash* hingga penuh, sehingga dalam konteks ini kapal dengan biaya sewa yang besar harus menunggu proses yang menggunakan *resource* dengan biaya yang relatif lebih kecil. Hal tersebut mengakibatkan proses pengapalan memakan waktu hingga 7 hari dan berujung pada biaya sewa kapal per hari yang tidak efisien. Penentuan jumlah *resource* yang efisien menjadi krusial dalam usaha penghematan proses pengapalan *fly ash*.

Selain itu perlu adanya *improvement* dalam proses pemuatan *fly ash* ke dalam kapal, yang dalam kondisi saat ini masih dilakukan secara konvensional, di mana *dump truck* perlu melakukan manuver terlebih dahulu untuk memasukkan muatan *fly ash* yang dibawa agar dapat menumpahkan muatan tersebut ke dalam badan kapal. Proses ini memakan waktu yang cukup lama serta menimbulkan antrian untuk *dump truck* lainnya. Faktor lain yang menyebabkan proses pengapalan lama ialah adanya faktor cuaca. Kondisi seperti hujan deras akan membuat proses pengapalan berlangsung secara tidak kondusif dan berujung pada penundaan proses pengapalan. Faktor cuaca lainnya ialah terdapat kondisi ketika kapal sedang tidak sejajar dengan dermaga karena adanya pasang surut air laut. Kondisi tersebut akan



berdampak pada *dump truck* yang tidak bisa masuk ke dalam kapal untuk menumpahkan muatan *fly ash*, sehingga proses penundaan pengapalan tidak dapat dihindari, hingga kapal dapat sejajar kembali dengan dermaga.

## 6.2 Analisis Hasil *Running* Simulasi

Pembuatan skenario simulasi dilakukan agar dapat menurunkan durasi proses pengapalan *fly ash*. Skenario disusun berdasarkan pertimbangan yang paling memungkinkan dalam menurunkan durasi pengapalan. Skenario tersebut ialah dengan melakukan penambahan jumlah *resource dump truck* dan penambahan *resource* berupa *crane* serta pemindahan lokasi TPS ke dekat pelabuhan. Berdasarkan hasil dari *running* simulasi dapat diketahui bahwa penambahan *resource dump truck* pada kondisi semula akan memiliki pengaruh terhadap penurunan rata-rata waktu pengapalan hingga 36,71%. Sedangkan penambahan *resource* berupa *crane* serta pemindahan TPS ke daerah pelabuhan memiliki dampak yang lebih besar dalam penurunan waktu pengapalan. Dengan penambahan *crane* jenis LHM 180, rata-rata waktu pengapalan mengalami penurunan hingga 77,91% dari kondisi semula. Penurunan signifikan tersebut terjadi karena dengan adanya penambahan *crane* serta TPS di pelabuhan, terdapat beberapa proses *non-added value* yang dapat dihilangkan, seperti halnya proses pemasukan muatan *dump truck* secara manual dan juga menghilangkan adanya *delay* karena kapal tidak sejajar dengan dermaga, yang semula dapat menghambat proses *dump truck* yang ingin masuk ke dalam badan kapal untuk menumpahkan muatan *fly ash*. Berdasarkan *output* simulasi, *delay* tidak seajarnya kapal dapat memakan waktu hingga 450 jam, sehingga penambahan *resource crane* merupakan salah satu alternatif yang sangat efisien dalam mempersingkat durasi proses pengapalan.

Berdasarkan hasil *running* simulasi juga, dapat diketahui ketika *crane* ditambahkan, penambahan *dump truck* tidak akan memberikan dampak yang signifikan terhadap durasi proses pengapalan. Hal tersebut menunjukkan bahwa *dump truck* dalam kondisi saat ini yang berjumlah 4 unit, memiliki jumlah yang cukup dalam menangani proses pemindahan *fly ash* dari *boiler* hingga menuju ke TPS. Sementara itu, *crane* akan berperan maksimal dalam menangani proses pemindahan *fly ash* dari TPS hingga ke dalam kapal tongkang.

Selain itu, dari hasil simulasi juga dapat diperoleh informasi mengenai kapasitas TPS. Data muatan maksimum TPS dalam tabel 5.24 menunjukkan jumlah muatan *fly ash* maksimal yang terdapat dalam TPS selama satu tahun proses pengapalan. Data tersebut dapat menjadi acuan dalam membuat desain TPS baru sesuai dengan kriteria pada skenario 4 hingga 11 yang dengan adanya penambahan *crane* dan pemindahan TPS secara tidak langsung akan memerlukan informasi mengenai berapa besaran serta kapasitas yang tepat dalam menampung muatan *fly ash*. Berdasarkan hasil simulasi, nilai maksimum muatan TPS memerlukan kemampuan dalam memuat muatan *fly ash* minimal sebesar 25.704 ton. Namun, angka tersebut perlu disesuaikan kembali dengan nilai maksimum yang ada pada skenario terpilih. Dalam pembuatan TPS baru juga perlu dipertimbangkan mengenai faktor lingkungan, seperti yang diketahui pada bagian sebelumnya, *fly ash* merupakan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3), sehingga pembuatan TPS baru dengan kondisi semi tertutup dapat menjadi pertimbangan penting, agar muatan *fly ash* tidak bertebaran serta aman untuk lingkungan sekitar.

### 6.3 Skenario Terpilih

Pengembangan skenario dilakukan dengan mengacu pada tujuan penelitian, yaitu menentukan jumlah serta kapasitas *resource* yang diperlukan dalam setiap tahap proses pengapalan *fly ash*. Penentuan ini juga mempertimbangkan agar proses pengapalan dapat berjalan secara efisien dan efektif. Salah satu faktor efisien dalam pengapalan selain durasi proses pengapalan ialah total penghematan biaya yang dapat diberikan. Dengan adanya faktor biaya, maka pemilihan skenario terbaik akan lebih memudahkan pengambil keputusan dalam mempertimbangkan skenario mana yang akan diterapkan. Berikut merupakan beberapa komponen biaya yang dikeluarkan dalam skenario simulasi.

**Tabel 6.1 Komponen Biaya Dalam Skenario**

Komponen Biaya	Biaya
Penambahan <i>Crane</i> Liebherr - LHM 120	Rp 3.500.000.000
Penambahan <i>Crane</i> Liebherr - LHM 180	Rp 4.500.000.000
Penambahan Satu <i>Dump Truck</i>	Rp 595.000.000
Gaji Operator per Bulan (UMK Kota Bontang 2020)	Rp 3.180.000
Biaya Sewa Kapal per Hari	Rp 60.000.000

Melalui detail komponen biaya tersebut, maka dapat ditentukan total biaya yang dikeluarkan pada masing-masing skenario. Asumsi yang digunakan ialah setiap satu *crane* atau *dump truck*, membutuhkan satu orang operator. Berikut merupakan rekapitulasi total biaya pada setiap skenario.

**Tabel 6.2 Rekapitulasi Biaya Setiap Skenario**

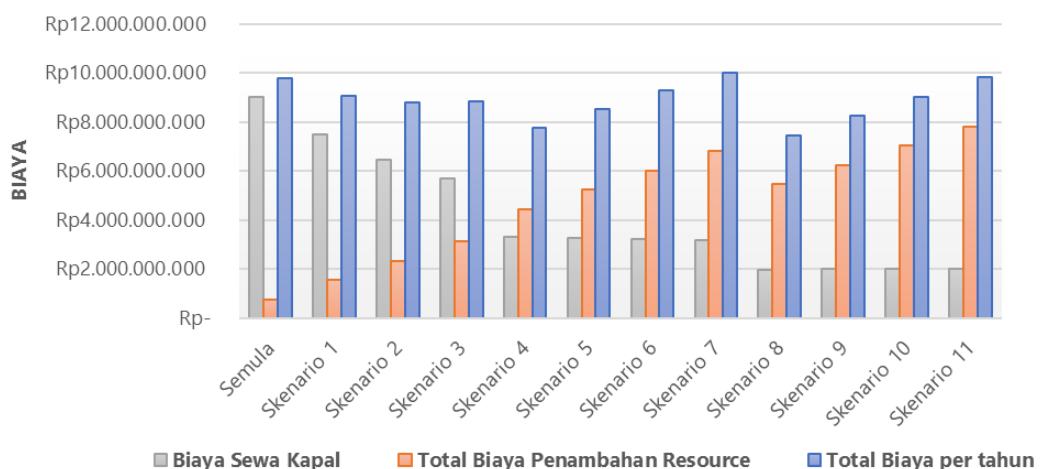
Kondisi	Biaya Penambahan <i>Resource</i>		Biaya Sewa Kapal	
	Gaji operator per tahun	Total Biaya Penambahan <i>Resource</i>	Durasi per Pengalangan (Hari)	Biaya Sewa Kapal per Tahun
Semula	Rp 152.640.000	Rp 763.200.000	6,02	Rp 1.804.782.222
Skenario 1	Rp 190.800.000	Rp 1.549.000.000	5,01	Rp 1.503.139.097
Skenario 2	Rp 228.960.000	Rp 2.334.800.000	4,31	Rp 1.292.949.514
Skenario 3	Rp 267.120.000	Rp 3.120.600.000	3,81	Rp 1.141.766.667
Skenario 4	Rp 190.800.000	Rp 4.454.000.000	2,21	Rp 661.697.153
Skenario 5	Rp 228.960.000	Rp 5.239.800.000	2,19	Rp 656.953.333
Skenario 6	Rp 267.120.000	Rp 6.025.600.000	2,16	Rp 649.227.292
Skenario 7	Rp 305.280.000	Rp 6.811.400.000	2,13	Rp 639.410.069
Skenario 8	Rp 190.800.000	Rp 5.454.000.000	1,33	Rp 398.118.403
Skenario 9	Rp 228.960.000	Rp 6.239.800.000	1,33	Rp 399.703.681
Skenario 10	Rp 267.120.000	Rp 7.025.600.000	1,33	Rp 399.427.431
Skenario 11	Rp 305.280.000	Rp 7.811.400.000	1,33	Rp 399.616.319

Tabel 6.2 menunjukkan dua komponen biaya utama pada setiap skenario, yaitu biaya penambahan *resource* dan biaya sewa kapal. Kedua biaya ini selanjutnya akan ditotal serta diakumulasikan selama 5 tahun. Akumulasi biaya selama 5 tahun dilakukan agar perbandingan antara biaya penambahan *resource* dengan biaya sewa kapal dapat menjadi perbandingan biaya yang proporsional. Berikut merupakan total biaya dalam kurun waktu 5 tahun.

**Tabel 6.3 Total Biaya Setiap Skenario Dalam Kurun Waktu 5 Tahun**

Kondisi	Biaya Penambahan Resource	Biaya Sewa Kapal dalam 5 Tahun	Total Biaya dalam 5 Tahun
Semula	Rp 763.200.000	Rp 9.023.911.111	Rp 9.787.111.111
Skenario 1	Rp 1.549.000.000	Rp 7.515.695.486	Rp 9.064.695.486
Skenario 2	Rp 2.334.800.000	Rp 6.464.747.569	Rp 8.799.547.569
Skenario 3	Rp 3.120.600.000	Rp 5.708.833.333	Rp 8.829.433.333
Skenario 4	Rp 4.454.000.000	Rp 3.308.485.764	Rp 7.762.485.764
Skenario 5	Rp 5.239.800.000	Rp 3.284.766.667	Rp 8.524.566.667
Skenario 6	Rp 6.025.600.000	Rp 3.246.136.458	Rp 9.271.736.458
Skenario 7	Rp 6.811.400.000	Rp 3.197.050.347	Rp 10.008.450.347
Skenario 8	Rp 5.454.000.000	Rp 1.990.592.014	Rp 7.444.592.014
Skenario 9	Rp 6.239.800.000	Rp 1.998.518.403	Rp 8.238.318.403
Skenario 10	Rp 7.025.600.000	Rp 1.997.137.153	Rp 9.022.737.153
Skenario 11	Rp 7.811.400.000	Rp 1.998.081.597	Rp 9.809.481.597

Berdasarkan hasil perhitungan total biaya pada setiap skenario, dapat diketahui skenario yang paling efisien dari segi biaya ialah skenario 8, dengan total biaya sebesar Rp7.444.592.014,00. Bila dibandingkan dengan total biaya pada kondisi semula yang sebesar Rp9.787.111.111,00, maka dapat ditemukan total penghematan sejumlah Rp2.342.519.097,00. Berikut merupakan grafik mengenai perbandingan total biaya pada masing-masing skenario.



**Gambar 6.1 Grafik Perbandingan Total Biaya**

Dengan pertimbangan biaya serta durasi pengapalan yang paling efisien dan efektif, maka dapat ditentukan skenario mana yang terpilih dalam penelitian ini. Skenario 8 yang menggunakan *resource dump truck* berjumlah 4 unit dan penambahan *resource* berupa *crane* LHM 180 menjadi opsi yang optimal dengan rata-rata durasi pengapalan selama 1,33 hari dengan penurunan rata-rata waktu pengapalan sebesar 77,91% dari kondisi semula. Adapun total biaya kumulatif yang dikeluarkan oleh skenario 8 selama kurun waktu 5 tahun sebesar Rp7.444.592.014,00 dengan penghematan biaya sebanyak Rp2.342.519.097,00 dari kondisi semula.

Untuk memvalidasi apakah skenario 8 lebih ekonomis bila dibanding kondisi semula, maka langkah selanjutnya ialah melakukan analisis perbandingan antar alternatif dengan perhitungan ekonomi teknik. *Annual Equivalent* (AE) akan digunakan dalam analisis ini. AE memberikan sebuah landasan untuk mengukur kelayakan dari sebuah investasi dengan cara menentukan pembayaran yang setara, dalam basis tahunan (Park, 2007). AE pada penelitian ini akan menggunakan horizon perencanaan (N) selama 10 tahun dan nilai *Minimum Attractive Rate of Return* (i) sebesar 10%. Dengan asumsi umur ekonomis *crane* ialah selama 10 tahun dengan *salvage value crane* sebesar 1 miliar rupiah. Berikut merupakan perhitungan nilai AE untuk kondisi semula ( $A_1$ ).

$$\begin{aligned} A_1 &= \text{Gaji operator per tahun} + \text{Sewa kapal per tahun} \\ &= \text{Rp}152.640.000 + 1.804.782.222 \\ &= \text{Rp}1.957.422.222 \end{aligned}$$

Setelah nilai  $A_1$  diperoleh, langkah selanjutnya ialah menemukan nilai  $A_2$  untuk kemudian dilakukan perbandingan. Berikut merupakan perhitungan nilai AE untuk skenario 8 ( $A_2$ ).

$$\begin{aligned} A_2 &= \text{Cost crane} + \text{Gaji operator per tahun} + \text{Sewa kapal per tahun} \\ &= (P_1(A/P, 10\%, 10) - \text{Salvage value}) + 190.800.000 + 398.118.403 \\ &= [\text{Rp}4.500.000.000(A/P, 10\%, 10) - 1.000.000.000(A/F, 10\%, 10)] \\ &\quad + 190.800.00 + 398.118.403 \\ &= \text{Rp}4.500.000.000(0,1627) - 1.000.000.000(0,627) + 190.800.000 \\ &\quad + 398.118.403 \\ &= \text{Rp}694.068.403 \end{aligned}$$

Sehingga dapat dilakukan perbandingan nilai AE antara kondisi semula ( $A_1$ ) dengan skenario 8 ( $A_2$ ), yakni sebagai berikut.

$$A_1 > A_2$$
$$\text{Rp}1.957.422.222 > \text{Rp}694.068.403$$

Maka dapat disimpulkan bahwa skenario 8 ( $A_2$ ) dipilih karena memberikan nilai *annual equivalent* yang lebih kecil. Dalam arti lain skenario 8 akan mengeluarkan biaya tahunan yang lebih kecil bila dibanding dengan kondisi semula.

#### 6.4 Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas dilakukan terhadap skenario terpilih, untuk mengetahui berbagai dampak yang terjadi dari perubahan parameter tertentu, khususnya parameter yang tidak dapat dikontrol dalam sistem. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah *rate* pengiriman *fly ash* ke *potential user* (beberapa perusahaan semen). Pada kondisi riilnya, terdapat kemungkinan *potential user* tidak dapat mengolah *fly ash* sesuai dengan jumlah *fly ash* yang dikirimkan oleh PT Pupuk Kaltim. Sehingga perlu adanya analisis mengenai kemungkinan penurunan *rate* pengiriman, yang akan berdampak pada kemampuan kapasitas TPS dalam menampung muatan *fly ash* secara sementara.

##### 6.4.1 Rate Pengiriman Diturunkan 10% dari Data Historis

Penurunan *rate* pengiriman sebanyak 10% ditentukan berdasarkan dari data historis salah satu *potential user*, yaitu PT Semen Tonasa. Terhitung dari tahun 2014 hingga tahun 2016, PT Semen Tonasa mencatatkan angka tertinggi dalam pemanfaatan limbah *fly ash* berada pada nilai 33.393,60 ton *fly ash*. Angka tersebut menjadi gambaran nyata kemampuan salah satu *potential user* dalam mengolah limbah *fly ash*, sehingga penurunan *rate* sebesar 10% akan relevan dengan nilai tersebut.

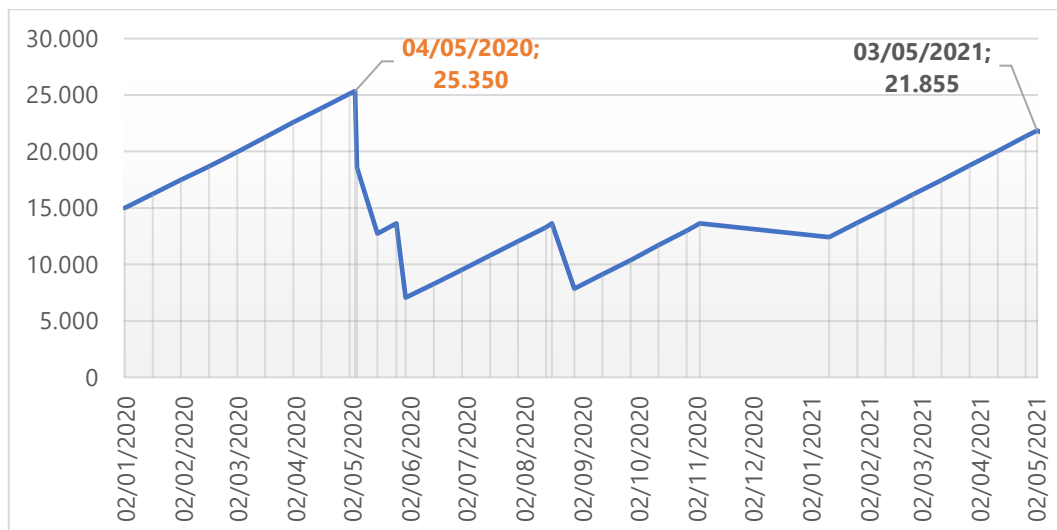
Adapun dalam analisis sensitivitas ini akan menggunakan *replication length* selama 487 hari. Nilai tersebut digunakan agar dalam analisis ini dapat merekam nilai maksimal kapasitas TPS hingga proses pengapalan pertama pada replikasi

berikutnya, yaitu minggu pertama bulan Mei pada replikasi berikutnya. Berikut merupakan hasil simulasi dengan *rate* pengiriman turun 10%.

**Tabel 6.4 Hasil Simulasi Dengan *Rate* Pengiriman Turun 10%**

Replikasi Rate Pengiriman Turun 10%	Muatan Maksimum TPS Selama Pengapalan (Ton)	Total Muatan yang Dikirim (Ton)
Replikasi 1	25.092	33.769
Replikasi 2	25.242	33.796
Replikasi 3	25.255	34.095
Replikasi 4	25.296	34.258
Replikasi 5	25.214	33.646
Replikasi 6	25.119	33.633
Replikasi 7	25.201	34.231
Replikasi 8	25.174	34.095
Replikasi 9	24.929	33.674
Replikasi 10	25.350	34.068

Berdasarkan hasil simulasi, didapatkan nilai muatan maksimal sebesar 25.350 ton pada replikasi ke-10. Nilai tersebut tidak berubah secara signifikan bila dibanding dengan muatan maksimum TPS pada skenario terpilih, yaitu sebesar 25.418 ton. Berikut merupakan grafik perkembangan muatan *fly ash* di TPS pada replikasi ke-10.



**Gambar 6.2 Muatan *Fly Ash* Dengan *Rate* Pengiriman Turun 10%**

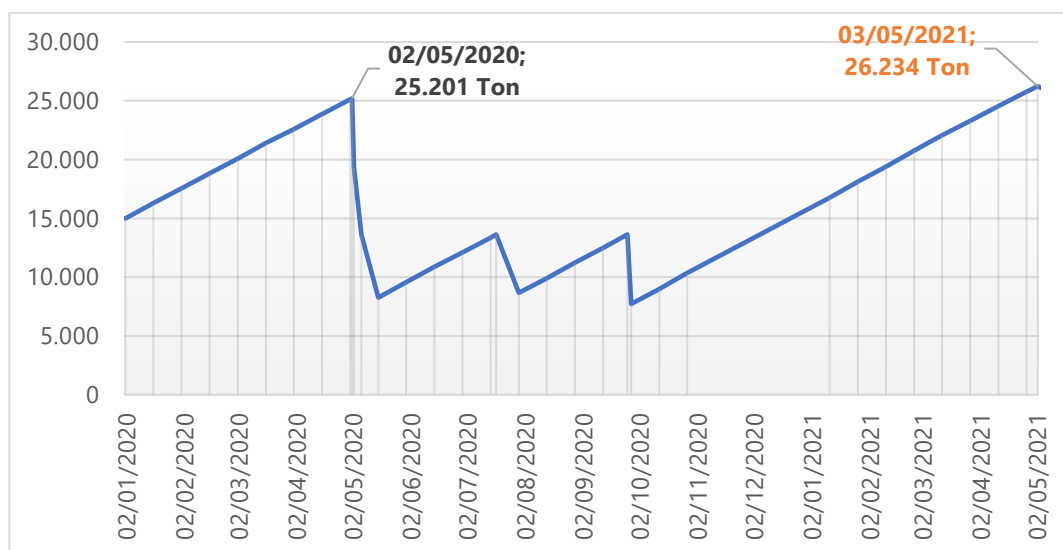
#### 6.4.2 Rate Pengiriman Diturunkan 20% dari Data Historis

Analisis sensitivitas selanjutnya dilakukan dengan menggunakan penurunan *rate* pengiriman sebesar 20%. Berikut merupakan hasil simulasi dengan *rate* pengiriman turun 20%.

**Tabel 6.5 Hasil Simulasi Dengan Rate Pengiriman Turun 20%**

Replikasi Rate Pengiriman Turun 20%	Muatan Maksimum TPS Selama Pengapalan (Ton)	Total Muatan yang Dikirim (Ton)
Replikasi 1	25.473	30.246
Replikasi 2	25.650	30.314
Replikasi 3	26.139	30.110
Replikasi 4	26.153	30.246
Replikasi 5	26.221	29.553
Replikasi 6	26.058	30.138
Replikasi 7	26.234	30.151
Replikasi 8	25.731	30.246
Replikasi 9	25.296	30.178
Replikasi 10	25.949	30.287

Berdasarkan hasil simulasi, didapatkan nilai muatan maksimal sebesar 26.234 ton pada replikasi ke-10. Nilai tersebut mengalami peningkatan sebanyak 816 ton bila dibanding dengan muatan maksimum TPS pada skenario terpilih, yaitu sebesar 25.418 ton. Berikut merupakan grafik perkembangan muatan *fly ash* di TPS pada replikasi ke-7.



**Gambar 6.3 Muatan Fly Ash Dengan Rate Pengiriman Turun 20%**



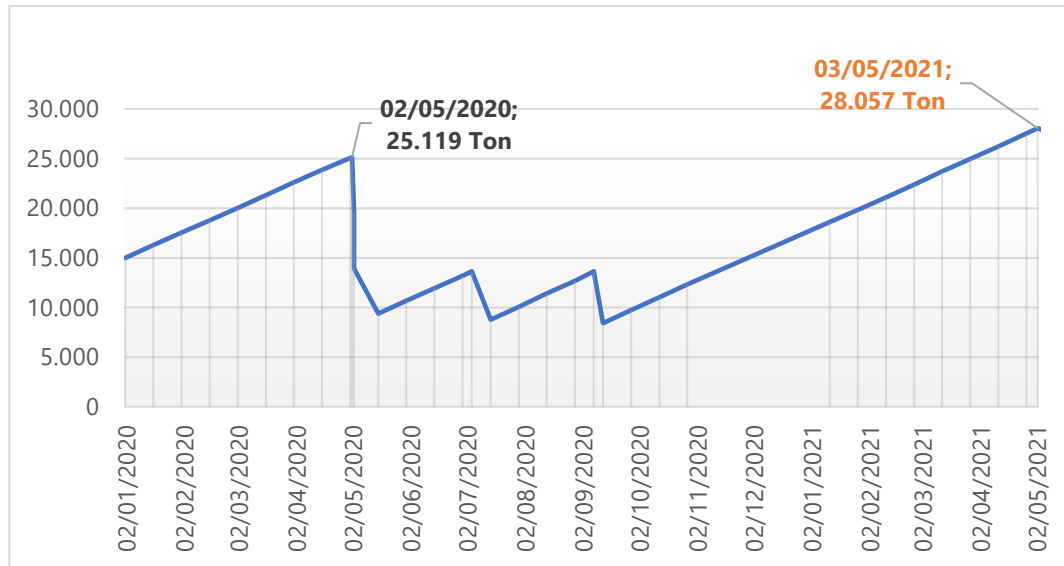
#### 6.4.3 Rate Pengiriman Diturunkan 25% dari Data Historis

Analisis sensitivitas selanjutnya dilakukan dengan menggunakan penurunan *rate* pengiriman sebesar 25%. *Rate* tersebut ditentukan berdasarkan data historis PT Semen Tonasa, yang pada tahun 2015 silam hanya dapat mengolah sejumlah 29.124 ton *fly ash*. Sehingga *rate* ini akan relevan dan memungkinkan untuk terjadi pada pengapalan di masa yang akan datang. Berikut merupakan hasil simulasi dengan *rate* pengiriman turun 25%.

**Tabel 6.6 Hasil Simulasi Dengan *Rate* Pengiriman Turun 25%**

Replikasi Rate Pengiriman Turun 25%	Muatan Maksimum TPS Selama Pengapalan (Ton)	Total Muatan yang Dikirim (Ton)
Replikasi 1	27.526	28.193
Replikasi 2	27.554	28.410
Replikasi 3	28.016	28.043
Replikasi 4	27.839	28.560
Replikasi 5	27.839	28.111
Replikasi 6	28.057	28.138
Replikasi 7	27.921	28.166
Replikasi 8	27.826	28.410
Replikasi 9	27.146	28.329
Replikasi 10	27.526	28.397

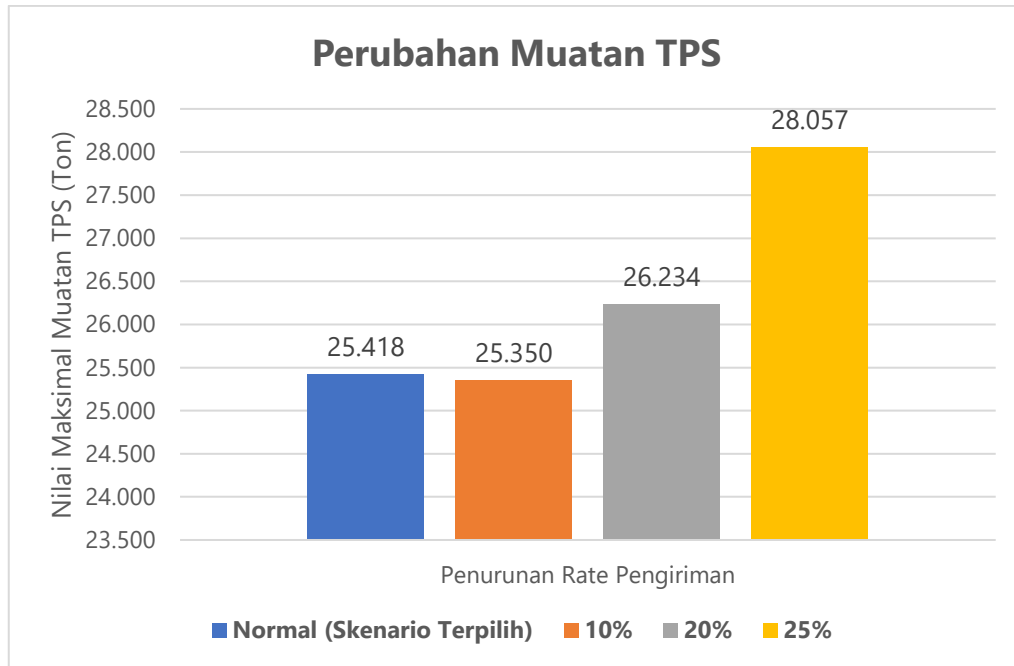
Berdasarkan hasil simulasi, didapatkan nilai muatan maksimal sebesar 28.057 ton pada replikasi ke-6. Nilai tersebut mengalami peningkatan sebanyak 2.638 ton bila dibanding dengan muatan maksimum TPS pada skenario terpilih, yaitu sebesar 25.418 ton. Hal tersebut terjadi karena muatan *fly ash* pada saat akhir tahun mengalami peningkatan yang signifikan, akibat dari jumlah muatan *fly ash* yang diambil di TPS berkurang secara drastis. Oleh karena itu muatan maksimum TPS mengalami perubahan signifikan. Berikut merupakan grafik perkembangan muatan *fly ash* di TPS pada replikasi ke-6.



**Gambar 6.4 Muatan Fly Ash Dengan Rate Pengiriman Turun 25%**

#### 6.4.4 Pengaruh Penurunan Rate Pengiriman Terhadap Skenario Terpilih

Berdasarkan analisis sensitivitas yang telah dilakukan dengan mengubah parameter berupa *rate* pengiriman *fly ash*, menunjukkan peningkatan muatan *fly ash* yang cenderung mengalami peningkatan. Pada penurunan *rate* pengiriman sebesar 10%, menunjukkan penurunan nilai maksimum TPS sebesar 68 ton. Perubahan ini hanya memberikan persentase sebesar 0,27%, sehingga penurunan *rate* sebesar 10% tidak memberikan dampak signifikan terhadap nilai maksimal muatan *fly ash*. Sedangkan pada penurunan *rate* pengiriman sebesar 20%, menunjukkan adanya peningkatan nilai maksimum TPS sebesar 3,21% dengan nilai maksimum muatan TPS sebesar 26.234 ton. Kemudian pada penurunan *rate* pengiriman sebesar 25%, memberikan dampak pada peningkatan nilai maksimum muatan sebesar 10,38% dengan nilai maksimum muatan TPS sebesar 28.057 ton. Berikut merupakan grafik perbedaan tingkat perubahan nilai maksimum muatan TPS.



**Gambar 6.5 Grafik Perubahan Nilai Maksimum TPS**

Analisis sensitivitas menunjukkan bahwa penurunan *rate* pengiriman akan memiliki dampak pada peningkatan nilai maksimum muatan TPS. Sehingga melalui analisis ini, dapat ditentukan berapa kapasitas TPS yang akan dibangun dengan mempertimbangkan adanya ruang untuk kemungkinan bertambahnya muatan *fly ash* di masa yang akan datang. Dengan membangun TPS yang berkapasitas 28.057 ton, maka kapasitas tersebut dapat mengantisipasi adanya penurunan *rate* pengiriman hingga sebesar 25% dari data historis.

#### 6.4.5 Penentuan Besar TPS Berdasarkan Hasil Analisis Sensitivitas

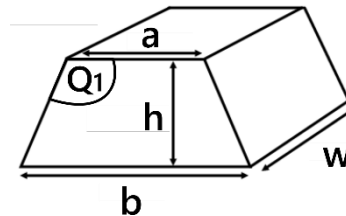
Melalui analisis sensitivitas didapatkan nilai kapasitas muatan TPS baru, yaitu TPS dengan kemampuan menerima muatan hingga 28.057 ton *fly ash*. Berdasarkan nilai tersebut, dapat ditentukan berapa luas serta volume yang dibutuhkan untuk TPS baru. Dengan densitas *fly ash* sebesar  $897 \text{ kg/m}^3$  (Ahmad, et al., 2014), digunakan rumus massa jenis untuk memperoleh volume muatan *fly ash*.

$$\text{density}(\text{kg}/\text{m}^3) = \frac{\text{mass}(\text{kg})}{\text{volume}(\text{m}^3)}$$

$$897 \text{ kg}/\text{m}^3 = \frac{28.057 \text{ ton}}{\text{volume}} = \frac{28.057.000 \text{ kg}}{\text{volume}}$$

$$\text{volume} = \frac{28.057.000}{897} = 31.279 \text{ m}^3$$

Berdasarkan perhitungan rumus tersebut, maka didapatkan volume sebesar 31.279 m<sup>3</sup>. Selanjutnya, dilakukan proses perhitungan luasan lahan yang dibutuhkan dengan menggunakan rumus *volume of trapezoid prism* sebagai berikut.



**Gambar 6.6 Ilustrasi Volume Trapesium**

$$\text{volume of trapezoid prism (m}^3) = \left(\frac{1}{2} \times (a + b) \times h\right) \times w$$

Dengan melakukan percobaan hingga memperoleh nilai yang sedikit melampaui nilai 31.279 m<sup>3</sup>, maka didapatkan nilai untuk masing-masing variabel sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{volume of trapezoid prism} &= \left(\frac{1}{2} \times (90 \text{ m} + 100 \text{ m}) \times 3 \text{ m}\right) \times 110 \text{ m} \\ &= 31.350 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Maka dapat disimpulkan untuk membuat TPS baru dengan kapasitas sebesar 28.057 ton *fly ash*, diperlukan estimasi TPS dengan luasan sebesar 1,1 hektare (110 x 100 m) dengan tinggi muatan *fly ash* 3 meter serta sudut Q<sub>1</sub> pada gambar 6.6 sebesar 330°.

## 6.5 What-if Analysis

*What-if analysis* dilakukan dengan mengubah parameter yang berupa kapasitas kapal. Perubahan parameter tersebut bertujuan untuk mengetahui apakah dengan mengubah kapasitas kapal dapat memberikan solusi yang lebih baik lagi

dibanding dengan skenario terpilih. Dalam analisis ini, beberapa jenis kapal tongkang dengan kapasitas kapal yang berbeda akan dilakukan *what-if analysis*. Jenis-jenis kapal tersebut ialah 180 *feet*, 230 *feet*, dan 300 *feet*. Sedangkan jenis kapal yang digunakan pada kondisi semula ialah jenis 270 *feet*. Berikut merupakan spesifikasi kapasitas serta biaya sewa per hari untuk masing-masing jenis kapal.

**Tabel 6.7 Jenis dan Spesifikasi Kapal Tongkang**

Jenis Kapal	Desain Kapasitas (Ton)	Kapasitas Muatan Fly Ash (Ton)	Biaya Sewa Per Hari
180 <i>feet</i>	5.000	4.650	Rp 39.000.000
230 <i>feet</i>	6.500	6.200	Rp 46.000.000
270 <i>feet</i>	8.000	7.500	Rp 60.000.000
300 <i>feet</i>	10.000	9.500	Rp 70.000.000

Analisis ini dilakukan terhadap skenario terpilih, dengan ketentuan jumlah *fly ash* yang dikirimkan minimum sejumlah 37.000 ton. Hal tersebut akan memiliki dampak timbulnya perbedaan jumlah frekuensi pengiriman pada masing-masing jenis kapal. Berikut merupakan hasil *what-if analysis* pada masing-masing jenis kapal.

**Tabel 6.8 Output Jenis Kapal 180 *feet***

Replikasi Kapal 180 <i>feet</i>	Rata-rata Waktu Pengapalan (Hari)	Total Muatan Fly Ash Terkirim (Ton)
Replikasi 1	1,21	37.876
Replikasi 2	1,07	37.128
Replikasi 3	1,05	37.835
Replikasi 4	1,05	37.631
Replikasi 5	1,11	37.291
Replikasi 6	1,14	37.291
Replikasi 7	1,07	37.468
Replikasi 8	1,17	37.441
Replikasi 9	1,11	37.400
Replikasi 10	1,11	37.468
<b>Rata-rata</b>	<b>1,11</b>	<b>37.483</b>

Selanjutnya analisis akan dilakukan untuk kapal tongkang dengan jenis 230 *feet*. Berikut merupakan hasil *what-if analysis* pada jenis kapal 230 *feet*.

**Tabel 6.9 Output Jenis Kapal 230 *feet***

Replikasi Kapal 230 <i>feet</i>	Rata-rata Waktu Pengapalan (Hari)	Total Muatan Fly Ash Terkirim (Ton)
Replikasi 1	1,27	37.713
Replikasi 2	1,21	37.672

Replikasi Kapal 230 feet	Rata-rata Waktu Pengapalan (Hari)	Total Muatan Fly Ash Terkirim (Ton)
Replikasi 3	1,28	37.577
Replikasi 4	1,25	37.169
Replikasi 5	1,27	37.658
Replikasi 6	1,40	36.992
Replikasi 7	1,36	37.482
Replikasi 8	1,29	37.305
Replikasi 9	1,27	37.563
Replikasi 10	1,27	37.318
<b>Rata-rata</b>	<b>1,29</b>	<b>37.445</b>

Selanjutnya analisis akan dilakukan untuk kapal tongkang dengan jenis 300 feet. Berikut merupakan hasil *what-if analysis* pada jenis kapal 300 feet.

Tabel 6.10 Output Jenis Kapal 300 feet

Replikasi Kapal 300 feet	Rata-rata Waktu Pengapalan (Hari)	Total Muatan Fly Ash Terkirim (Ton)
Replikasi 1	1,52	38.026
Replikasi 2	1,52	38.134
Replikasi 3	1,62	38.393
Replikasi 4	1,50	38.502
Replikasi 5	1,49	38.325
Replikasi 6	1,56	37.862
Replikasi 7	1,68	38.529
Replikasi 8	1,68	38.053
Replikasi 9	1,65	38.529
Replikasi 10	1,54	37.998
<b>Rata-rata</b>	<b>1,58</b>	<b>38.235</b>

Selepas semua jenis kapal dilakukan *what-if analysis*, selanjutnya *output* yang telah diperoleh dari hasil *what-if analysis* dilakukan rekapitulasi. Berikut merupakan rekapitulasi hasil *what-if analysis* untuk masing-masing jenis kapal

Tabel 6.11 Rekapitulasi Hasil *What-if Analysis*

Jenis Kapal	Frekuensi Pengapalan Dalam Satu Tahun	Rata-rata Total Muatan Fly Ash Terkirim (Ton)	Rata-rata Waktu Pengapalan (Hari)
180 feet	8	37.483	1,11
230 feet	6	37.445	1,29
270 feet	5	37.713	1,33
300 feet	4	38.235	1,58

Setelah seluruh data tersebut direkap, selanjutnya dilakukan analisis biaya untuk menemukan jenis kapal yang memiliki biaya sewa paling kecil. Berikut merupakan perhitungan total biaya berdasarkan data yang diperoleh dari *what-if analysis*.

**Tabel 6.12 Perhitungan Total Biaya Sewa Kapal**

Jenis Kapal	Frekuensi Pengapalan Dalam Setahun	Rata-rata Waktu Pengapalan (Hari)	Biaya Sewa Per Hari	Total Biaya Sewa Selama Satu Tahun
180 <i>feet</i>	8	1,11	Rp 39.000.000	Rp 346.320.000
230 <i>feet</i>	6	1,29	Rp 46.000.000	Rp 356.040.000
270 <i>feet</i>	5	1,33	Rp 60.000.000	Rp 398.499.653
300 <i>feet</i>	4	1,58	Rp 70.000.000	Rp 442.400.000

Berdasarkan Tabel 6.12, dapat disimpulkan bahwa kapal tongkang dengan jenis 180 *feet* merupakan jenis kapal tongkang yang paling efisien dalam segi biaya bila dibanding dengan jenis lainnya. Dengan penghematan sebesar Rp52.179.653,00 dari jenis kapal yang digunakan pada kondisi semula, yaitu kapal jenis 270 *feet*. Namun, perlu menjadi pertimbangan dengan mengaplikasikan kapal tongkang jenis 180 *feet* maka frekuensi pengapalan selama satu tahun akan mengalami peningkatan menjadi 8 kali. Untuk itu perlu dievaluasi kembali apakah pada kondisi riil, penerapan kapal jenis ini dapat dilakukan serta tidak mengganggu proses kegiatan perusahaan yang lainnya.

*What-if analysis* menunjukkan hasil yang *counterintuitive*. Dalam artian dengan menggunakan kapasitas kapal tongkang yang lebih besar dan juga didukung dengan *crane* yang mempersingkat waktu pengapalan, secara intuisi dapat menghasilkan total biaya yang lebih kecil karena dapat memberikan nilai perkalian antara frekuensi pengapalan dan waktu pengapalan yang minim. Namun, dengan adanya variabel biaya sewa kapal, intuisi tersebut menjadi tidak relevan lagi. Hal tersebut dikarenakan jenis kapal yang memberikan total biaya sewa minimum, justru jenis kapal yang bermuatan kecil.

## BAB VII

### KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini, akan dijabarkan mengenai kesimpulan yang didapatkan dari penelitian tugas akhir ini serta saran yang dapat diberikan untuk penelitian di masa yang akan datang terkait dengan topik penelitian ini.

#### 7.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari tujuan yang telah ditentukan dalam penelitian ini, kesimpulan yang dapat diambil ialah sebagai berikut.

1. Skenario 8 hingga 11 merupakan skenario yang memberikan waktu rata-rata pengapalan minimum, yaitu dengan rata-rata proses pengapalan selama 1,33 hari per tahun. Namun, bila mempertimbangkan adanya faktor biaya, seperti biaya pembelian aset berupa *resource* seperti *crane* dan juga penghematan yang dapat diperoleh dari biaya sewa kapal, maka skenario 8 dengan *resource* berupa 4 unit *dump truck* dan 1 unit *crane* jenis LHM 180 menjadi pilihan yang paling tepat. Dalam kurun waktu 5 tahun, penerapan skenario 8 dapat memberikan penghematan total biaya sebesar Rp2.342.519.097,00 bila dibandingkan dengan kondisi semula.
2. Hasil dari analisis sensitivitas menunjukkan bahwa, kapasitas TPS perlu dirancang sebesar 1,1 hektare dengan tinggi tumpukan *fly ash* yang mencapai 3 meter. Luasan tersebut dapat memuat muatan *fly ash* sebanyak 28.057 ton serta dapat mengantisipasi kemungkinan *rate* pengiriman yang berkurang sebanyak 25% dari data historis. Sedangkan, hasil *what-if analysis* menunjukkan bahwa jenis kapal 180 *feet* merupakan jenis kapal yang dapat memberikan penerapan biaya sewa kapal yang paling ekonomis dengan total biaya sewa selama satu tahun sebesar Rp346.320.000,00 serta penghematan sebesar Rp52.179.653,00 bila dibanding dengan jenis kapal 270 *feet* (kondisi semula). Namun, perlu dipertimbangkan kembali apakah dengan menerapkan jenis kapal 180 *feet*, yang secara tidak langsung akan membuat frekuensi pengapalan menjadi 8 kali, dapat mengganggu proses bisnis yang lainnya.



## 7.2 Saran

Berikut merupakan saran-saran yang diharapkan dapat dilakukan untuk penelitian terkait, di masa yang akan datang.

1. Pada penelitian selanjutnya dapat melakukan pengembangan model simulasi yang lebih mendetail, dengan menambahkan waktu istirahat untuk *resource* maupun untuk operator.
2. Perlu mempertimbangkan adanya *downtime* pada *resource*, sehingga terdapat tambahan faktor penghambat pada proses pengapalan.
3. Perlu dilakukan pengembangan desain TPS yang tepat serta memperhatikan faktor lingkungan untuk menampung limbah B3 berupa *fly ash*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, M. A., Ali, Z. & Haque, M. E., 2014. Fly Ash Slurry Transportation: Indian Scenario. *Waste Technology*, II(1), pp. 1-7.
- American Coal Ash Association, 2016. *User Guidelines for Waste and Byproduct Materials in Pavement Construction*, New Jersey Avenue, SE: Federal Highway Administration Research and Technology.
- Bhatt, A. et al., 2019. Physical, chemical, and geotechnical properties of coal fly ash: A global review. *Elsevier*, 11(e00263), pp. 2214-5095.
- Bowersox, Closs, D. J. & Cooper, M. B., 2002. *Supply Chain Logistics Management*. 1st ed. New York: McGraw-Hill Higher Education.
- Bozorgirad, S., Desa, M. I. & Wibowo, A., 2012. Genetic Algorithm Enhancement to Solve Multi Source Multi Product Flexible Multistage Logistics Network. *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*, 9(3), pp. 157-164.
- Daellenbach, H. G. & McNickle, D. C., 2005. *Management Science: Decision Making Thought System Thinking*. 1st ed. New York: Palgrave Macmillan.
- Davis, P. K., 1992. *Generalizing Concepts of Verification, Validation and Accreditation (VV&A) for Military Simulation*. 1st ed. California: RAND.
- Dent, J., 2011. *Distribution Channels: Understanding and Managing Channels to Market*. 2nd ed. London: Kogan Page.
- Dutta, S., Nadaf, M. B. & Mandal, J. N., 2016. An Overview on the Use of Waste Plastic Bottles and Fly Ash in Civil Engineering Applications. *Procedia Environmental Sciences*, Volume 35, pp. 681-691.
- Groebner, D. F., Shannon, P. W. & Fry, P. C., 2014. *Business Statistics: A Decision-Making Approach*. 9th ed. Harlow: Pearson.
- Harrell, C., Ghosh, B. K. & Bowden, R., 2004. *Simulation Using ProModel*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill.
- Kelton, W. D., Sadowski, R. P. & Zupick, N. B., 2014. *Simulation with Arena*. 6th ed. New York: McGraw-Hill.
- Kurda, R., Silvestre, J. D. & Brito, J. d., 2018. Toxicity and environmental and economic performance of fly ash and recycled concrete aggregates use in concrete: A review. *Heliyon*, 4(4), p. e00611.

- Law, A. M., 2014. *Simulation Modeling and Analysis*. 5th ed. New York: McGraw-Hill.
- Loya, M. I. M. & Rawani, A. M., 2014. A Review: Promising Applications For Utilization of Fly Ash. *International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science*, 02(07), pp. 143-149.
- M., A., 2010. A review on the utilization of fly ash. *Elsevier*, 36(10), pp. 327-363.
- Park, C. S., 2004. *Fundamentals of Engineering Economics*. 1st ed. New Jersey: Pearson.
- Park, C. S., 2007. *Contemporary Engineering Economics*. 4th ed. New Jersey: Pearson Education.
- Pemerintah Provinsi Kalimantan Timur, 2019. *Jaringan Dokumentasi & Informasi Hukum - Penetapan UMK Bontang Tahun 2020*. [Online] Available at: <https://jdih.kaltimprov.go.id> [Accessed 1 July 2020].
- Pidd, M., 2003. *Tools for Thinking: Modelling in Management Science*. 2nd ed. Chichester: John Wiley & Sons.
- Pidd, M., 2004. *Systems Modelling: Theory and Practice*. 1st ed. Chichester: John Wiley & Sons.
- PT Pupuk Kalimantan Timur, 2018. *Sustainability Report*, Bontang: PT Pupuk Kalimantan Timur.
- PT Semen Tonasa, 2016. *Sustainability Report*, Pangkep: PT Semen Tonasa.
- Pujawan, I. N., 2009. *Ekonomi Teknik*. 2nd ed. Surabaya: Guna Widya.
- Ramme, B. W. & Tharaniyil, M. P., 2013. *Coal Combustion Products Utilization Handbook..* 3rd ed. USA: Wisconsin Electric Power Company.
- Robinson, S., 2014. *Simulation: The Practice of Model Development and Use*. 2nd ed. New York: Palgrave Macmillan.
- Waters, D., 2003. *Logistics: An Introduction to Supply Chain Management*. 1st ed. New York: Palgrave Macmillan.
- World Weather Online, 2020. *World Weather Online - Weather Forecast*. [Online] Available at: <https://www.worldweatheronline.com/> [Accessed 13 June 2020].

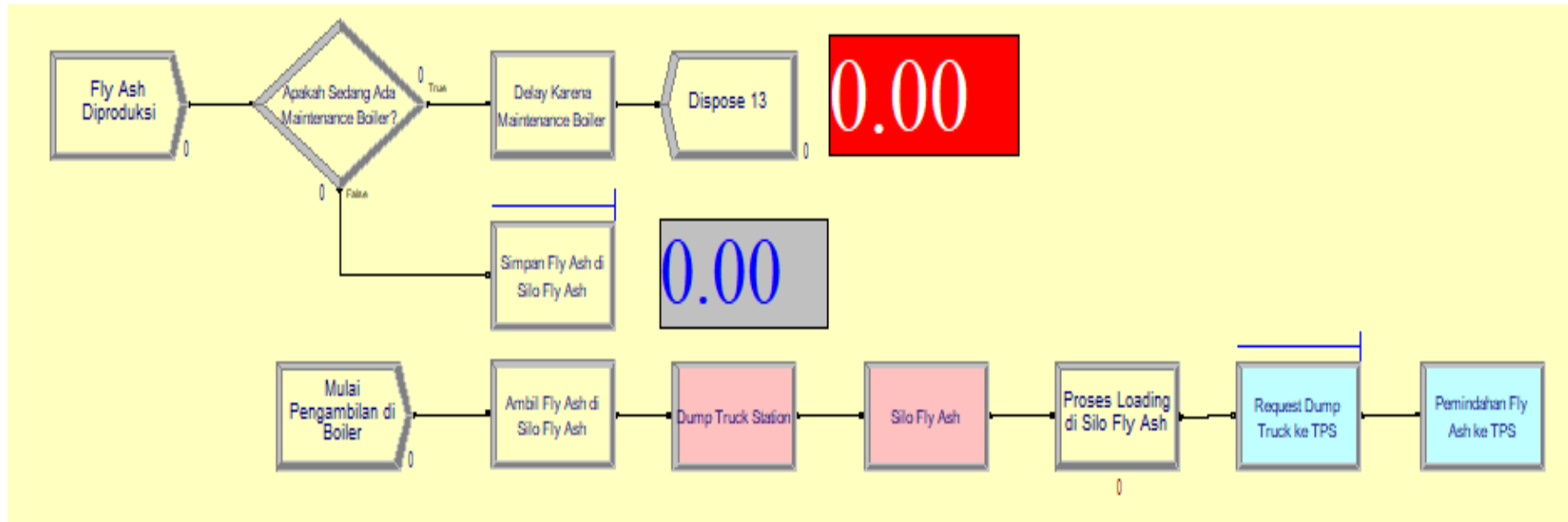
- Yeboah, A., Owusu, A., Boakye, S. & Owusu-Mensah, S., 2013. Effective Distribution Management, a Pre-requisite for Retail. *European Journal of Business and Innovation Research*, 1(3), pp. 28-44.
- Yu, J. et al., 2012. Analysis on Characteristics of Fly Ash from Coal Fired Power Stations. *Elsevier*, 17(10), pp. 3-9.

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## LAMPIRAN

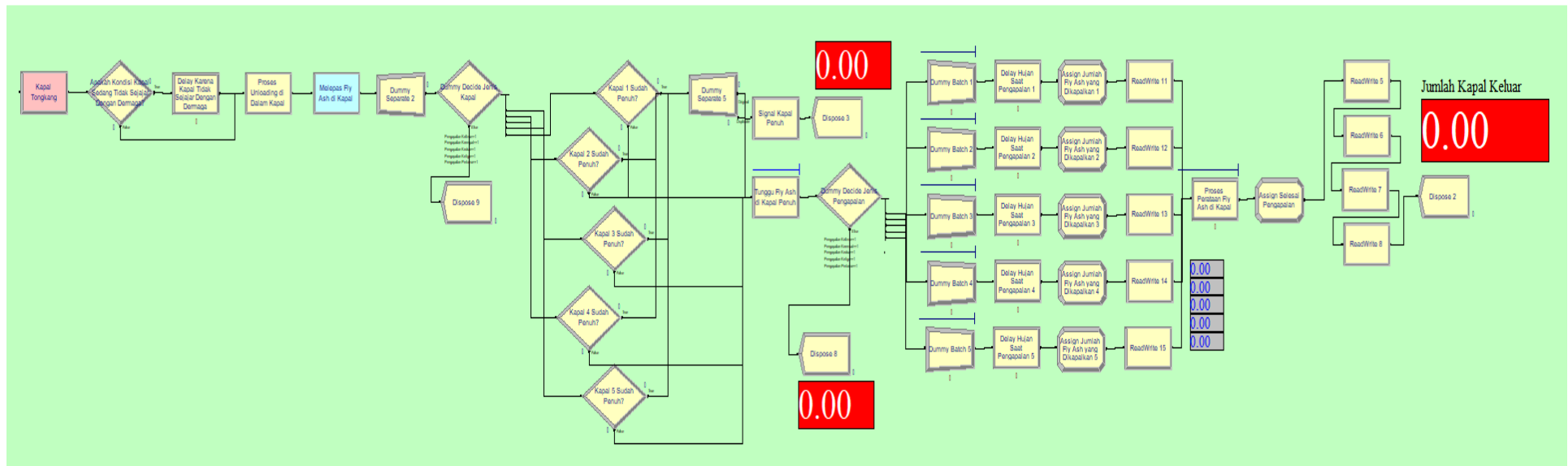
### Model Simulasi Arena (Kondisi Semula)

Blok Model Simulasi *Boiler* Batu Bara





## Blok Model Simulasi Pelabuhan





*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama Muhammad Fahlul Alhabsy merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Triyono dan Ibu Wahyuning Puji Sejati. Lahir di Kota Bontang, 20 Juni 1998. Penulis memulai pendidikan di SD YPVDP, Bontang (2004-2010), SMP YPVDP, Bontang (2010-2013), dan SMA YPVDP, Bontang (2013-2016). Penulisan tugas akhir ini dibuat agar penulis dapat menuntaskan serta mendapatkan gelar S-1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Departemen Teknik Sistem dan Industri. Selain mengikuti kegiatan akademik, penulis juga berpartisipasi aktif dalam beberapa kegiatan kampus lainnya, seperti Himpunan Mahasiswa Teknik Industri dan Himpunan Mahasiswa Bontang.

Penulis aktif dalam mengikuti kegiatan pengembangan sumber daya dan mempelajari bagaimana alur berjalannya sebuah organisasi. Di Himpunan Mahasiswa Bontang, penulis berpengalaman menjadi wakil ketua selama periode tahun 2019. Selain itu, penulis juga aktif dalam beberapa kegiatan olahraga seperti tenis meja dan futsal. Dalam olahraga futsal, penulis pernah memenangkan kejuaraan ITS Futsal Championship dan berhasil meraih juara 1 dalam kompetisi tersebut. Penulis juga memiliki pengalaman kerja praktik di PT Semen Padang selama kurang lebih 2 bulan di bagian *production planner*.

Dalam penelitian tugas akhir ini masih belum sempurna secara seutuhnya. Untuk itu penulis terbuka terhadap saran dan kritik mengenai tugas akhir ini, yang dapat disampaikan melalui email [mfahlula@gmail.com](mailto:mfahlula@gmail.com).