



SKRIPSI – ME 141501

**PEMODELAN DAN ESTIMASI EMISI GAS BUANG  
KAPAL DENGAN METODE DINAMIKA SISTEM, STUDI  
KASUS AREA PELABUHAN TANJUNG PERAK  
SURABAYA**

**NAMA : BAYU AGASTIYA**

**NRP : 4212 100 083**

**DOSEN PEMBIMBING :**

- 1. DR. ENG. TRIKA PITANA, ST, M.SC**
- 2. DR. DHIMAS WIDHI HANDANI, ST, M.SC**

**JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2016**



FINAL PROJECT – ME 141501

***MODELING AND ESTIMATING THE SHIP EMISSIONS  
USING SYSTEM DYNAMICS, CASE STUDY PORT OF  
TANJUNG PERAK SURABAYA***

**NAME : BAYU AGASTIYA**

**NRP : 4212 100 083**

**SUPERVISOR :**

- 1. DR. ENG. TRIKA PITANA, ST, M.SC**
- 2. DR. DHIMAS WIDHI HANDANI, ST, M.SC**

**DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING  
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2016**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PEMODELAN DAN ESTIMASI EMISI GAS BUANG  
KAPAL DENGAN METODE DINAMIKA SISTEM, STUDI  
KASUS AREA PELABUHAN TANJUNG PERAK  
SURABAYA**

**SKRIPSI**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik Pada Bidang Studi Reliability, Availability, and  
Safety (RAMS)

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas  
Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**BAYU AGASTIYA**

**NRP 4212 100 083**

Disetujui oleh Pembimbing Skripsi :

1. Dr. Eng. Trika Pitana, ST, M.Sc
2. Dr. Dhimas Widhi Handani, ST, M.Sc

(  )  
(  )

SURABAYA  
JULI, 2016

## LEMBAR PENGESAHAN

### PEMODELAN DAN ESTIMASI EMISI GAS BUANG KAPAL DENGAN METODE DINAMIKA SISTEM, STUDI KASUS AREA PELABUHAN TANJUNG PERAK SURABAYA

#### SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik Pada Bidang Studi Reliability, Availability, and  
Safety (RAMS)  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas  
Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember

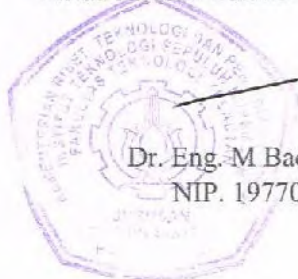
Oleh :

**BAYU AGASTIYA**

**NRP 4212 100 083**

Disetujui oleh,

Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS



*[Signature]*  
Dr. Eng. M Badrus Zaman, ST, MT  
NIP. 197708022008011007

**Judul : PEMODELAN DAN ESTIMASI EMISI GAS  
BUANG KAPAL DENGAN METODE DINAMIKA  
SISTEM, STUDI KASUS AREA PELABUHAN  
TANJUNG PERAK SURABAYA**

**Nama : Bayu Agastiya**  
**NRP : 4212 100 083**  
**Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan**  
**Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Trika Pitana, ST, M.Sc**  
**Dr. Dhimas Widhi H, ST, M.Sc**

**ABSTRAK**

Polusi udara dan global warming menjadi isu yang sangat penting untuk diperhatikan belakangan ini. Polusi udara yang disebabkan oleh pabrik industry, kendaraan bermotor, ataupun gas buang kapal. Indonesia merupakan negara yang memiliki ribuan pulau sehingga kapal memiliki kontribusi yang tinggi dalam proses terjadi polusi udara. Jumlah kapal yang semakin meningkat menjadikan munculnya aturan batasan emisi maksimal yang boleh dikeluarkan oleh kapal. Dibangunnya Terminal Teluk Lamong menjadi salah satu kebijakan pemerintah Indonesia di dalam dunia maritim dalam mengatasi jumlah kapal yang semakin meningkat. Selain itu, penerapan MARPOL Annex VI di dalam suatu negara diperlukan untuk mengontrol jumlah emisi yang dikeluarkan kapal. Pada tugas akhir ini akan dilakukan analisa jumlah emisi yang dihasilkan di area Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya sebelum dan setelah dibangun Terminal Teluk Lamong serta analisa penerapan MARPOL Annex VI di negara Indonesia. Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode dinamika sistem. Metode dinamika sistem dipilih karena dapat digunakan untuk memodelkan sebuah sistem secara dinamik dan dapat digunakan untuk melakukan skenario kebijakan. Selain itu juga dapat digunakan untuk memberikan skenario kebijakan agar mendapatkan hasil yang optimal. Dari hasil analisa menunjukkan

bahwa pembangunan Terminal Teluk Lamong perlu dilakukan untuk mengurangi terjadinya penumpukan jumlah kapal di Pelabuhan Tanjung Perak sedangkan penerapan MARPOL Annex VI dapat mengurangi jumlah emisi antara 16% - 29%.

Kata kunci : Dinamika sistem, Emisi kapal, MARPOL annex VI, Polusi udara

***Title : MODELING AND ESTIMATING THE SHIP EMISSIONS USING SYSTEM DYNAMICS, CASE STUDY PORT OF TANJUNG PERAK SURABAYA***

***Name : Bayu Agastiya***  
***NRP : 4212 100 083***  
***Department : Marine Engineering***  
***Supervisor : Dr. Eng. Trika Pitana, ST, M.Sc***  
***Dr. Dhimas Widhi H, ST, M.Sc***

### ***ABSTRACT***

*Air pollution and global warming considered very important issues. Air pollution caused by industrial, motor vehicles, the exhaust gas of ship can cause global warming. Indonesia is a country that has thousands of islands, so the ship has a high contribution in the process of air pollution. Increasing the number of the ship causes the appearance of rules gives maximum limit emission from the ship. The Port of Teluk Lamong existing became one of the government's policies in the maritime of Indonesia to controlling an increase in the number of ships. In addition, implementation of MARPOL Annex VI in a country required controlling the amount of emissions of exhaust gasses of the ship. In this final project, will be analyzed a number of emissions in the area Port of Tanjung Perak Surabaya before and after Port of Teluk Lamong existing and analyzes the application of MARPOL Annex VI in the country of Indonesia. The study using system dynamic method. System dynamics method was chosen because it can be used to modeling dynamically and can be used to make policy scenarios. It can also be used to provide policy scenarios in order to obtain optimal results. From the results of the analysis, show that the Port of Teluk Lamong existing needs to reduce the number of ships in the port of Tanjung Perak Surabaya and the*

*implementation of MARPOL Annex VI can reduce the amount of emissions between 16% - 29%.*

*Keyword : System dinamic, Ship emission, MARPOL annex VI, Air pollution*

.



# DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>I</b>
<b>TITTLE PAGE</b> .....	<b>III</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>IX</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>XI</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>XIII</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>XV</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>XIX</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>XXI</b>
<b>1. BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 LATAR BELAKANG</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 RUMUSAN MASALAH</b> .....	<b>4</b>
<b>1.3 BATASAN MASALAH</b> .....	<b>4</b>
<b>1.4 TUJUAN PENELITIAN</b> .....	<b>5</b>
<b>1.5 MANFAAT PENELITIAN</b> .....	<b>5</b>
<b>2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>7</b>
<b>2.1 POLUSI UDARA</b> .....	<b>7</b>
<b>2.2 SUMBER POLUSI UDARA</b> .....	<b>8</b>
<b>2.2.1 Sumber Polusi Udara tetap</b> .....	<b>9</b>
<b>2.2.2 Sumber Polusi Udara Bergerak</b> .....	<b>10</b>
<b>2.3 MACAM – MACAM EMISI</b> .....	<b>10</b>
<b>2.3.1 CO<sub>2</sub> (Karbon Dioksida)</b> .....	<b>11</b>
<b>2.3.2 CO (Karbon monoksida)</b> .....	<b>12</b>
<b>2.3.3 NO<sub>x</sub> (Nitrogen Oksida)</b> .....	<b>14</b>
<b>2.3.4 SO<sub>x</sub> (Sulfur Oksida)</b> .....	<b>15</b>
<b>2.3.5 PM (Particulate Malter)</b> .....	<b>17</b>
<b>2.3.6 VOC (Volatile Organic Compound)</b> .....	<b>18</b>
<b>2.4 DAMPAK PENCEMARAN UDARA</b> .....	<b>18</b>

2.5	<b>KONSEP DINAMIKA SISTEM.....</b>	20
2.5.1	<i>Sistem.....</i>	20
2.5.2	<i>Dinamika sistem.....</i>	22
2.5.3	<i>Pendekatan Masalah Dengan Dinamika Sistem.....</i>	22
2.5.4	<i>Tujuan Model Dinamika sistem.....</i>	23
2.5.5	<i>Langkah Pemodelan dinamika sistem.....</i>	23
2.5.6	<i>Kelebihan dan kekurangan dinamika sistem.....</i>	28
2.6	<b>PERHITUNGAN EMISI GAS BUANG KAPAL.....</b>	29
2.6.1	<i>Perhitungan Emisi Kapal.....</i>	29
2.6.2	<i>Mode Operasi kapal.....</i>	31
2.6.3	<i>Faktor Emisi.....</i>	33
2.7	<b>REVIEW PENELITIAN SEBELUMNYA.....</b>	36
3.	<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	39
3.1	<b>DIAGRAM ALIR PENELITIAN.....</b>	40
3.2	<b>PERUMUSAN MASALAH.....</b>	40
3.3	<b>MENETAPKAN TUJUAN PENELITIAN.....</b>	41
3.4	<b>STUDI PUSTAKA.....</b>	41
3.5	<b>PENGUMPULAN DATA.....</b>	41
3.6	<b>IDENTIFIKASI VARIABEL DAN PARAMETER.....</b>	41
3.7	<b>PEMBUATAN MODEL DINAMIKA SISTEM.....</b>	42
3.8	<b>FORMULASI DAN VALIDASI MODEL.....</b>	42
3.9	<b>SKENARIO KEBIJAKAN.....</b>	42
3.10	<b>ANALISA HASIL KEBIJAKAN.....</b>	43
3.11	<b>KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	43
4.	<b>BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN.....</b>	45
4.1	<b>PROSES KAPAL DI PELABUHAN.....</b>	45
4.2	<b>PENGUMPULAN DATA.....</b>	46
4.2.1	<i>Data Jumlah Kunjungan Kapal di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya.....</i>	47
4.2.2	<i>Data Kapal pada Bulan November 2015.....</i>	48
4.3	<b>PENGEMBANGAN MODEL DINAMIK.....</b>	54
4.3.1	<i>Kondisi Eksisting.....</i>	54
4.3.2	<i>Identifikasi Variable.....</i>	56
4.3.3	<i>Pembuatan Causal Loop Diagram.....</i>	60

<b>4.4</b>	<b>PEMBUATAN MODEL DINAMIK .....</b>	<b>61</b>
<b>4.5</b>	<b>FORMULASI MODEL .....</b>	<b>67</b>
<b>4.6</b>	<b>SIMULASI MODEL .....</b>	<b>72</b>
<b>4.7</b>	<b>VALIDASI.....</b>	<b>73</b>
<b>4.8</b>	<b>ANALISA HASIL SIMULASI.....</b>	<b>76</b>
	<i>4.8.1 Analisa Hasil Emisi Sebelum Dibangun Terminal Teluk Lamong .....</i>	<i>77</i>
	<i>4.8.2 Analisa Hasil Emisi Setelah Dibangun Terminal Teluk Lamong .....</i>	<i>83</i>
	<i>4.8.3 Perbandingan Hasil Emisi Sebelum dan Sesudah Dibangun Terminal Teluk Lamong .....</i>	<i>88</i>
<b>4.9</b>	<b>SKENARIO KEBIJAKAN .....</b>	<b>93</b>
<b>4.10</b>	<b>PEMODELAN SKENARIO KEBIJAKAN .....</b>	<b>94</b>
<b>4.11</b>	<b>ANALISA SKENARIO KEBIJAKAN.....</b>	<b>96</b>
<b>5.</b>	<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>103</b>
	<b>5.1 KESIMPULAN.....</b>	<b>103</b>
	<b>5.2 SARAN.....</b>	<b>105</b>
	<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>107</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>GAMBAR 2.1</b> CONTOH <i>CAUSAL DIAGRAM</i> UNTUK TRANSPORTASI PENUMPANG ANTAR KOTA.....	24
<b>GAMBAR 2.2</b> LEVEL .....	25
<b>GAMBAR 2.3</b> <i>AUXILIARY</i> .....	26
<b>GAMBAR 2.4</b> <i>CONSTANT</i> .....	26
<b>GAMBAR 2.5</b> <i>FLOW</i> .....	27
<b>GAMBAR 2.6</b> CONTOH DIAGRAM SIMULASI JUMLAH EMISI CO <sub>2</sub> .....	27
<b>GAMBAR 2.7</b> KARAKTERISTIK PERGERAKAN KAPAL .....	32
<b>GAMBAR 3.1</b> DIAGRAM ALIR PENELITIAN .....	39
<b>GAMBAR 4.1</b> PROSES KAPAL MASUK KE PELABUHAN .....	46
<b>GAMBAR 4.2</b> DATA JUMLAH KAPAL PER BULAN TAHUN 2015 .....	48
<b>GAMBAR 4.3</b> DATA JUMLAH KAPAL PER HARI PADA BULAN NOVEMBER.....	49
<b>GAMBAR 4.4</b> <i>CAUSAL LOOP DIAGRAM</i> KAPAL TANKER.....	60
<b>GAMBAR 4.5</b> MODEL PENGARUH GT TERHADAP KONSUMSI BAHAN BAKAR .....	63
<b>GAMBAR 4.6</b> MODEL KONSUMSI BAHAN BAKAR TOTALL .....	65
<b>GAMBAR 4.7</b> MODEL DINAMIKA SISTEM KAPAL TANKER .....	66
<b>GAMBAR 4.8</b> HASIL PERHITUNGAN EMISI DENGAN MICROSOFT EXCEL .....	74
<b>GAMBAR 4.9</b> JUMLAH EMISI CO PER HARI SEBELUM DIBANGUN TERMINAL TELUK LAMONG .....	79
<b>GAMBAR 4.10</b> JUMLAH EMISI CO <sub>2</sub> PER HARI SEBELUM DIBANGUN TERMINAL TELUK LAMONG .....	80
<b>GAMBAR 4.11</b> JUMLAH EMISI PM PER HARI SEBELUM DIBANGUN TERMINAL TELUK LAMONG .....	80
<b>GAMBAR 4.12</b> JUMLAH EMISI SO <sub>x</sub> PER HARI SEBELUM DIBANGUN TERMINAL TELUK LAMONG .....	81
<b>GAMBAR 4.13</b> JUMLAH EMISI NO <sub>x</sub> PER HARI SEBELUM DIBANGUN TERMINAL TELUK LAMONG .....	81
<b>GAMBAR 4.14</b> JUMLAH EMISI VOC PER HARI SEBELUM DIBANGUN TERMINAL TELUK LAMONG .....	82
<b>GAMBAR 4.15</b> JUMLAH EMISI CO PER HARI SESUDAH DIBANGUN TERMINAL TELUK LAMONG .....	85

<b>GAMBAR 4.16</b> JUMLAH EMISI CO <sub>2</sub> PER HARI SESUDAH DIBANGUN TERMINAL TELUK LAMONG .....	85
<b>GAMBAR 4.17</b> JUMLAH EMISI PM PER HARI SESUDAH DIBANGUN TERMINAL TELUK LAMONG .....	86
<b>GAMBAR 4.18</b> JUMLAH EMISI SOX PER HARI SESUDAH DIBANGUN TERMINAL TELUK LAMONG .....	86
<b>GAMBAR 4.19</b> JUMLAH EMISI NOX PER HARI SESUDAH DIBANGUN TERMINAL TELUK LAMONG .....	87
<b>GAMBAR 4.20</b> JUMLAH EMISI VOC PER HARI SESUDAH DIBANGUN TERMINAL TELUK LAMONG .....	87
<b>GAMBAR 4.21</b> PERBANDINGAN EMISI CO SEBELUM DAN SESUDAH DIBANGUN TERMINAL TELUK LAMONG .....	89
<b>GAMBAR 4.22</b> PERBANDINGAN EMISI CO <sub>2</sub> SEBELUM DAN SESUDAH DIBANGUN TERMINAL TELUK LAMONG .....	89
<b>GAMBAR 4.23</b> PERBANDINGAN EMISI PM SEBELUM DAN SESUDAH DIBANGUN TERMINAL TELUK LAMONG .....	90
<b>GAMBAR 4.24</b> PERBANDINGAN EMISI SOX SEBELUM DAN SESUDAH DIBANGUN TERMINAL TELUK LAMONG .....	90
<b>GAMBAR 4.25</b> PERBANDINGAN EMISI NOX SEBELUM DAN SESUDAH DIBANGUN TERMINAL TELUK LAMONG .....	91
<b>GAMBAR 4.26</b> PERBANDINGAN EMISI VOC SEBELUM DAN SESUDAH DIBANGUN TERMINAL TELUK LAMONG .....	91
<b>GAMBAR 4.27</b> SUBMODEL SKENARIO KAPAL TANKER .....	95
<b>GAMBAR 4.28</b> JUMLAH EMISI CO PER HARI SESUDAH PENERAPAN MARPOL ANNEX VI.....	98
<b>GAMBAR 4.29</b> JUMLAH EMISI CO <sub>2</sub> PER HARI SESUDAH PENERAPAN MARPOL ANNEX VI.....	98
<b>GAMBAR 4.30</b> JUMLAH EMISI PM PER HARI SESUDAH PENERAPAN MARPOL ANNEX VI.....	99
<b>GAMBAR 4.31</b> JUMLAH EMISI SOX PER HARI SESUDAH PENERAPAN MARPOL ANNEX VI.....	99
<b>GAMBAR 4.32</b> JUMLAH EMISI NOX PER HARI SESUDAH PENERAPAN MARPOL ANNEX VI.....	100
<b>GAMBAR 4.33</b> JUMLAH EMISI VOC PER HARI SESUDAH PENERAPAN MARPOL ANNEX VI.....	100

## DAFTAR TABEL

<b>TABEL 1.1</b> JUMLAH KANDUNGAN $NO_x$ , $SO_x$ , $PM$ , $CO$ , DAN $CO_2$ .....	2
<b>TABEL 2.1</b> FAKTOR KONSUMSI BAHAN BAKAR BERDASARKAN TYPE KAPAL .....	29
<b>TABEL 2.2</b> FRAKSI MAKSIMUM KONSUMSI BAHAN BAKAR PADA SETIAP MODE OPERASI .....	33
<b>TABEL 2.3</b> EMISION FAKTOR (KG/TON OF FUEL).....	33
<b>TABEL 4.1</b> DATA KAPAL TANGGAL 5 NOVEMBER 2015 .....	49
<b>TABEL 4.2</b> VARIABEL UNTUK KAPAL TANKER .....	57
<b>TABEL 4.3</b> FORMULASI MODEL KAPAL TANKER.....	68
<b>TABEL 4.4</b> HASIL SIMULASI EMISI PER HARI .....	72
<b>TABEL 4.5</b> HASIL SIMULASI DINAMIKA SISTEM SEBELUM DIBANGUN TERMINAL TELUK LAMONG .....	78
<b>TABEL 4.6</b> HASIL SIMULASI DINAMIKA SISTEM SETELAH DIBANGUN TERMINAL TELUK LAMONG .....	83
<b>TABEL 4.7</b> HASIL SIMULASI DINAMIKA SISTEM SETELAH PENERAPAN MARPOL ANNEX VI.....	96

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Global warming dan polusi udara menjadi isu yang penting untuk dibahas belakangan ini. Global warming menyebabkan naiknya suhu di permukaan bumi dikarenakan terperangkapnya gas karbon dioksida di lapisan atmosfer sehingga dapat menyebabkan es di kutub-kutub bumi mencair sehingga membuat kemampuan lapisan ozon untuk melapisi atmosfer bumi berkurang atau menipis. Banyak faktor yang dapat menyebabkan terjadinya polusi udara seperti pembakaran hutan, penggunaan energi rumah tangga dan industri, kendaraan bermotor, ataupun gas buang kapal.

Emisi yang dihasilkan oleh gas buang kapal memiliki kontribusi yang besar terhadap terjadi pencemaran udara di daerah kota pelabuhan seperti peningkatan konsentrasi SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, dan fraksi lainnya (Kim dan Hopke, 2008). Sebagai negara maritim dimana dua pertiga wilayahnya adalah lautan, Indonesia berkontribusi besar terhadap polusi udara yang diakibatkan oleh transportasi laut. Berdasarkan survey yang dilakukan Departemen Dalam Negeri Republik Indonesia pada tahun 2004, merilis bahwa jumlah pulau di Indonesia adalah 17.504 pulau, dan dari jumlah tersebut dipastikan sebanyak 7.870 pulau sudah memiliki nama, sedangkan sisanya sebanyak 9.634 pulau belum diberi nama. Dengan banyaknya jumlah pulau yang ada di Indonesia maka diperlukan banyak kapal untuk menghubungkan antar pulau di Indonesia tersebut. Semakin banyak jumlah kapal yang beroperasi maka emisi yang dihasilkan dari gas buang kapal akan semakin meningkat.

**Tabel 1.1** Jumlah kandungan  $NO_x$ ,  $SO_x$ , PM, CO, dan  $CO_2$ 

<i>Ship Types</i>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>CO</b>	<b>PM</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>SO<sub>x</sub></b>
<i>Tons/day</i>					
<i>Bulk Carrier</i>	1,29	1,30	0,044	85,26	0,53
<i>Cargo</i>	2,04	3,43	0,099	177,35	1,11
<i>Container</i>	5,03	3,,49	0,147	308,84	1,93
<i>Other Ship</i>	0,43	0,12	0,014	25,51	0,16
<i>Passanger</i>	1,37	0,81	0,056	99,04	0,62
<i>Ro-ro</i>	0,05	0,16	0,004	6,02	0,04
<i>Tanker</i>	12,76	15,27	0,634	1022,43	6,39
<i>Total</i>	22,98	24,57	1,00	1724,44	10,78

**Tabel 1.1** merupakan hasil dari estimasi emisi gas buang kapal yang dilakukan oleh Trika Pitana pada tanggal 3 November 2008. Tabel tersebut menunjukkan jumlah kandungan  $NO_x$ ,  $SO_x$ , PM, CO, dan  $CO_2$  di area Selat Madura. Hasil analisis tersebut diklusterkan berdasarkan type kapal yang beroperasi di selat Madura. Dari table tersebut dapat diketahui bahwa kandungan  $NO_x$ ,  $SO_x$ , PM, CO, dan  $CO_2$  di daerah tersebut tinggi.

Semakin banyaknya jumlah penduduk Indonesia menyebabkan jumlah demand akan barang-barang menjadi semakin meningkat. Jumlah kapal yang dibutuhkan untuk mengangkut kebutuhan juga semakin meningkat. Peningkatan jumlah kapal jika tidak diiringi dengan perubahan fasilitas di pelabuhan akan mengakibatkan *dwelling time* yang semakin lama. Sedangkan saat ini fasilitas yang ada di pelabuhan masih belum memadai sehingga menyebabkan waktu tunggu kapal menjadi semakin lama.

Diresmikannya Terminal Multiguna Teluk Lamong menjadi wajah baru bagi industry maritim di Indonesia. Adanya Teluk Lamong sebagai anak perusahaan PT



Pelabuhan Indonesia III (Persero) dengan konsep terminal semi-otomatis dan ramah lingkungan dapat menekan biaya logistic nasional. Terminal yang telah beroperasi sejak tahun bulan Mei 2014 tersebut merupakan solusi terbaik untuk memecah kepadatan arus barang di wilayah Pelabuhan Tanjung Perak. Terminal Teluk Lamong dilengkapi dengan peralatan modern semi otomatis menjadikan terminal yang memiliki keamanan, kecepatan dan ketepatan waktu yang sangat baik. *Dwelling time* pada Terminal Teluk Lamong hanya 4 hari. Waktu tunggu mulai dari bongkar muat sampai kapal keluar dua kali lebih singkat dibandingkan dengan Pelabuhan Tanjung Priok, Jakarta.

Adanya fasilitas yang canggih pada Terminal Teluk Lamong serta pelayanan yang cepat dan tepat waktu menyebabkan jumlah kapal yang beroperasi pada area Pelabuhan Tanjung Perak semakin meningkat. Banyak pelayaran baik domestik maupun internasional yang telah mencoba melakukan pelayanan dan proses bongkar muat di Terminal Teluk Lamong tersebut, seperti Tiongkok, Hongkong dan Korea melakukan pengiriman barang langsung ke Indonesia tanpa melalui Singapura dan langsung bersandar di Terminal Teluk Lamong. Dengan banyaknya peningkatan jumlah kapal dan perlunya pencegahan terhadap polusi udara maka perlu dilakukan analisa emisi yang dihasilkan oleh gas buang kapal.

Pada tugas akhir ini akan dilakukan analisa emisi pada area Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. Analisa dilakukan dengan melihat jumlah kapal dan type engine yang di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. Perhitungan emisi merupakan emisi yang dihasilkan oleh *main engine* kapal yang berlayar dari karang jamuan menuju ke terminal untuk bersandar dan emisi yang dihasilkan oleh *auxiliary engine* saat

kapal sedang bersandar di pelabuhan atau saat proses bongkar muat. Selanjutnya akan dilakukan beberapa skenario yang dapat dijadikan pedoman oleh pihak terkait agar dapat mengurangi emisi di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. Analisa dilakukan dengan menggunakan metode pendekatan dinamika sistem untuk mengetahui model yang mempengaruhi besarnya emisi oleh gas buang kapal. Keunggulan dinamika sistem ini adalah dapat diterapkan pada banyak kasus, tidak hanya terbatas pada kasus yang bersifat teknik saja tetapi juga bersifat sosial ataupun yang lainnya.

### **1.2 Rumusan Masalah**

Mengacu pada penjelasan pada latar belakang, maka permasalahan yang dapat dikaji untuk dapat diselesaikan adalah sebagai berikut:

1. Bagaimanakah pemodelan emisi yang dihasilkan oleh gas buang kapal pada area Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya?
2. Bagaimanakah dampak dibangunnya Terminal Teluk Lamong dalam kaitannya terhadap polusi udara yang ada di area Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya
3. Bagaimanakah skenario penerapan MARPOL Annex VI dalam mengurangi jumlah emisi yang ada di area Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya?

### **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah di dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pada penelitian tersebut hanya dilakukan di area Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya.

2. Kapal yang dilakukan analisa hanya kunjungan kapal yang terdata oleh Kantor Pelabuhan Utama Tanjung Perak Surabaya.
3. Penelitian hanya dilakukan sampai pada tahap skenario dan evaluasi, tidak sampai tahap implementasi.
4. Tidak memodelkan secara detail mengenai faktor ekonomi.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan pengembangan model dinamika untuk menggambarkan model emisi yang dihasilkan oleh kapal di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya.
2. Melakukan analisa dampak dibangunnya Terminal Teluk Lamong terhadap polusi udara yang dihasilkan di area Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya.
3. Melakukan skenario kebijakan berupa penerapan MARPOL Annex VI untuk mengurangi jumlah emisi yang dihasilkan di area Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menghasilkan model emisi yang dihasilkan oleh gas buang kapal yang berada pada area Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya.
2. Mengetahui dampak dibangunnya Teluk Lamong dalam kaitannya terhadap polusi udara yang dihasilkan di area Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya.

3. Adanya hasil skenario kebijakan yang nantinya dapat diterapkan untuk pihak terkait sebagai solusi dalam mengurangi jumlah polusi udara di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Tinjauan pustaka berisi tentang penjelasan tentang keilmuan dari tugas akhir ini. Merupakan penjabaran mengenai objek penelitian dan review keilmuan terkait penelitian. Diantaranya penjelasan mengenai sistem transportasi, pencemaran udara dan dinamika sistem. Studi dilakukan berdasarkan kajian kepustakaan yang bersumber pada jurnal dan thesis penelitian terdahulu, buku, artikel, dan internet.

#### **2.1 Polusi udara**

Polusi udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi, atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambien turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya.

Polusi udara adalah setiap perubahan langsung atau tidak langsung dari fisik, termal, sifat kimia atau biologis dan setiap bagian dari lingkungan dengan pemakaian, memancarkan, atau menyimpan zat berbahaya, polutan atau limbah, sehingga akan mempengaruhi penggunaan yang menguntungkan menjadi merugikan, menyebabkan suatu kondisi yang berbahaya atau berpotensi bahaya untuk hewan, kesehatan umum, atau kesejahteraan burung, satwa liar atau kehidupan air atau tanaman atau kepada penyebab pelanggaran lainnya yang berakibat buruk pada lingkungan dan tidak ada izin dari pemerintah setempat.

Seinfeld (1975) mendefinisikan sebagai polusi udara setiap kondisi atmosfer dimana zat yang hadir pada konsentrasi tinggi dan di atas tingkat normal ambient untuk

produk efek yang dapat diukur pada manusia, hewan, vegetasi atau bahan. Dia juga memiliki gagasan tentang elemen-elemen dari masalah polusi udara untuk udara tertentu.

## **2.2 Sumber Polusi Udara**

Peraturan pemerintah republik Indonesia nomor 41 tahun 1999 tentang pengendalian pencemaran udara sumber, polusi udara didefinisikan sebagai setiap usaha dan/atau kegiatan yang mengeluarkan bahan pencemar ke udara yang menyebabkan udara tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya.

Sumber polusi udara diklasifikasikan sebagai sumber tetap dan sumber bergerak, pembakaran dan bukan pembakaran, serta langsung dan tidak langsung (Godish, 1985). Sumber emisi memberikan pengaruh yang terhadap terjadinya pencemaran udara. Jenis sumber emisi yang berbeda akan menghasilkan besarnya polusi udara yang berbeda pula. Sebagai contoh tingginya polusi udara yang diakibatkan oleh pabrik industri tidak sama besarnya dengan polusi udara yang dihasilkan oleh gas buang kendaraan.

Godish et al telah mengidentifikasi sumber-sumber polutan lain yang disebut sumber-sumber tidak langsung dimana ia mengacu pada fasilitas yang tidak memancarkan polutan tetapi fasilitas tadi secara tidak langsung berkontribusi terhadap peningkatan tingkat polutan dengan cara meningkatkan lalu lintas kendaraan bermotor.

Terjadinya polusi udara disebabkan oleh dua hal, yaitu terjadinya secara alami dan yang dibuat oleh manusia. Meteorologi dan degradasi adalah contoh dari proses terjadinya polusi secara alami. Meteorologi dan degradasi merupakan contoh alami yang memancarkan polutan ke

atmosfer dan menyebar ke tempat lain dengan mekanisme transportasi seperti angin. Sedangkan contoh terjadi polusi yang dibuat oleh manusia adalah penggunaan bahan-bahan yang dapat menyebabkan polusi, seperti penggunaan bahan CFC (*chlorofluorocarbon*), penggunaan kendaraan bermotor, pabrik-pabrik industri dan lain-lain.

Kondisi lain yang dapat menyebabkan polusi udara adalah terjadinya kebakaran hutan. Kebakaran hutan akan memberikan dampak yang besar terhadap terjadinya polusi udara. Kebakaran hutan ini bisa dikategorikan sebagai penyebab secara alami ataupun penyebab campur tangan manusia. Jika kebakaran hutan terjadi secara alami karena tingginya temperatur di bumi maka ini merupakan proses polusi udara secara alami, namun jika kebakaran hutan merupakan hasil dari tangan manusia yang sengaja membakar hutan maka hal ini dikategorikan sebagai akibat dari ulah tangan manusia.

Fenomena lain yang menghasilkan konsentrasi yang sangat tinggi adalah letusan gunung berapi (Imamura, et al, 2005). Meskipun emisi dari situasi ini sangat tinggi namun kejadian dari fenomena ini juga jarang terjadi. Kejadian belum tentu terjadi setiap 10 tahun sekali. Polusi yang berasal dari kegiatan manusia seperti kendaraan bermotor, emisi dari pabrik industry, boiler, insinerator dan lain-lain juga bisa mencemari lingkungan secara perlahan sampai pada tingkat yang berbahaya jika tidak ada tindakan dari pemerintah (Seinfeld, 1975).

### **2.2.1 Sumber Polusi Udara tetap**

Sumber polusi tetap merupakan sumber polusi udara yang berasal dari sesuatu yang tidak bergerak. Sumber utama polusi dari sumber tetap misalnya adalah emisi dari pabrik

industri dan kebakaran hutan. Pabrik ini menghasilkan dan melepaskan banyak  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ , dan gas-gas berbahaya lainnya. Selain itu, pembangkit listrik tenaga air dan pembakaran terbuka juga merupakan hal lain yang dapat meningkatkan polusi udara terutama pembakaran hutan.

Dalam rangka mengendalikan laju polusi udara yang datang dari sumber tetap, beberapa standar tentang emisi banyak dilakukan. Oleh karena itu langkah-langkah besar pada penerapan tindakan yang tepat dalam pengendalian emisi perlu diambil oleh lembaga-lembaga local atau pemerintah seperti mengubah praktik operasi pabrik, tinggi cerobong asap yang sesuai, dan perangkat control yang layak (Godish, 1985)

### **2.2.2 Sumber Polusi Udara Bergerak**

Sumber polusi tetap merupakan sumber polusi udara yang berasal dari sesuatu yang bergerak. Polusi yang terjadi oleh sumber bergerak biasanya datang dari kendaraan karena perpindahan dari satu daerah ke daerah lain dengan dibantu faktor lain seperti arah angin dan cuaca (Altwicker, 2000). Polusi dari kendaraan bermotor telah menjadi isu karena peningkatan jumlah kendaraan telah meningkat secara signifikan. Semakin meningkatnya jumlah populasi manusia menjadi penyebab meningkatkannya jumlah kendaran, baik digunakan untuk perpindahan manusia dari satu tempat ke tempat lain atau digunakan sebagai sarana pendistribusian barang-barang untuk kebutuhan manusia.

### **2.3 Macam – macam emisi**

Salah satu jenis pencemaran lingkungan adalah pencemaran udara. Secara umum penyebab pencemaran udara terbagi menjadi dua jenis yaitu pencemaran yang terjadi secara ilmiah dan pencemaran akibat aktifitas manusia. Contoh pencemaran yang terjadi secara ilmiah adalah debu



yang diterbangkan angin, debu akibat letusan gunung berapi, dan pembusukan sampah. Sedangkan contoh pencemaran akibat aktivitas manusia adalah penggunaan alat transportasi, penggunaan barang-barang yang dapat menyebabkan polusi, dan aktivitas dari pabrik industri.

Emisi adalah zat, energi atau komponen lain yang dihasilkan dari suatu kegiatan yang masuk atau dimasukkannya ke dalam udara yang mempunyai atau tidak mempunyai potensi sebagai unsur pencemar. Kapal mengeluarkan berbagai jenis emisi yang dapat menyebabkan pencemaran terhadap udara. Jumlah emisi yang melebihi batasan maksimum akan berdampak buruk terhadap lapisan atmosfer dan juga pada kesehatan manusia.

Beberapa jenis emisi yang dikeluarkan oleh kapal diantaranya yaitu  $\text{SO}_x$  (Sulfur Oksida),  $\text{NO}_x$  (Nitrogen Oksida), CO (Karbon Monoksida),  $\text{CO}_2$  (Karbon Dioksida), senyawa organik dan PM (*Particulate Matter*).

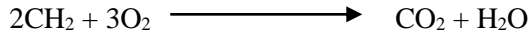
### **2.3.1 $\text{CO}_2$ (Karbon Dioksida)**

Karbon dioksida merupakan senyawa kimia yang terbentuk karena ikatan yang kovalen antara satu atom karbon dan dua atom oksigen. Karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) adalah gas cair tidak berwarna, tidak berbau, tidak mudah terbakar, dan sedikit asam.  $\text{CO}_2$  lebih berat daripada udara dan larut dalam air. Gas  $\text{CO}_2$  memiliki peranan yang penting terhadap terjadinya efek rumah kaca karena ia dapat menyerap gelombang inframerah dengan kuat.

$\text{CO}_2$  dihasilkan dari dua jenis proses yaitu organik dan anorganik.  $\text{CO}_2$  yang dihasilkan dari hasil proses organik adalah hasil keluaran semua manusia, hewan, dan mikroorganisme pada saat proses respiransi serta dihasilkan oleh tumbuhan pada saat proses fotosintesis. Sedangkan  $\text{CO}_2$

sebagai hasil proses anorganik merupakan CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dari hasil samping proses pembakaran fosil pada gas buang kendaraan, gas buang dalam industri dan lain-lain.

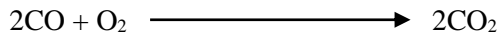
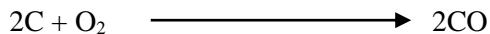
Secara sederhana reaksi pembentukan karbon dioksida di ruang bakar adalah sebagai berikut:



### 2.3.2 CO (Karbon monoksida)

Karbon monoksida merupakan senyawa kimia yang terbentuk karena ikatan yang kovalen antara satu atom karbon dan satu atom oksigen. Karbon monoksida dihasilkan dari pembakaran tak sempurna dari senyawa karbon, sering terjadi pada mesin pembakaran dalam. Karbon monoksida terbentuk apabila terdapat kekurangan oksigen dalam proses pembakaran. Karbon monoksida mudah terbakar dan menghasilkan lidah api berwarna biru, menghasilkan karbon dioksida.

Pembentukan gas CO hanya terjadi jika reaktan yang ada terdiri dari karbon dan oksigen murni. Secara sederhana pembakaran karbon dalam bahan bakar terjadi melalui beberapa tahap sebagai berikut :



Reaksi pertama berlangsung sepuluh kali lebih cepat dari reaksi kedua, oleh karena itu CO merupakan intermediet pada reaksi pembakaran tersebut dan dapat merupakan produk akhir jika jumlah O<sub>2</sub> tidak cukup untuk reaksi kedua.

Reaksi antara karbon dioksida dan komponen yang mengandung karbon pada suhu tinggi dapat menghasilkan CO dengan reaksi sebagai berikut :



Walaupun CO bersifat racun, namun CO juga memainkan peran yang penting dalam teknologi modern, yakni merupakan prekursor banyak senyawa karbon.

Karbon monoksida (CO) apabila terhisap ke dalam paru-paru akan ikut peredaran darah dan akan menghalangi masuknya oksigen yang dibutuhkan oleh tubuh. Hal ini dapat terjadi karena gas CO bersifat racun metabolis, ikut bereaksi secara metabolis dengan darah. Seperti halnya oksigen, gas CO mudah bereaksi dengan darah (hemoglobin).

Reaksi antara gas karbon monoksida dengan hemoglobin dalam darah adalah sebagai berikut:



Afinitas CO terhadap Hb = 210 x daripada afinitas O<sub>2</sub> terhadap Hb. Reaksi ini mengakibatkan berkurangnya kapasitas darah untuk menyalurkan O<sub>2</sub> kepada jaringan-jaringan tubuh. Kadar COHb akan bertambah dengan meningkatnya kadar CO di atmosfer. Gejala yang terasa dimulai dengan pusing-pusing, kurang dapat memperhatikan sekitarnya kemudian terjadi kelainan fungsi susunan syaraf pusat, perubahan fungsi paru-paru dan jantung, sesak napas, dan pingsan dan pada akhirnya kematian pada 750 ppm.

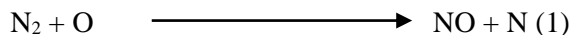
Pengaruh karbon monoksida (CO) terhadap tubuh manusia ternyata tidak sama untuk manusia yang satu dengan

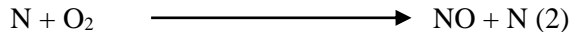
yang lain. Daya tahan tubuh manusia ikut menentukan toleransi tubuh terhadap pengaruh adanya karbon monoksida. Keracunan gas CO dapat ditandai dari keadaan yang ringan, berupa pusing, sakit kepala dan mual. Keadaan yang lebih berat dapat berupa menurunnya kemampuan gerak tubuh, gangguan pada sistem kardiovaskular, serangan jantung sampai pada kematian. Pertolongan bagi orang yang keracunan gas karbon monoksida pada tingkat yang relative masih ringan dapat dilakukan dengan membawa korban ke tempat yang berudara terbuka (segar) dan memberikan kesempatan kepada korban untuk bernafas dalam-dalam.

### 2.3.3 NO<sub>x</sub> (Nitrogen Oksida)

NO<sub>x</sub> adalah sebuah sebutan umum untuk mono-nitrogen oksida yaitu NO (nitrogen monoksida) dan NO<sub>2</sub> (nitrogen dioksida). NO (nitrogen monoksida) dan NO<sub>2</sub> (nitrogen dioksida) adalah senyawa pencemar udara yang penting (Flang, et al.). Kedua macam gas tersebut mempunyai sifat yang sangat berbeda dan keduanya sangat berbahaya bagi kesehatan. Gas NO yang mencemari udara secara visual sulit diamati karena gas tersebut tidak bewarna dan tidak berbau. Sedangkan gas NO<sub>2</sub> bila mencemari udara mudah diamati dari baunya yang sangat menyengat dan warnanya merah kecoklatan. Biasanya untuk senyawa teknik kedua senyawa tersebut disebut dengan istilah NO<sub>x</sub>.

NO<sub>x</sub> (Nitrogen Oksida) merupakan senyawa utama yang dihasilkan dari reaksi antara nitrogen dan oksigen di udara saat pembakaran, terutama pada temperature yang tinggi yang terikat pada bahan bakar tertentu seperti batu bara dan minyak (Flang, et al., 1988). Oksidasi dari N<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> di ruang bakar terjadi melalui dua reaksi berikut ini:





Reaksi (1) di atas membutuhkan energi yang lebih tinggi dikarenakan pelepasan ikatan  $\text{N}_2$  sedangkan reaksi (2) adalah pembentukan NO yang terjadi dari oksidasi nitrogen organik yang terdapat di bahan bakar.

Di tempat-tempat dengan kepadatan lalu lintas yang tinggi, seperti di kota-kota besar, jumlah nitrogen oksida yang dilepaskan ke udara sebagai polusi udara dapat meningkat signifikan. Gas  $\text{NO}_x$  terbentuk di semua tempat yang terdapat pembakaran - contohnya dalam mesin. Dalam kimia atmosfer, sebutan  $\text{NO}_x$  artinya adalah total konsentrasi dari NO and  $\text{NO}_2$ .  $\text{NO}_x$  bereaksi membentuk asbut dan hujan asam.  $\text{NO}_x$  juga merupakan senyawa utama pembentuk ozon troposfer.

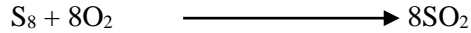
Nitrogen oksida dalam tubuh manusia dapat mengakibatkan terganggunya kinerja hemoglobin dan darah sehingga dapat menyebabkan lemas atau bahkan kematian dan merusak organ dalam paru-paru. Kadar  $\text{NO}_x$  di udara daerah perkotaan yang berpenduduk padat akan lebih tinggi dibandingkan di pedesaan karena berbagai macam kegiatan manusia akan menunjang pembentukan  $\text{NO}_x$ , misalnya transportasi, generator pembangkit listrik, pembuangan sampah, dan lain-lain.

### 2.3.4 $\text{SO}_x$ (Sulfur Oksida)

Sulfur oksida sering ditulis dengan  $\text{SO}_x$ , terdiri dari gas  $\text{SO}_2$  dan gas  $\text{SO}_3$  yang keduanya mempunyai sifat berbeda. Gas  $\text{SO}_2$  berbau sangat tajam dan tidak mudah terbakar, sedangkan gas  $\text{SO}_3$  bersifat sangat reaktif. Gas  $\text{SO}_x$  terbentuk dari adanya oksidasi senyawa sulfur yang terkandung di dalam bahan bakar serta proses industri tertentu yang memanfaatkan

belerang (sulfur). Reaksi pembentukan  $\text{SO}_2$  dari macam-macam sumber emisi sulfur ditunjukkan di bawah ini:

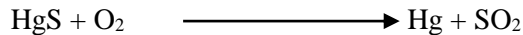
1.  $\text{SO}_2$  berasal dari proses pembakaran sulfur di dalam ruang bakar



2.  $\text{SO}_2$  berasal dari senyawa sulfur organik di dalam bahan bakar



3.  $\text{SO}_2$  berasal dari pemanggangan bijih sulfida seperti pirit, sfalerit, dan *cinnabar* (raksa sulfida)



Sedangkan untuk gas  $\text{SO}_3$  mudah bereaksi dengan uap air di udara yang dapat menyebabkan asam sulfat. Terbentuknya reaksi gas  $\text{SO}_3$  dengan uap air adalah sebagai berikut:



Asam sulfat ini sangat reaktif, mudah bereaksi (memakan) benda-benda lain yang mengakibatkan kerusakan, seperti proses pengkaratan (korosi) dan proses kimiawi lainnya.

Sebanyak dua pertiga dari jumlah sulfur di atmosfer berasal dari sumber-sumber alam seperti volcano, dan terdapat dalam bentuk  $\text{H}_2\text{S}$  dan oksida. Masalah yang ditimbulkan oleh polutan yang dibuat manusia adalah dalam hal distribusinya yang tidak merata sehingga terkonsentrasi

pada daerah tertentu, bukan dari jumlah keseluruhannya, sedangkan polusi dari sumber alam biasanya lebih tersebar merata. Transportasi bukan merupakan sumber utama polutan SO<sub>x</sub> tetapi pembakaran bahan bakar pada sumbernya merupakan sumber utama polutan SO<sub>x</sub>, misalnya pembakaran batu arang, minyak bakar, gas, kayu dan sebagainya. Pembakaran bahan-bahan yang mengandung sulfur akan menghasilkan kedua bentuk sulfur oksida, tetapi jumlah relatif masing-masing tidak dipengaruhi oleh jumlah oksigen yang tersedia.

### 2.3.5 PM (*Particulate Matter*)

*Particulate matter* atau partikel debu merupakan hasil kondensasi dari segala jenis emisi baik dalam bentuk padatan maupun larutan. *Particulate matter* bisa terjadi secara alami ataupun karena aktifitas manusia. *Particulate matter* yang terjadi secara alami adalah seperti *partikulate* yang berasal dari letusan gunung berapi dan kebakaran hutan secara alami. *Particulate matter* yang terjadi karena aktifitas manusia adalah hasil dari pembakaran bahan bakar fosil yang digunakan sebagai bahan bakar kendaraan bermotor, pembangkit listrik, dan berbagai pabrik industri yang dapat menghasilkan sejumlah partikel (Flang, et al., 1988).

Jenis-jenis *particulate matter* biasanya dikategorikan berdasarkan ukuran. Ukuran tersebut disebut juga dengan istilah fraksi. Definisi ukuran yang digunakan dalam satuan *particulate matter* adalah diameter aerodinamis. Misalnya terdapat sebuah partikel dengan ukuran diameter aerodinamis 10 mikrometer yang terdapat dalam gas per unit densitas (1 gram per centimeter kubik). Ukuran partikel dalam gas dengan ukuran diameter aerodinamis 10 mikrometer tersebut disebut dengan istilah PM<sub>10</sub>. PM<sub>10</sub> ini sangat berbahaya bagi manusia. Ukuran PM<sub>10</sub> yang begitu kecil dapat dengan mudah

menembus penyaringan hidung manusia dan dapat mengendap di dalam paru-paru.  $PM_{10}$  dapat menyebabkan penyakit ISPA (Infeksi Saluran Pernafasan Akut).

### **2.3.6 VOC (*Volatile Organic Compound*)**

Senyawa Organik merupakan senyawa yang mengandung atom karbon yang berikatan secara kovalen dengan atom lainnya. dengan beberapa pengecualian seperti karbonat, karbida, sianida dan alotrop karbon. VOC adalah Senyawa organik volatil atau senyawa organik (biasanya benzena dan toluena) yang mudah menguap pada suhu rendah atau suhu kamar baik yang alami maupun buatan manusia.

Kadar VOC yang menguap dapat meningkatkan polusi dan dapat mengancam kesehatan manusia yang menghirupnya sehingga menurut Environmental Protection Agency (EPA) VOC masuk dalam golongan 2B (possible human carcinogenic) atau kemungkinan zat karsinogenik (zat penyebab kanker). Efek kesehatan dari VOC diantaranya adalah iritasi pada mata, hidung dan tenggorokkan, sakit kepala atau pusing, kehilangan koordinasi, mual, kerusakan hati, ginjal, dan sistem saraf pusat. Beberapa organik dapat menyebabkan kanker pada hewan, beberapa diketahui menyebabkan kanker pada manusia. Tanda-tanda atau gejala yang berhubungan dengan paparan VOC termasuk iritasi konjungtiva, ketidaknyaman hidung dan tenggorokan, sakit kepala, reaksi kulit alergi, dispnea, penurunan kadar serum kolinesterase, mual, muntah, epistaksis, kelelahan, dan pusing.

## **2.4 Dampak Pencemaran Udara**

Adanya pencemaran udara akan merusak lingkungan sekitar. Lingkungan yang rusak atau tercemar akan berdampak buruk terhadap aktifitas makhluk hidup, baik



terhadap manusia, hewan ataupun tumbuhan. Berikut merupakan dampak dari adanya pencemaran lingkungan:

1. Dampak terhadap manusia

Udara yang tercemar akan menjadi sumber berbagai virus atau bakteri penyebab penyakit. Udara tercemar yang masuk ke dalam tubuh manusia dapat menyebabkan gangguan kesehatan terutama terjadi pada fungsi faal dari organ tubuh manusia seperti paru-paru dan pembuluh darah, atau menyebabkan iritasi pada mata, iritasi pada kulit. Beberapa penyakit yang disebabkan oleh polusi udara diantaranya adalah bronchitis yang disebabkan oleh partikel debu, penyakit anemia dan kerusakan pada ginjal yang disebabkan oleh kadar timah (Pb) yang tinggi dalam darah dan juga racun gas CO yang dapat menyebabkan sesak nafas dan kematian akibat berkurangnya kadar O<sub>2</sub> dalam darah serta NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, H<sub>2</sub>S dapat menyebabkan iritasi, peradangan dan gangguan pada pernafasan.

2. Dampak terhadap hewan

Beberapa jenis polutan dapat menyebabkan keracunan pada beberapa jenis hewan tertentu. Keracunan pada hewan biasanya disebabkan oleh makanan yang telah tercemar. Dampak negatif yang ditimbulkan seperti gangguan saluran pencernaan, saraf, kejang-kejang, lumpuh, serta metabolisme pada telur ayam terganggu dan penyakit-penyakit lainnya.

3. Dampak terhadap tumbuhan

Salah satu dampak dari adanya polusi udara adalah merusak lapisan ozon sehingga meningkatkan temperatur udara di permukaan bumi. Meningkatnya temperatur

udara akan berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman sehingga akan menurunkan produksi beberapa jenis pangan, sayuran, buah-buahan. Selain kerugian ekonomis, pengaruh utamanya pada daun mengakibatkan proses asimilasi terganggu seperti keluar bintik-bintik pada permukaan daun akibat gas  $\text{NO}_x$ , kerusakan jaringan daun yang disebabkan oleh gas  $\text{NO}_x$ . Kondisi tersebut dapat berakibat daun-daun tanaman berguguran sehingga produksi tanaman akan menurun.

4. Dampak terhadap lingkungan  
Partikel dari polusi udara melalui atmosfer akan mempengaruhi kadar ozon yang berpotensi terhadap perubahan iklim dan cuaca sehingga dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan rumah tangga, abrasi pada batu, berubahnya komposisi struktur tanah, korosif pada bahan seperti besi, tembaga, dan pada kawat listrik yang akan mengakibatkan hubungan pendek.

## **2.5 Konsep Dinamika Sistem**

### **2.5.1 Sistem**

Metode pendekatan sistem merupakan salah satu cara penyelesaian persoalan yang dimulai dengan dilakukannya identifikasi terhadap adanya sejumlah kebutuhan-kebutuhan sehingga dapat menghasilkan suatu operasi dari sistem yang dianggap efektif (Eriyanto, 1998).

Pendekatan sistem umumnya ditandai dua hal yaitu: (1) mencari semua faktor penting yang ada dalam mendapatkan solusi yang baik untuk menyelesaikan masalah; dan (2) dibuat suatu model kuantitatif untuk membantu keputusan rasional. Pengkajian dalam pendekatan sistem seyogianya memenuhi

tiga karakteristik yaitu: (1) kompleks, dimana interaksi antar komponen cukup rumit; (2) dinamik, dalam arti faktor yang terlibat ada yang berubah menurut waktu dan ada pendugaan ke masa depan; dan (3) probabilitas, yaitu diperlukannya fungsi peluang dalam inferensi kesimpulan maupun rekomendasi (Eriyanto, 1998).

Terminologi sistem digunakan dalam berbagai cara yang sangat luas sehingga sulit untuk mendefinisikannya dalam berbagai pernyataan yang menyangkut semua penggunaannya dan yang cukup ringkas untuk memenuhi maksudnya. Secara sederhana, Gordon (dalam Simatupang, 1995) mendefinisikan sistem sebagai suatu agregasi atau kumpulan objek-objek yang terangkai dalam interaksi dan saling ketergantungan yang teratur. Menurut Schmidt dan Taylor (dalam Simatupang, 1995), sistem adalah kumpulan komponen-komponen (entity-entity) yang berinteraksi dan bereaksi antar atribut komponen-komponen atau entity-entitynya untuk mencapai suatu akhir yang logis. L. Ackoff (dalam Pratilo, 2004) mendefinisikan sistem sebagai sekumpulan elemen-elemen yang saling berinteraksi dan merupakan suatu kesatuan yang tersusun atas paling sedikit dua elemen dan terdapat hubungan antar elemen-elemen tersebut, dimana hubungan yang terjadi pada tiap elemen sistem tersebut dapat secara langsung maupun secara tidak langsung.

Dari sejumlah definisi yang dikemukakan di atas, terlihat adanya kesamaan pengertian tentang sistem. Sistem dapat berupa kesatuan yang terdiri atas jaringan kerja kausal dari bagian-bagian yang saling bergantung. Pilihan terhadap hubungan antara tiap-tiap bagian ini akan ditentukan oleh tujuan spesifik dari sistem. Singkatnya, sistem adalah kumpulan objek-objek yang saling berinteraksi dan bekerja

bersama-sama untuk mencapai tujuan tertentu dalam lingkungan yang kompleks (Simatupang, 1995). Objek yang dimaksud di sini adalah bagian-bagian dari sistem seperti input, proses, output, pengendalian umpan balik (*feedback*) dan batasan-batasan, dimana setiap bagian itu dapat memiliki beberapa nilai atau harga yang dapat menggambarkan keadaan sistem pada suatu kondisi tertentu.

### **2.5.2 Dinamika sistem**

Dinamika sistem adalah sistem yang dipengaruhi oleh perubahan waktu. Dinamika sistem memakai waktu sebagai *variable independent* (bebas/berpengaruh). Dinamika sistem menunjukkan perubahan setiap saat akibat aktivitas-aktivitasnya. Perubahan-perubahan yang terjadi dalam sistem dapat diturunkan sebagai fungsi dari waktu. Dinamika sistem merupakan suatu metodologi untuk mengerti jenis tertentu dari berbagai permasalahan yang kompleks (Richard & Pugh, 1981).

### **2.5.3 Pendekatan Masalah Dengan Dinamika Sistem**

Metode dinamika sistem diperkenalkan tahun 1950 oleh Jay Wright Forrester di MIT, Amerika Serikat. Metodologi ini dikembangkan dari teori control. Analisisnya dilakukan dengan mengambil faktor waktu sehingga faktor yang penting dan melibatkan studi tentang bagaimana sistem dapat bertahan atau bahkan mengambil keuntungan dari gejala-gejala yang datang dari luar sistem. Prinsip utama dari metodologi ini adalah struktur umpan balik (*feedback*).

Permasalahan-permasalahan yang dapat dipandang sebagai permasalahan dinamika sistem mempunyai ciri:

1. Dinamik, yaitu melibatkan kuantitas yang selalu berubah menurut waktu. Hal ini dapat diperlihatkan dari grafik

sebuah variable terhadap waktu. Naik turunnya tenaga kerja pada sebuah industri, peningkatan populasi udara adalah contoh permasalahan dinamik.

2. Adanya mekanisme umpan balik (feedback). Umpan balik merupakan proses penyampaian kembali informasi tentang keadaan suatu sistem pada suatu saat. Mekanisme ini merupakan sarana untuk mengendalikan keadaan sistem melalui proses pengambilan keputusan.

#### **2.5.4 Tujuan Model Dinamika sistem**

Model dinamika sistem ditujukan tidak hanya untuk memberikan prediksi, namun juga lebih ditujukan memahami karakteristik maupun mekanisme internal yang terjadi di dalam sistem. Tujuan pemodelan akan sangat membantu dalam melakukan formulasi model, penentuan batasan model, analisa kebijakan, dan penerapan model.

#### **2.5.5 Langkah Pemodelan dinamika sistem**

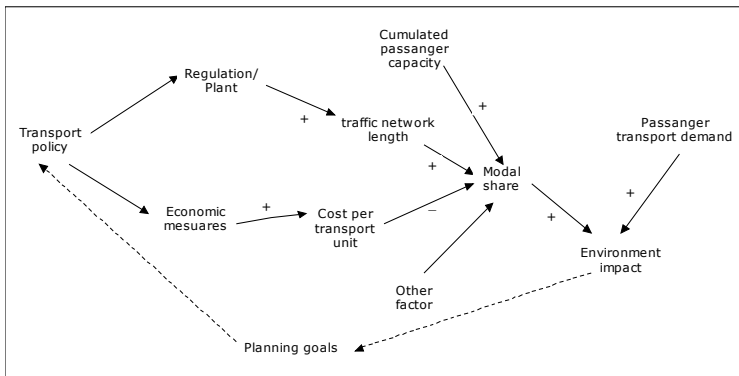
Untuk memodelkan suatu sistem yang kompleks dengan metode dinamika sistem, Forester (1961) merumuskan ke dalam empat langkah berikut ini.

##### **a. Mendefinisikan Masalah**

Perlunya merumuskan suatu masalah yang akan dilakukan pemodelan dan juga menentukan tujuan dari pemodelan tersebut. Tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk memperoleh total emisi gas buang kapal yang berbendera Indonesia setelah dilakukan pemodelan berdasarkan umur kapal. Selanjutnya dapat digunakan acuan oleh pemerintah sebagai dasar penerapan kebijakan baru untuk pembatasan umur kapal yang beroperasi di wilayah perairan Indonesia sehingga dapat mengurangi pencemaran atau polusi udara yang dihasilkan oleh gas buang kapal.

b. Membuat *Causal Diagram*

*Causal Diagram* atau diagram sebab akibat merupakan suatu peta atau pola sederhana yang menggambarkan keterkaitan antar komponen di dalam suatu sistem. **Gambar 2.1** merupakan contoh *causal diagram* dari dampak lingkungan akibat transportasi antar kota. Diagram tersebut menjelaskan hubungan antar variable yang dapat mempengaruhi dampak polusi akibat kebijakan pemerintah dalam penerapan transportasi antar kota. Hubungan ditunjukkan dengan tanda positif dan negatif. Hubungan positif berarti jika satu variable naik maka variable yang berkaitan dengannya juga akan naik. Sedangkan hubungan negatif berarti jika suatu variable naik maka variable yang berkaitan dengan variable tersebut berarti turun.



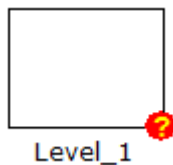
**Gambar 2.1** Contoh *causal diagram* untuk transportasi penumpang antar kota

c. Membuat *Stock and Flow Diagram*

*Stock flow diagram* menjelaskan lebih detail mengenai hubungan sebab akibat antar variable yang telah ada dalam causal diagram. *Stock and flow diagram* adalah model dinamika sistem yang menunjukkan hubungan yang terjadi antara beberapa variable di pada suatu sistem yang beroperasi (Handani, DW, et al, 2014). Pada tugas akhir akan digunakan software Powersim Studio 8 untuk memodelkan emisi dari gas buang kapal. Powersim merupakan software simulasi untuk dinamika sistem dengan menggunakan metodologi pemodelan berbasis komputer. Dalam Powersim Studio 8 terdapat empat item utama yaitu *Stock/level*, *auxiliary*, *constant* dan *flow/rate*.

❖ *Stock/Level*

Stock atau level merupakan bagian dalam powersim yang menggambarkan variable yang akan dicari nilainya. Selain itu juga untuk mengakumulasi nilai dari hasil masukan yang ditentukan oleh rate (Priharanto, 2015). **Gambar 2.2** menunjukkan gambar simbol *level* yang ada pada Powersim Studio 8.



**Gambar 2.2** *Level*

(Sumber: Powersim Studio 8)

❖ *Auxiliary*

*Auxiliary* adalah bagian dari powersim yang digunakan untuk memasukkan informasi berupa rumus. **Gambar**

2.3 menunjukkan gambar simbol *auxiliary* yang ada pada Powersim Studio 8.



Auxiliary\_1

**Gambar 2.3** *Auxiliary*

(Sumber: Powersim Studio 8)

❖ *Constant*

*Constant* merupakan bagian dari powersim yang memberikan inputan untuk memberikan informasi terhadap hasil yang akan dicari nilainya. **Gambar 2.4** menunjukkan gambar simbol *constant* yang ada pada Powersim Studio 8.



Constant\_1

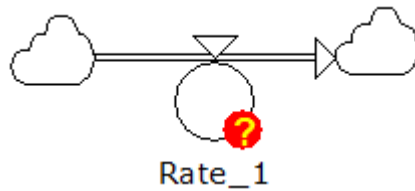
**Gambar 2.4** *Constant*

(Sumber: Powersim Studio 8)

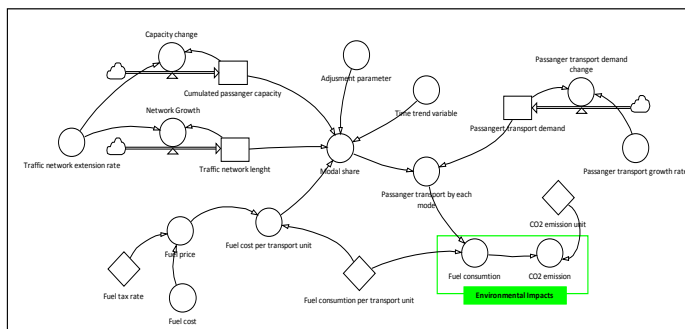
❖ *Flow/Rate*

*Flow/Rate* adalah bagian dari powersim yang menunjukkan arah kerja dari suatu sistem. **Gambar 2.5** menunjukkan gambar simbol *rate* yang ada pada Powersim Studio 8.





**Gambar 2.5 Flow**  
(Sumber: Powersim Studio 8)



**Gambar 2.6** Contoh diagram simulasi jumlah emisi CO<sub>2</sub>

Setelah mengetahui item-item dalam Powersim Studio 8, selanjutnya diagram dari simulasi dapat dibuat. **Gambar 2.6** merupakan contoh dari model simulasi jumlah emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan akibat penggunaan angkutan antar kota.

#### d. Simulasi dan Hasil

Untuk dapat menjalankan simulasi, kondisi awal dari setiap variabel harus telah didefinisikan. Untuk mendefinisikan kondisi awal dari suatu variable diperlukan suatu data-data penunjang.

### 2.5.6 Kelebihan dan kekurangan dinamika sistem

Kelebihan dari dinamika sistem adalah sebagai berikut:

- a. Tersedianya kerangka kerja yang fleksibel bagi aspek kausalitas, non linearitas, dinamika dan perilaku endogen.
- b. Menambah pengalaman eksperimental bagi para pengambil kebijakan berdasarkan perilaku faktor-faktor pendukung sistem.
- c. Adanya kemudahan untuk mengatur skenario simulasi sesuai dengan yang dikehendaki.
- d. Tersedianya sumber informasi dari data yang sifatnya mental, tertulis, maupun numeric sehingga model yang dihasilkan lebih berisi dan representative.
- e. Tidak membutuhkan parameter yang terlalu teliti.
- f. Menghasilkan struktur model dari input-input yang manajerial dan mensimulasikan lewat prosedur komputasi yang kuantitatif.

Sedangkan kekurangan dari dinamika sistem adalah:

- a. Ketepatan model sangat bergantung pada pembuat model.
- b. Sangat dipengaruhi ketepatan pembuat batasan model.
- c. Kurang baik digunakan untuk mempelajari sistem jangka pendek.
- d. Tidak menghasilkan solusi optimal.
- e. Pemodelan umumnya dilakukan dengan struktur yang sangat kompleks, sehingga sulit untuk dimengerti oleh orang lain.

## 2.6 Perhitungan Emisi Gas Buang Kapal

### 2.6.1 Perhitungan Emisi Kapal

Ada beberapa metode yang dapat digunakan dalam perhitungan emisi gas buang kapal. Salah satu standard yang dapat digunakan untuk perhitungan emisi adalah yaitu standard metodologi Eropa *MEET (Methodologies for estimating air pollution emissions from transport)*. Carlo Trozzy dalam penelitiannya menggunakan standar MEET dan menemukan formula untuk menghitung besarnya emisi kapal berdasarkan GT kapal dan mode operasional kapal.

Perhitungan emisi dengan standard MEET dalam menghitung konsumsi bahan bakar didasarkan pada type kapal dan ukuran GT kapal. **Tabel 2.1** Faktor konsumsi bahan bakarmenunjukkan nilai faktor konsumsi bahan bakar menurut type kapal. Type kapal untuk perhitungan menurut standar MEET dibagi menjadi 12 kelas yaitu *solid bulk, liquid bulk, general cargo, container, ro-ro, passanger, high speed ferry, inland cargo, sail ship, tugs, fishing, dan other ship*.

**Tabel 2.1** Faktor konsumsi bahan bakar berdasarkan type kapal

<i>Ship Class</i>	<i>Consumption at full power (tons/day) as a function of gross tonnage (GT)</i>
<i>Solid Bulk</i>	$C_{jk} = 20.1860 + 0.00049 \times GT$
<i>Liquid Bulk</i>	$C_{jk} = 14.6850 + 0.00079 \times GT$
<i>General Cargo</i>	$C_{jk} = 9.8197 + 0.00143 \times GT$
<i>Container</i>	$C_{jk} = 8.0552 + 0.00235 \times GT$
<i>Passanger/Ro-Ro/Cargo</i>	$C_{jk} = 12.8340 + 0.00156 \times GT$
<i>Passanger</i>	$C_{jk} = 16.9040 + 0.00198 \times GT$
<i>High Speed Ferry</i>	$C_{jk} = 39.4830 + 0.00972 \times GT$

<i>Ship Class</i>	<i>Consumption at full power (tons/day) as a function of gross tonnage (GT)</i>
<i>Inland Cargo</i>	$C_{jk} = 9.8197 + 0.00143 \times GT$
<i>Sail Ship</i>	$C_{jk} = 0.4268 + 0.00100 \times GT$
<i>Tugs</i>	$C_{jk} = 5.6511 + 0.01048 \times GT$
<i>Fishing</i>	$C_{jk} = 1.9387 + 0.00448 \times GT$
<i>Other Ship</i>	$C_{jk} = 9.7126 + 0.00091 \times GT$

Selanjutnya Trozzy dengan menggunakan nilai konsumsi bahan bakar berdasarkan type kapal dan GT (*Gross Tonnage*) menentukan formulasi untuk perhitungan emisi gas buang kapal sebagai berikut:

$$E_i = \sum_{jklm} E_{ijklm}$$

$$E_{ijklm} = S_{jkm}(GT) t_{jklm} F_{ijklm}$$

Faktor yang digunakan untuk menghitung menggunakan metode Trozzy adalah sebagai berikut:

- $i$  = Polutan
- $j$  = Jenis bahan bakar
- $k$  = Pengelompokan kapal
- $l$  = Type mesin
- $m$  = Mode operasi kapal
- $E_i$  = Total emisi polutan  $i$

$E_{ijklm}$  = Total emisi polutan  $i$  saat menggunakan bahan bakar  $j$  dengan tipe kapal  $k$  dan jenis mesin  $l$

$F_{ijklm}$  = Rata-rata emisi faktor polutan  $i$  dari bahan bakar  $j$  dengan tipe mesin  $l$  dalam mode  $m$

$S_{jkm}(GT)$  = konsumsi bahan bakar  $j$  per hari pada kapal jenis  $k$  pada mode  $m$  sebagai fungsi GT

$t_{jklm}$  = waktu berlayar kapal jenis  $k$  dengan type mesin  $l$  berbahan bakar  $j$  pada mode  $m$ .

Sedangkan perhitungan pada *auxiliary engine* mengikuti rumus berdasarkan perhitungan Ishida sebagai berikut:

$$f = 0.2 O L$$

dimana:

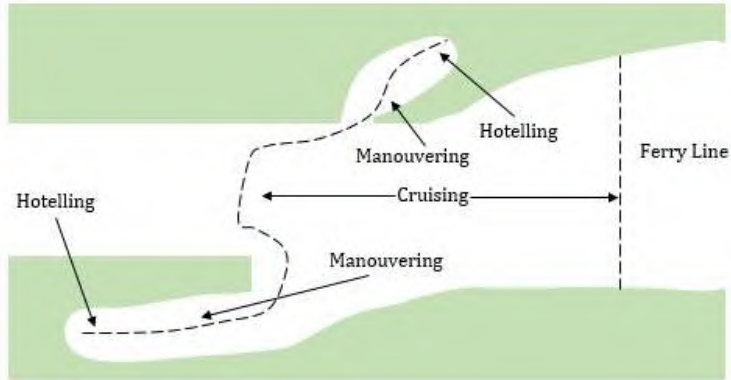
$f$  = Konsumsi bahan bakar (kg/kapal/jam)

$O$  = *Rated output* (PS/engine)

$L$  = *Load faktor* (*cruising* : 30%, *hotelling* (tanker) : 60%, *hotelling* (kapal lain, selain kapal tanker) : 40%, *maneuvering* : 50%)

### 2.6.2 Mode Operasi kapal

Dalam melakukan perhitungan emisi yang dihasilkan oleh pergerakan kapal, langkah pertama yang perlu dilakukan adalah menentukan mode dari operasional kapal tersebut (Pitana, *et al.*, 2010). Dalam perhitungan konsumsi bahan bakar dan emisi, Trozzy *et al* membagi mode operasional kapal menjadi tiga mode yaitu *hotelling*, *maneuvering*, dan *cruising*. *Maneuvering* didefinisikan sebagai saat dimana kapal mendekati, docking, berangkat dari pelabuhan atau bisa didefinisikan sebagai perubahan kecepatan secara signifikan dalam waktu yang relative singkat (Pitana *et al*, 2010). *Hotelling* didefinisikan sebagai kondisi saat kapal berlabuh di dermaga, sedangkan *cruising* adalah kondisi saat kapal berlayar dalam kecepatan yang konstan (Pitana *et al*, 2010).



**Gambar 2.7** karakteristik pergerakan kapal

**Gambar 2.7** menunjukkan gambaran umum dari mode operasional kapal. Pada gambar tersebut menunjukkan bagaimana posisi kapal saat *hotelling*, *maneuvering*, dan *cruising*. Pada penelitian ini dilakukan di area pelabuhan sehingga mode kapal yang mungkin terjadi hanya mode *hotelling* atau *maneuvering*. Setelah mode kapal diketahui maka selanjutnya perhitungan konsumsi bahan bakar dihitung dengan mempertimbangkan fraksi konsumsi bahan bakar maksimum dari masing-masing mode operasi kapal.

Pertimbangan fraksi ini perlu dilakukan karena kapal mengonsumsi jumlah bahan bakar yang berbeda pada kondisi mode operasi yang berbeda. Trozzy *et al* memberikan nilai fraksi untuk masing-masing mode operasi kapal seperti ditunjukkan pada tabel di bawah.

**Tabel 2.2** menunjukkan nilai fraksi default yang dapat digunakan untuk setiap mode kapal yang berbeda. Nilai fraksi tersebut berdasarkan atas mode operasional kapal dan tipe kapal. Untuk kapal dengan mode operasional *cruising* dan *maneuvering* memiliki nilai yang sama untuk semua jenis

kapal sedangkan untuk mode *hotelling*, kapal penumpang memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan kapal tipe lainnya. Khusus untuk kapal Tug Boat memiliki mode operasional yang berbeda yaitu *ship assistance*, *moderate activity*, dan *under tow*.

**Tabel 2.2** Fraksi maksimum konsumsi bahan bakar pada setiap mode operasi

Mode	Friksi
<i>Cruising</i>	0.80
<i>Maneuvering</i>	0.40
<i>Hotelling default</i>	0.20
<i>Passanger</i>	0.32
<i>Tanker</i>	0.20
<i>Other</i>	0.12
<i>Tug : ship assistance</i>	0.20
<i>Moderate activity</i>	0.50
<i>Under tow</i>	0.80

### 2.6.3 Faktor Emisi

Dalam menentukan faktor emisi dapat menggunakan beberapa literatur yang sudah tersedia seperti Alexandersson *et al* , 1993; Bouscaren,1990; Cooper *et al*, 1996, EMEP, 1996; Klokk, 1995; Hadler *et al*, 1994; Flodstrom, 1997; Lloyd's Register, 1990; 1993a, 1993b, 1993c, 1995; Melhus, 1990; NMTRI, 1990; Rideout, 1997; SET, 1981; Sowman, 1996; TRI, 1992; USEPA, 1985, 1995. (Trozzy *et al*, 1999).

**Tabel 2.3** Emission Faktor (kg/ton of fuel)

Phase	Engine Types	NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	VOC	PM	SO <sub>x</sub>
<i>Cruising</i>	<i>Steam Turbin - BFO</i>	6.98	0.431	3200	0.085	2.50	20s
	<i>Steam Turbin - MDO</i>	6.25	0.6	3200	0.5	2.08	20s

<i>Phase</i>	<i>Engine Types</i>	<i>NO<sub>x</sub></i>	<i>CO</i>	<i>CO<sub>2</sub></i>	<i>VOC</i>	<i>PM</i>	<i>SO<sub>x</sub></i>
	<i>High speed diesel engines</i>	70	9	3200	3	1.5	20s
	<i>Medium speed diesel engines</i>	57	7.4	3200	2.4	1.2	20s
	<i>Slow speed diesel engines</i>	87	7.4	3200	2.4	1.2	20s
	<i>Gas turbine</i>	16	0.5	3200	0.2	1.1	20s
	<i>Pleasure - Inbord diesel</i>	48	20	3200	26	neg.	20s
	<i>Pleasure - Inbord gasoline</i>	21.2	201	3200	13.9	neg.	20s
	<i>Outboard gasoline engines</i>	1.07	540	3200	176	neg.	20s
<i>Maneuvering</i>	<i>Steam Turbin - BFO</i>	6.11	0.19	3200	0.85	2.50	20s
	<i>Steam Turbin - MDO</i>	5.47	0.27	3200	5.0	2.08	20s
	<i>High speed diesel engines</i>	63	34	3200	4.5	1.5	20s
	<i>Medium speed diesel engines</i>	51	28	3200	3.6	1.2	20s
	<i>Slow speed diesel engines</i>	78	28	3200	3.6	1.2	20s
	<i>Gas turbine</i>	14	1.9	3200	0.3	1.1	20s
	<i>Pleasure - Inbord diesel</i>	48	20	3200	26	neg.	20s
	<i>Pleasure - Inbord gasoline</i>	21.2	201	3200	13.9	neg.	20s
<i>Hotelling</i>	<i>Outboard gasoline engines</i>	1.07	540	3200	176	neg.	20s
	<i>Steam Turbin - BFO</i>	4.55	0	3200	0.4	1.25	20s
	<i>Steam Turbin - MDO</i>	3.11	0.6	3200	0.5	2.11	20s
	<i>High speed diesel engines</i>	28	120	3200	28.9	1.5	20s
	<i>Medium speed diesel engines</i>	23	99	3200	23.1	1.2	20s



<i>Phase</i>	<i>Engine Types</i>	<i>NO<sub>x</sub></i>	<i>CO</i>	<i>CO<sub>2</sub></i>	<i>VOC</i>	<i>PM</i>	<i>SO<sub>x</sub></i>
	<i>Slow speed diesel engines</i>	35	99	3200	23.1	1.2	20s
	<i>Gas turbine</i>	6	7	3200	1.9	1.1	20s
	<i>Pleasure - Inbord diesel</i>	neg	neg.	neg.	neg.	neg.	neg.
	<i>Pleasure - Inbord gasoline</i>	neg	neg.	neg.	neg.	neg.	neg.
	<i>Outboard gasoline engines</i>	neg	neg.	neg.	neg.	neg.	neg.
<i>Tanker load. / off-load.</i>		12	1	3200	0.01	2.11	20s

s : sulphur content of fuel (% by weight)

**Tabel 2.3** menunjukkan nilai faktor emisi untuk NO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, VOC, PM, dan SO<sub>x</sub> pada tiap mode kapal. Penggunaan faktor emisi default disarankan menggunakan nilai faktor emisi seperti pada **Tabel 2.3**. Faktor emisi untuk *steam turbin* pada mode *hotelling* dan *cruising* berasal dari USEPA 1985, untuk *maneuvering* berasal dari SET 1981. Faktor emisi *medium dan slow speed diesel engine* pada kondisi *maneuvering* dan *crusing* dari Lloyd's Register 1995, untuk *hotelling*, ratio *hotelling/cruising* diperoleh dari USEPA 1985 yang digunakan untuk data dari Lloyd's Register 1995 (Trozzy *et al*).

Faktor emisi *gas turbine* pada mode *cruise* diambil dari informasi yang tersedia pada instalasi di daratan. Untuk faktor emisi NO<sub>x</sub> adalah 14-19 kg/ton untuk *marine engine* (Sowman, 1996) dan 16 kg/ton untuk land-based (EMEP, 1996). Faktor emisi untuk jenis polutan lain berasal dari instalasi darat *gas turbine* (EMEP, 1996) untuk CO dan VOC, dan USEPA 1995 untuk PM.

## 2.7 Review Penelitian Sebelumnya

Banyak penelitian sebelumnya yang telah dilakukan untuk melakukan estimasi atau perhitungan emisi gas buang kapal. Trozzi dan Vaccano R (1998) telah dalam penelitiannya telah menemukan sebuah metode untuk menentukan estimasi pencemaran udara yang keluar dari engine berdasarkan konsumsi bahan bakarnya. Dengan menggunakan Metode Trozzy dan Vaccano, Pitana et al (2010) melakukan estimasi gas buang pada kapal di area selat Madura dengan menggunakan data AIS (*Automatic Identification Sistem*). Hasil estimasi oleh Pitana menghasilkan jumlah emisi gas buang kapal yang dikelompokkan berdasarkan type kapal dan bendera Negara.

Ariana M, Pitana T, Artana KB, Dinariyana B, Masroeri AA. (2013) Mengombinasikan data *Automatic Identification Sistem (AIS)* dan *Geographic Identification Sistem (GIS)* untuk mengetahui emisi yang dihasilkan oleh gas buang kapal serta menentukan distribusi sebaran dari gas buang kapal tersebut. Perhitungan emisi menggunakan dari *Automatic Identification Sistem (AIS)* dan menggunakan data dari database kapal. Sedangkan distribusi sebaran dari emisi di daerah selat Madura digunakan metode *The Gaussian Plum and Gaussian Puff Model*.

Saputra H, Maimun A, Koto J (2013) melakukan penelitian dengan judul “*Estimation and Distribution of Exhaust Ship Emission from Marine Traffic in the Straits of Malacca and Singapore using Automatic Identification System (AIS) Data*”. Penelitian tersebut bertujuan untuk menghitung jumlah emisi yang dihasilkan oleh kapal yang berada di selat Malacca dengan menggunakan data dari *Automatic Identification Sistem (AIS)*.

Han J, Hayashi Y. (2008) melakukan penelitian “A sistem dynamics model of CO<sub>2</sub> mitigation in China’s inter-city passenger transport”. Dengan menggunakan pemodelan sistem dinamik Han J menentukan jenis moda transportasi yang harus digunakan untuk penumpang antar kota agar emisi yang dihasilkan seminimal mungkin. Han melakukan mitigasi terhadap kebijakan pemerintah dan melakukan beberapa scenario agar CO<sub>2</sub> dapat dikurangi.

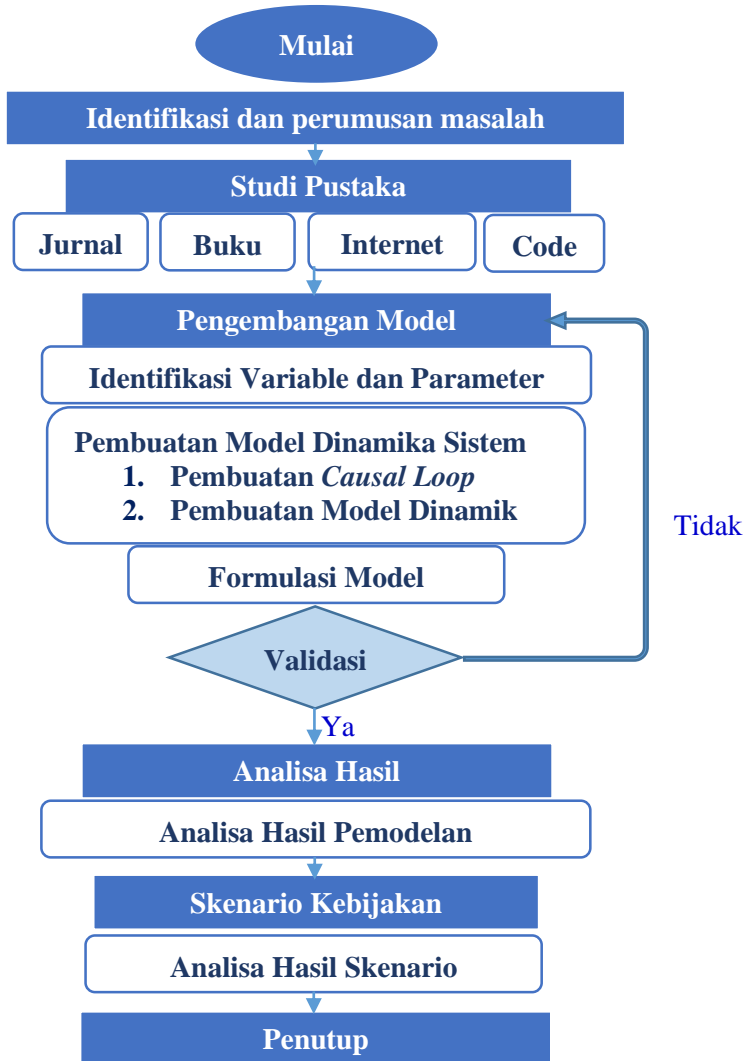
Sedangkan penelitian dengan menggunakan dinamika sistem yang berkaitan dengan polusi udara atau lingkungan pernah dilakukan oleh Indrawati (2010) dengan judul “Analisa Risiko lingkungan Sistem Reuse Cartride Dengan Pendekatan Sistem Dinamis”. Dalam penelitian tersebut Indrawati memodelkan interaksi antar stakeholder yang mampu meminimalisasi pencemaran terhadap lingkungan.

Penelitian mengenai dinamika sistem lainnya juga pernah dilakukan oleh De Brito *et al* (2010) yang diterapkan untuk mereduksi emisi CO<sub>2</sub> dengan studi kasus di Brazil. Hasil dari penelitian ini berupa model yang dijalankan dengan beberapa skenario.

Dari penelitian tersebut dapat dilihat bahwa aplikasi dinamika sistem dapat digunakan untuk beberapa tujuan seperti mengidentifikasi parameter yang signifikan dalam suatu sistem, melakukan evaluasi terhadap interaksi yang terjadi hingga memunculkan adanya penerapan kebijakan dan perbaikan proses evaluasi sistem. Pada tugas akhir ini akan dilakukan analisa emisi dari peningkatan gas buang kapal yang ada di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. Selanjutnya akan dilakukan beberapa skenario yang dapat dilakukan sehingga emisi/polusi udara yang ada di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya menjadi seminimal mungkin.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

**BAB III  
METODOLOGI PENELITIAN**



**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

**Gambar 3.1** menunjukkan diagram alir proses penelitian. Penelitian dimulai dengan pengumpulan data yang dibutuhkan. Data meliputi daftar kunjungan kapal yang ada di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. Selanjutnya dilakukan dengan pengembangan model dinamika sistem. Dalam pengembangan model tersebut terdapat beberapa tahapan yaitu identifikasi variabel dan parameter, pembuatan causal loop diagram, pembuatan model dinamika sistem dan formulasi model dinamika sistem. Model yang telah selesai dibuat dapat dilakukan simulasi kemudian dilakukan validasi. Jika validasi sudah benar maka dapat dilakukan ke tahapan selanjutnya, namun jika masih salah maka kembali ke tahap pengembangan model dinamika sistem. Tahapan selanjutnya adalah analisa hasil pemodelan tersebut. Analisa ini meliputi analisa hasil pemodelan emisi sebelum dibangun Terminal Teluk Lamong dan sesudah dibangun Terminal Teluk Lamong. Kemudian dilanjutkan dengan pembuatan skenario kebijakan untuk dapat mengurangi jumlah emisi di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya.

### 3.2 Perumusan Masalah

Tahapan awal dalam melakukan tugas akhir adalah merumuskan suatu masalah yang nantinya perlu untuk dipecahkan atau diselesaikan. Pada tugas akhir ini, masalah pokok yang perlu diselesaikan adalah polusi udara yang dihasilkan oleh gas buang kapal di Indonesia memiliki kontribusi yang besar terhadap pencemaran udara. Jumlah kebutuhan yang semakin meningkat menyebabkan kapal yang ada juga semakin meningkat dari tahun ke tahun. Maka perlu adanya suatu analisa terhadap emisi yang dihasilkan oleh gas buang kapal serta perlu dilakukan skenario yang dilakukan agar dapat mengurangi emisi gas buang kapal.

### **3.3 Menetapkan Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini dimaksudkan untuk melakukan pemodelan emisi gas buang kapal di area Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya dan analisa pengaruh dibangunnya Terminal Teluk Lamong terhadap jumlah emisi di area Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. Kemudian melakukan scenario berupa penerapan MARPOL Annex VI untuk mengurangi emisi dari gas buang kapal di area Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya.

### **3.4 Studi Pustaka**

Studi pustaka adalah segala usaha untuk mengumpulkan informasi yang relevan berkaitan dengan topik atau masalah yang akan diteliti. Informasi dapat diperoleh dari buku-buku ilmiah, laporan penelitian, karangan-karangan ilmiah, tesis, disertasi, peraturan-peraturan, ketetapan-ketetapan, ensiklopedia, dan lain-lain yang berkaitan dengan tema atau topik tugas akhir tersebut.

### **3.5 Pengumpulan Data**

Pengumpulan data dengan mengumpulkan data-data yang akan digunakan sebagai input yang diperlukan dalam pemodelan ini. Data yang diperlukan adalah data primer dan sekunder. Data primer yaitu data kunjungan kapal yang ada di Pelabuhan Tanjung Perak dengan mencari di Kantor Otoritas Pelabuhan Utama Tanjung Perak Surabaya. Data sekunder diperlukan untuk mengetahui *gross tonnage* kapal, tipe engine dan lain-lain dengan mencarinya pada badan klasifikasi tempat kapal tersebut didaftarkan atau pada situs internet seperti [marinetraffic.com](http://marinetraffic.com), [equasis.org](http://equasis.org) dan lain-lain.

### **3.6 Identifikasi Variabel dan Parameter**

Tahapan ini dilakukan dengan melakukan identifikasi pada semua variable yang diperkirakan berkaitan dengan

permasalahan tersebut. Identifikasi variable dilakukan untuk mendapatkan variable serta parameter yang akan digunakan dalam melakukan pemodelan.

### **3.7 Pembuatan Model Dinamika Sistem**

Pembuatan model dinamika sistem digunakan untuk menyelesaikan masalah dalam penelitian ini. Pembuatan model *causal loop* dan variable yang ada. Sebagaimana yang dijelaskan sebelumnya, dinamika sistem mampu untuk mengenali variabel-variabel pendukung dalam suatu sistem, keterkaitan hubungan antar variable tersebut mampu untuk menunjukkan pengaruh keterkaitan hubungan perilaku variable satu terhadap lainnya dalam suatu model.

### **3.8 Formulasi dan Validasi Model**

Setelah pembuatan model dinamika sistem dilakukan, maka langkah selanjutnya adalah dengan memasukkan formulasi ke dalam model tersebut. Selanjutnya model perlu dilakukan validasi untuk mengetahui apakah model error atau tidak. Jika model sudah benar dapat model dapat dijalankan, namun jika model masih belum benar harus dilakukan perbaikan pada pemodelan dinamika sistem.

### **3.9 Skenario Kebijakan**

Model yang sudah jadi dan dapat merepresentasikan kondisi nyata ini kemudian digunakan untuk merancang skenario-skenario kebijakan yang sesuai dengan tujuan pembuatan model. Skenario dibuat berdasarkan kemungkinan kejadian yang akan terjadi ataupun ekspektasi kemungkinan adanya kebijakan tersebut. Tujuan skenario adalah untuk melakukan pengujian agar emisi di masa depan dapat dikurangi. Hasil dari skenario selanjutnya agar bisa diterapkan oleh pihak terkait menjadi suatu kebijakan.



### **3.10 Analisa Hasil Kebijakan**

Hasil yang didapat dari simulasi selanjutnya dilakukan analisa bagaimana emisi yang dihasilkan oleh gas buang kapal di area Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. Juga dilakukan analisa terhadap hasil skenario yang telah dilakukan dan menentukan skenario manakah yang mungkin untuk diterapkan dan yang dapat mengurangi emisi menjadi seminimal mungkin.

### **3.11 Kesimpulan dan Saran**

Dengan dilakukan analisa terhadap hasil simulasi dari model, maka dapat diambil kesimpulan tentang emisi yang dihasilkan gas buang kapal di area Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya dan pengaruh pengurangan emisi setelah dilakukan skenario. Kesimpulan meliputi semua hasil penelitian, termasuk simulasi, perhitungan, dan lain-lain. Kesimpulan ini akan menjawab poin-poin yang sudah dirumuskan dalam tujuan dan selanjutnya juga memberikan saran-saran berdasarkan hasil penelitian untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB IV**

### **ANALISA DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Proses Kapal di Pelabuhan**

Emisi yang ada di Pelabuhan Tanjung Perak berasal dari kapal yang masuk di pelabuhan dan kapal yang tambat di pelabuhan. Kapal yang masuk ke pelabuhan akan menghasilkan emisi gas buang dari penggunaan *main engine* dan *auxiliary engine* sedangkan kapal yang tambat di pelabuhan menghasilkan emisi dari *auxiliary engine* saja.

**Gambar 4.1** menunjukkan gambaran umum dari aktivitas kapal yang ada di pelabuhan. Kapal mula-mula akan datang dan menunggu antrian di karang jamuan. Selanjutnya kapal akan dipandu untuk masuk ke pelabuhan menggunakan kapal pandu. Dalam kasus ini kapal akan menghasilkan emisi dari *main engine* dan *auxiliary engine* dikarenakan pada tahapan ini kapal berjalan dengan menggunakan *main enginenya* sendiri. Mode operasional kapal mengacu pada metode Trozzy adalah pada mode operasional *hotelling* karena kapal memasuki pelabuhan dengan kecepatan yang pelan. Kapal selanjutnya akan melakukan proses tambat dan juga bongkar muat di area pelabuhan. Dalam hal ini, diasumsikan bahwa kapal menggunakan *auxiliary engine* sendiri untuk keperluan operasional kapal sehingga akan dilakukan perhitungan emisi yang dihasilkan oleh *auxiliary engine* kapal.



**Gambar 4.1** Proses kapal masuk ke pelabuhan

## 4.2 Pengumpulan Data

Pada tugas akhir ini, data yang diperlukan merupakan data primer dan sekunder. Data primer merupakan data kedatangan kapal yang ada di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya per harinya pada tahun 2015. Data tersebut meliputi nama kapal, jenis kapal, tanggal masuk, dan tanggal keluar pelabuhan. Selanjutnya data kedatangan kapal dijumlahkan secara kumulatif pada tiap bulan. Jumlah terbanyak kedatangan kapal yang ada di Pelabuhan Tanjung Perak terdapat pada bulan November 2015 yaitu sebanyak 1408 kapal. Selanjutnya dihitung jumlah kumulatif kapal yang ada di Pelabuhan Tanjung Perak per harinya. Jumlah kapal terbanyak yang tambat di Pelabuhan Tanjung Perak terdapat pada tanggal 5 November 2015. Type kapal yang ada di Pelabuhan Tanjung Perak meliputi kapal tanker, kapal bulk carrier, kapal container, general cargo, kapal penumpang, kapal Ro-ro, kapal tug boat, kapal tongkang, dan jenis kapal lain seperti kapal pendarat dan kapal pengangkut crew.

Selanjutnya data sekunder yang diperlukan adalah spesifikasi dari tiap kapal yang ada di Pelabuhan Tanjung Perak. Spesifikasi yang diperlukan berupa type *main engine*,

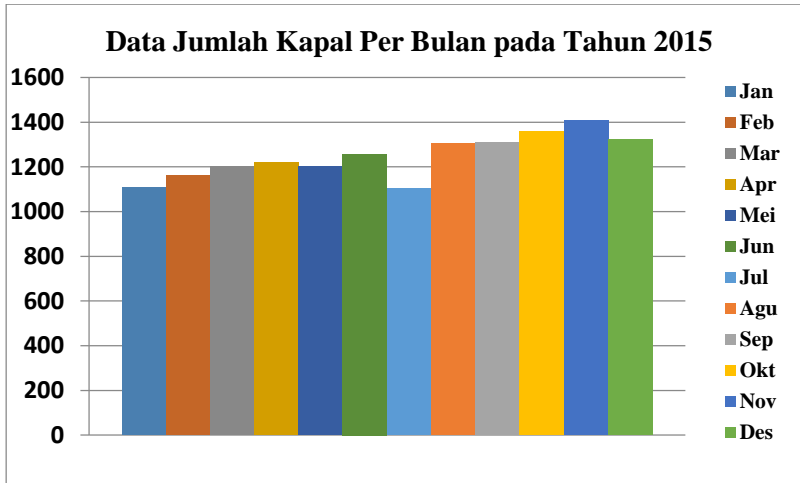
type *auxiliary engine*, dan daya dari *auxiliary engine*. Data tersebut dicari melalui internet dengan mengunjungi web resmi dimana kapal tersebut di klasifikasikan. Dari situs klasifikasi resmi hanya diketahui nama dan daya dari *main engine* dan *auxiliary engine*, sehingga perlu mencari type engine dari katalog engine yang digunakan oleh kapal tersebut.

Beberapa alamat web yang dapat digunakan dalam pencarian data kapal adalah sebagai berikut:

1. Equasis C/O Emsa bertempat di Lisbon, Portugal.  
Situs resmi : [www.equasis.org](http://www.equasis.org)
2. Vesseltracker bertempat di Mundsburger, kota Hamburg, Jerman.  
Situs resmi : [www.vesseltracker.com](http://www.vesseltracker.com)
3. Biro Klasifikasi Indonesia  
Situs resmi : [www.klasifikasiindonesia.com](http://www.klasifikasiindonesia.com)
4. Nippon Kaiji Kyokai  
Situs resmi : [www.classnk.or.jp](http://www.classnk.or.jp)
5. Germanischer Lloyds  
Situs resmi : [www.dnvgl.com](http://www.dnvgl.com)
6. Lloyds Register  
Situs resmi : [www.lr.org](http://www.lr.org)

#### **4.2.1 Data Jumlah Kunjungan Kapal di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya**

Data jumlah kapal yang ada di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya didapatkan dari Kantor Otoritas Pelabuhan Utama Tanjung Perak Surabaya. Data yang tersedia adalah data jumlah kunjungan kapal di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya pada tahun 2010 hingga 2015.

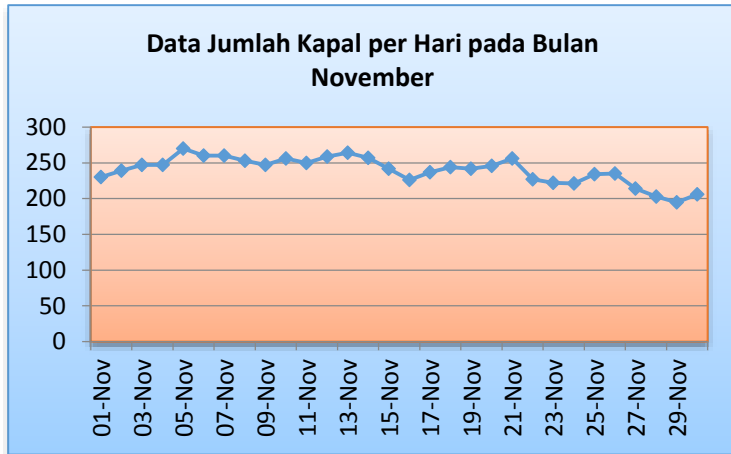


**Gambar 4.2** Data jumlah kapal per bulan tahun 2015

**Gambar 4.2** menunjukkan grafik jumlah kunjungan kapal yang ada di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya pada tahun 2015. Pada grafik tersebut terlihat bahwa jumlah kunjungan kapal terbanyak terdapat pada bulan November dengan jumlah 1408 kapal.

#### 4.2.2 Data Kapal pada Bulan November 2015

Setelah diketahui bahwa jumlah kunjungan kapal terbanyak ada di bulan November maka selanjutnya dilakukan analisa jumlah kunjungan per hari pada bulan November 2015. **Gambar 4.3** menunjukkan jumlah kunjungan kapal di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya per hari pada bulan November 2015. Pada grafik tersebut terlihat bahwa jumlah kunjungan kapal terbanyak terdapat pada tanggal 5 November 2015 dengan jumlah 266 kapal. Dalam penelitian ini, sample pembuatan model diambil dengan menggunakan data kapal pada tanggal 5 November yang merupakan data terbanyak kunjungan kapal di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya.



**Gambar 4.3** Data jumlah kapal per hari pada bulan November

**Tabel 4.1** menunjukkan data kapal yang ada di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya pada tanggal 5 November 2015. Pada data tersebut meliputi nama kapal, tipe kapal, ukuran DWT dan GT kapal, kebangsaan kapal, serta tanggal masuk dan keluar. Dalam penelitian nanti selanjutnya kapal-kapal tersebut akan diclusterkan berdasarkan tipe kapalnya sehingga mempermudah dalam melakukan analisa.

**Tabel 4.1** Data kapal tanggal 5 November 2015

NO	NAMA KAPAL	TIPE	DWT	GT	BEND	ETA	ETD
1	PETRO OCEAN VIII MT	TONGKANG	1377	964	RI	13-Jan	14-Des
2	KIRANA IX	RO-RO	0	9.168	RI	12-Okt	01-Des
3	SUNRISE HOPE	TANKER	13008	7247	A	03-Nov	05-Nov
4	WARNOW CHIEF	CONTAINER SHIP	21.192	17.068	A	04-Nov	05-Nov
5	CSCL CALLAO	CONTAINER SHIP	34246	26404	A	05-Nov	06-Nov
6	ALTONIA	CONTAINER SHIP	22.968	16.803	A	04-Nov	05-Nov
7	CALEDONIAN EXPRESS	TANKER	4474	2518	A	05-Nov	06-Nov
8	LADY OF LUCK	CONTAINER SHIP	30.280	25.131	A	05-Nov	06-Nov
9	MYSTRAS	BULK CARRIER	57360	33361	A	04-Nov	05-Nov
10	STAR HIDRA	GENERAL CARGO	46.547	32.744	A	05-Nov	05-Nov
11	ASIA GLORY	GENERAL CARGO	7748	6155	A	28-Okt	08-Nov
12	ROYAL HARMONY	BULK CARRIER	37.238	22.863	A	05-Nov	06-Nov
13	LARENTIA	CONTAINER SHIP	37900	27915	A	04-Nov	05-Nov

NO	NAMA KAPAL	TIPE	DWT	GT	BEND	ETA	ETD
14	SPIRIT SEJATI	GENERAL CARGO	8.746	6.440	A	31-Okt	11-Nov
15	MY HUNG	GENERAL CARGO	6500	4089	A	05-Nov	13-Nov
16	AYA 3	GENERAL CARGO	-	2.587	A	04-Nov	13-Nov
17	THAI LOTUS	GENERAL CARGO	9743	9004	A	04-Nov	15-Nov
18	SOYA MAY	BULK CARRIER	87.146	48.090	A	24-Okt	20-Nov
19	TASANEE	CONTAINER SHIP	39419	27779	A	08-Sep	26-Nov
20	STAR BIRD	GENERAL CARGO	4.787	3.351	RI	28-Okt	09-Nov
21	KINTAMANI	GENERAL CARGO	2654	1858	RI	31-Okt	14-Nov
22	EQUATOR 30	TUG BOAT	0	265	RI	02-Nov	10-Nov
23	PEKAN FAJAR	CONTAINER SHIP	6177	4324	RI	31-Okt	05-Nov
24	FORTUNE	CONTAINER SHIP	4.674	2.979	RI	03-Nov	09-Nov
25	ORIENTAL JADE	CONTAINER SHIP	26297	18000	RI	02-Nov	05-Nov
26	PULAU LAYANG	CONTAINER SHIP	8.200	6.285	RI	03-Nov	05-Nov
27	VERIZON	CONTAINER SHIP	16840	11788	RI	04-Nov	08-Nov
28	ORIENTAL SILVER	CONTAINER SHIP	13.448	13.090	RI	03-Nov	05-Nov
29	HIJAU SEMANGAT	CONTAINER SHIP	10814	7455	RI	05-Nov	07-Nov
30	BALI GIANYAR	CONTAINER SHIP	4.283	2.998	RI	05-Nov	06-Nov
31	DAMAI BAHAGIA	CONTAINER SHIP	6478	4393	RI	01-Nov	05-Nov
32	TANTO SENANG	CONTAINER SHIP	10.313	8.612	RI	03-Nov	05-Nov
33	TANTO SAKTI II	GENERAL CARGO	6892	6362	RI	30-Okt	06-Nov
34	CHARLES 209	TONGKANG	0	3.233	RI	26-Okt	06-Nov
35	HECTOR 777	TUG BOAT	0	166	RI	26-Okt	06-Nov
36	BUNGA MELATI VII	GENERAL CARGO	1.820	1.274	RI	05-Nov	10-Nov
37	KAHURIPAN 502	TONGKANG	0	2844	RI	01-Okt	05-Nov
38	SURYA PERKASA 502	TUG BOAT	0	147	RI	01-Okt	05-Nov
39	GAWALISE	GENERAL CARGO	2296	1607	RI	04-Nov	05-Nov
40	SURFER 2610	KAPAL LAIN	183	128	RI	04-Nov	05-Nov
41	SWORDFISH 8	TANKER	1030	721	RI	28-Okt	07-Nov
42	MERATUS ULTIMA 2	GENERAL CARGO	6.994	4.896	RI	04-Nov	06-Nov
43	ESTUARI MAS	GENERAL CARGO	9719	6803	RI	04-Nov	05-Nov
44	PORNANDO I	TUG BOAT	0	158	RI	04-Nov	05-Nov
45	ARJUNA	TUG BOAT	0	54	RI	04-Nov	10-Nov
46	GIGATT 2015	TONGKANG	0	2.013	RI	03-Nov	05-Nov
47	HOSANA VII	TUG BOAT	0	232	RI	03-Nov	05-Nov
48	TIGA RODA	BULK CARRIER	10.351	6.870	RI	04-Nov	05-Nov
49	IS NO. 5	GENERAL CARGO	1000	669	RI	25-Okt	05-Nov
50	BINTANG JASA 35	CONTAINER SHIP	7.584	5.309	RI	05-Nov	06-Nov
51	HENG STAR	GENERAL CARGO	2130	1491	RI	04-Nov	06-Nov
52	SABUK NUSANTARA 27	PASSANGER SHIP	1.120	784	RI	05-Nov	06-Nov
53	ERA BERDIKARI	TUG BOAT	2186	1530	RI	05-Nov	08-Nov
54	H I 28	TONGKANG	0	523	RI	05-Nov	06-Nov
55	HOSANA IV	TUG BOAT	0	95	RI	05-Nov	06-Nov
56	PETRO OCEAN XXV	TANKER	1.046	732	RI	04-Nov	10-Nov
57	NOVA NAOMI	TANKER	4266	2986	RI	04-Nov	06-Nov
58	SMS SUPORTER	TUG BOAT	2.663	1.864	RI	02-Nov	05-Nov
59	EVERTOP	GENERAL CARGO	959	671	RI	01-Nov	05-Nov
60	ASIA SEJAHTERA	GENERAL CARGO	971	680	RI	02-Nov	06-Nov
61	LOTUS 07	GENERAL CARGO	947	663	RI	04-Nov	18-Nov
62	ANUGRAH	TONGKANG	0	883	RI	27-Okt	05-Nov
63	TARSAN I	GENERAL CARGO	416	291	RI	28-Okt	06-Nov
64	PETRO OCEAN VIII	TANKER	1.377	964	RI	05-Nov	05-Nov
65	CATTLEYA	GENERAL CARGO	927	649	RI	03-Nov	17-Nov
66	SEACOVE NOBLE	TUG BOAT	0	499	RI	31-Okt	12-Nov
67	WINPOSH 3301	TONGKANG	0	5333	RI	31-Okt	12-Nov
68	ANNA JAYA	TANKER	991	694	RI	04-Nov	11-Nov
69	MITRA KENDARI	CONTAINER SHIP	8570	5999	RI	04-Nov	15-Nov
70	MENTARI PERDANA	GENERAL CARGO	5.983	4.188	RI	28-Okt	07-Nov
71	SAVIOUR	GENERAL CARGO	7013	4909	RI	25-Okt	07-Nov
72	INDOMARINE 1018	TONGKANG	0	1.575	RI	25-Okt	07-Nov



NO	NAMA KAPAL	TIPE	DWT	GT	BEND	ETA	ETD
73	UDAWA VI	TUG BOAT	0	436	RI	25-Okt	07-Nov
74	SINAR JEPARA	GENERAL CARGO	6.555	4.632	RI	05-Nov	08-Nov
75	ASIA PRATAMA	CONTAINER SHIP	2111	1478	RI	31-Okt	08-Nov
76	RAAFIAH	TANKER	609	426	RI	05-Nov	07-Nov
77	DAMAI SEJAHTERA I	CONTAINER SHIP	10747	7896	RI	05-Nov	06-Nov
78	KEMBANG TERATAI I	TUG BOAT	0	96	RI	19-Okt	06-Nov
79	BENGARIS III	TONGKANG	0	1006	RI	19-Okt	06-Nov
80	IMMANUEL WGSR 2	TUG BOAT	0	146	RI	23-Okt	06-Nov
81	TAHTA I	TONGKANG	0	4061	RI	23-Okt	06-Nov
82	GESIT	KAPAL LAIN	151	106	RI	04-Nov	16-Nov
83	WINPOSH RESOLVE	TUG BOAT	3697	2588	RI	04-Nov	17-Nov
84	CALYPSO	GENERAL CARGO	2.113	1.479	RI	04-Nov	11-Nov
85	TRIJAYA ABADI	GENERAL CARGO	1583	1108	RI	03-Nov	10-Nov
86	ELEGENCE	GENERAL CARGO	3.551	2.486	RI	26-Okt	10-Nov
87	PROFIT 928	TONGKANG	0	850	RI	05-Sep	10-Nov
88	WILLIAM	TUG BOAT	0	81	RI	05-Sep	10-Nov
89	EMAS BERSINAR XVII	TONGKANG	0	2831	RI	05-Nov	10-Nov
90	GLOBAL MANDIRI XII	TUG BOAT	0	164	RI	05-Nov	10-Nov
91	MERANTI 702	KAPAL LAIN	247	173	RI	26-Okt	08-Nov
92	AYU 78	KAPAL LAIN	1.756	1.229	RI	23-Okt	09-Nov
93	PACIFIC 88	TUG BOAT	4021	2815	RI	03-Nov	07-Nov
94	DANDELION	GENERAL CARGO	1.864	1.305	RI	04-Nov	18-Nov
95	SEJAHTERA MAKMUR I	TONGKANG	0	2757	RI	01-Nov	10-Nov
96	PRATAMA I	TUG BOAT	0	259	RI	01-Nov	10-Nov
97	SANGALAKI PERMAI	GENERAL CARGO	3330	2331	RI	15-Okt	10-Nov
98	TANTO TANGGUH	CONTAINER SHIP	12.250	9.380	RI	04-Nov	09-Nov
99	TANTO HARMONI	CONTAINER SHIP	4830	3666	RI	04-Nov	08-Nov
100	TANTO SAKTI I	GENERAL CARGO	6.861	6.361	RI	12-Okt	08-Nov
101	TANTO SAYANG	CONTAINER SHIP	7207	4937	RI	26-Okt	08-Nov
102	TANTO FAJAR I	GENERAL CARGO	4.705	3.936	RI	30-Okt	08-Nov
103	BINTANG JASA 33	GENERAL CARGO	5454	3818	RI	31-Okt	15-Nov
104	MEGAH PACIFIC	GENERAL CARGO	947	663	RI	02-Nov	12-Nov
105	GOLDEN OCEAN	BULK CARRIER	35227	20986	RI	01-Nov	10-Nov
106	NAPOLEON 001	TONGKANG	0	2.026	RI	02-Nov	13-Nov
107	MKM 1501	TUG BOAT	0	135	RI	02-Nov	13-Nov
108	LIEN STAR	KAPAL LAIN	1.039	727	RI	17-Okt	12-Nov
109	TRANSINDO 8	KAPAL LAIN	820	820	RI	04-Nov	06-Nov
110	IRIS MANDIRI	KAPAL LAIN	1.373	961	RI	05-Nov	13-Nov
111	NUSANTARA PELANGI 101	GENERAL CARGO	4440	3108	RI	31-Okt	09-Nov
112	MENTARI PERSADA	CONTAINER SHIP	10.446	7.312	RI	03-Nov	09-Nov
113	MENTARI SUCCES	GENERAL CARGO	3909	2736	RI	03-Nov	09-Nov
114	MENTARI PERKASA	GENERAL CARGO	3.931	2.752	RI	01-Nov	10-Nov
115	TANTO CERIA	CONTAINER SHIP	4420	3462	RI	01-Nov	14-Nov
116	PRATIWI SATU	GENERAL CARGO	6.177	4.324	RI	05-Nov	13-Nov
117	PULAU NUNUKAN	CONTAINER SHIP	9054	6338	RI	20-Apr	13-Nov
118	ARMADA PAPUA	CONTAINER SHIP	12.578	9.603	RI	04-Nov	14-Nov
119	BAKTI I	OIL TANKER	1070	749	RI	05-Nov	14-Nov
120	SELAMAT 9	TONGKANG	0	3.107	RI	02-Nov	17-Nov
121	SYUKUR 15	TUG BOAT	0	207	RI	02-Nov	17-Nov
122	MERATUS BATAM	CONTAINER SHIP	13.252	9.993	RI	31-Okt	05-Nov
123	RED RESORCE	GENERAL CARGO	6149	4489	RI	31-Okt	05-Nov
124	ANAK LAUT 3	TONGKANG	0	1.309	RI	05-Nov	16-Nov
125	FALCON 21	TUG BOAT	0	109	RI	05-Nov	16-Nov
126	TRANSINDO I	KAPAL LAIN	711	498	RI	01-Okt	13-Nov
127	SHITA GIRI NUSA	RO-RO	1646	1152	RI	26-Okt	13-Nov
128	PANTO KRATOR	RO-RO	8.457	5.920	RI	17-Okt	21-Nov
129	AYU 118	KAPAL LAIN	3384	2369	RI	05-Nov	18-Nov
130	P S B - VI	TONGKANG	0	2.648	RI	05-Nov	17-Nov
131	WAHANA I	TUG BOAT	0	156	RI	05-Nov	17-Nov

NO	NAMA KAPAL	TIPE	DWT	GT	BEND	ETA	ETD
132	BINTANG SAMUDERA I	KAPAL LAIN	756	529	RI	04-Nov	17-Nov
133	AQUA STAR	GENERAL CARGO	936	655	RI	09-Okt	17-Nov
134	DEWI BULAN II	GENERAL CARGO	2.393	1.675	RI	03-Nov	20-Nov
135	CAKALANG	RO-RO	2119	1483	RI	27-Okt	19-Nov
136	GALATIA 05	GENERAL CARGO	4.077	2.854	RI	12-Sep	13-Nov
137	SAMUDERA MAS	GENERAL CARGO	4276	2993	RI	05-Nov	18-Nov
138	JALES MAS	GENERAL CARGO	9.284	6.499	RI	05-Nov	07-Nov
139	SUMBER KENCANA VI	TONGKANG	0	1493	RI	05-Nov	21-Nov
140	MITRA KENCANA IV	TUG BOAT	0	149	RI	05-Nov	21-Nov
141	AYU 68	KAPAL LAIN	637	446	RI	05-Nov	20-Nov
142	IJEN	GENERAL CARGO	10.431	7.302	RI		24-Nov
143	ARMADA PURNAMA	CONTAINER SHIP	12575	9600	RI	05-Nov	09-Nov
144	RAJA ENGGANO	RO-RO	1.119	783	RI	27-Okt	25-Nov
145	TIKALA	GENERAL CARGO	2700	1819	RI	07-Agu	27-Nov
146	MERATUS BARITO	CONTAINER SHIP	5.349	3.668	RI	05-Nov	08-Nov
147	MERATUS KAPUAS	CONTAINER SHIP	8180	6621	RI	05-Nov	08-Nov
148	MERATUS PADANG	GENERAL CARGO	5.539	4.476	RI	05-Nov	08-Nov
149	MERATUS MEDAN 1	CONTAINER SHIP	17476	13853	RI	03-Nov	06-Nov
150	MERATUS KELIMUTU	CONTAINER SHIP	10.457	8.203	RI	05-Nov	08-Nov
151	MERATUS BONTANG	CONTAINER SHIP	5349	3668	RI	03-Nov	05-Nov
152	MERATUS TANGGUH 1	CONTAINER SHIP	7.326	6.251	RI	04-Nov	06-Nov
153	MUSI RIVER	CONTAINER SHIP	5442	5104	RI	03-Nov	05-Nov
154	NEW GLORY	GENERAL CARGO	3.363	2.354	RI	03-Nov	05-Nov
155	GRESIK 5	TONGKANG	0	2200	RI	03-Nov	07-Nov
156	BILLITON 128	TUG BOAT	0	192	RI	03-Nov	07-Nov
157	LAUTAN 2301	TONGKANG	0	2057	RI	04-Nov	07-Nov
158	BENING II	TUG BOAT	0	141	RI	04-Nov	07-Nov
159	MERATUS BORNEO	CONTAINER SHIP	5349	3668	RI	05-Nov	06-Nov
160	MERATUS SPIRIT 1	GENERAL CARGO	13.208	9.909	RI	04-Nov	07-Nov
161	MERATUS MAMIRI	CONTAINER SHIP	13184	11964	RI	04-Nov	07-Nov
162	MERATUS KENDARI 1	GENERAL CARGO	7.416	5.737	RI	04-Nov	07-Nov
163	DEWI SAMUDERA III	GENERAL CARGO	1627	1139	RI	20-Apr	21-Nov
164	RED ROVER	CONTAINER SHIP	6.300	4.559	RI	01-Nov	05-Nov
165	RELIANCE	GENERAL CARGO	6149	4489	RI	03-Nov	08-Nov
166	RED ROCK	GENERAL CARGO	5.097	4.447	RI	03-Nov	05-Nov
167	ORION STAR	GENERAL CARGO	2149	1504	RI	27-Okt	08-Nov
168	BUMI INDONESIA	TANKER		5.183	RI	03-Nov	05-Nov
169	NAVIGATOR GLOBAL	TANKER		16822	RI	04-Nov	06-Nov
170	MARLIN 8	TANKER		3.866	RI	04-Nov	06-Nov
171	MAUHAU	TANKER		2938	RI	02-Nov	17-Nov
172	TENGGER	TUG BOAT		395	RI	05-Nov	06-Nov
173	CIPTA SARANA	GENERAL CARGO		651	RI	30-Okt	06-Nov
174	KLAIMAS 1	GENERAL CARGO		557	RI	03-Nov	07-Nov
175	MELINDA 1	GENERAL CARGO		639	RI	22-Okt	07-Nov
176	MANIS	GENERAL CARGO		461	RI	31-Okt	05-Nov
177	DOLPHIN 3	GENERAL CARGO		398	RI	30-Okt	07-Nov
178	MITRA KONAWE	GENERAL CARGO		650	RI	22-Okt	07-Nov
179	SANWA	GENERAL CARGO		402	RI	12-Okt	07-Nov
180	AMERANUS 1	FISHING VESSEL		434	RI	23-Okt	07-Nov
181	MITRA ABADI 2	GENERAL CARGO		612	RI	22-Okt	12-Nov
182	MITRA DONGGALA	GENERAL CARGO		655	RI	22-Okt	07-Nov
183	IGUANA	GENERAL CARGO		626	RI	31-Okt	07-Nov
184	ARTOMORO	GENERAL CARGO		457	RI	15-Okt	07-Nov
185	LESTARI INDAH V	GENERAL CARGO		516	RI	01-Nov	08-Nov
186	WAKATORA MARU 3	GENERAL CARGO		792	RI	25-Okt	08-Nov
187	MIYAJIMA	GENERAL CARGO		604	RI	21-Okt	07-Nov
188	TANJUNG BARU	GENERAL CARGO		666	RI	21-Agu	09-Nov
189	SANFRANSISCO	GENERAL CARGO		470	RI	22-Okt	12-Nov
190	BINA SETIA IX	GENERAL CARGO		494	RI	01-Nov	10-Nov

NO	NAMA KAPAL	TIPE	DWT	GT	BEND	ETA	ETD
191	NADELYN	GENERAL CARGO		700	Ri	05-Nov	11-Nov
192	ARWANA	GENERAL CARGO		403	Ri	05-Nov	14-Nov
193	MITRA BERSAMA 1	GENERAL CARGO		721	Ri	02-Nov	16-Nov
194	LEGA NIAGA	GENERAL CARGO		826	Ri	30-Okt	13-Nov
195	SHINTOMARU	GENERAL CARGO		497	Ri	23-Okt	14-Nov
196	MAKMUR 8	GENERAL CARGO		662	Ri	29-Okt	15-Nov
197	PERMATA INDAH	GENERAL CARGO		717	Ri	31-Okt	15-Nov
198	USAHA ABADI	GENERAL CARGO		389	Ri	05-Nov	16-Nov
199	TALIAMAN	GENERAL CARGO	346	494	Ri	23-Okt	15-Nov
200	KAMBERRA	GENERAL CARGO		494	Ri	30-Okt	17-Nov
201	KYOKOMARU	GENERAL CARGO		498	Ri	02-Nov	17-Nov
202	MULTI NIAGA 8	GENERAL CARGO		679	Ri	30-Okt	20-Nov
203	ASIA PASIFIK	GENERAL CARGO		665	Ri	08-Okt	21-Nov
204	NARITA	GENERAL CARGO		500	Ri	04-Nov	20-Nov
205	KENARI XII	GENERAL CARGO		423	Ri	17-Okt	25-Nov
206	IDOLA KITA	GENERAL CARGO		1.089	Ri	02-Nov	25-Nov
207	PERMATA INDAH	KAPAL LAIN	6	6	Ri	01-Nov	05-Nov
208	BUNGA HAERUL UTAMA	KAPAL KAYU		103	Ri	01-Nov	13-Nov
209	SAHABAT MAJU	KAPAL KAYU	45	11	Ri	03-Nov	08-Nov
210	BERKAT MULIA	KAPAL KAYU	285	95	Ri	24-Okt	08-Nov
211	DUTA KENCANA	KAPAL KAYU		244	Ri	03-Nov	10-Nov
212	CAHAYA ABADI	KAPAL KAYU		145	Ri	14-Okt	07-Nov
213	BERKAT MULIA	KAPAL KAYU	525	163	Ri	28-Okt	11-Nov
214	MINA ABADI	KAPAL KAYU	4.335	147	Ri	18-Okt	11-Nov
215	ALAM RAYA	KAPAL KAYU	45	11	Ri	05-Nov	12-Nov
216	AL AMIN	KAPAL KAYU	325	100	Ri	09-Okt	11-Nov
217	TERKA ABADI	KAPAL KAYU		149	Ri	05-Nov	13-Nov
218	TRISENDRA PRATIWI	KAPAL KAYU		173	Ri	31-Okt	14-Nov
219	BINTANG SAMUDRA	KAPAL KAYU		172	Ri	10-Okt	17-Nov
220	CAKRA INDAH 3	KAPAL KAYU		148	Ri	30-Okt	16-Nov
221	MAYANG SARI	KAPAL KAYU	425	148	Ri	02-Nov	20-Nov
222	HARAPAN INDAH	KAPAL KAYU	285	102	Ri	05-Nov	25-Nov
223	PESONA BAHARI	KAPAL KAYU		162	Ri	19-Okt	27-Nov
224	DUTA AGUNG	KAPAL KAYU		148	Ri	29-Okt	06-Nov
225	ADILA	KAPAL KAYU		149	Ri	27-Okt	09-Nov
226	MADHANI	KAPAL KAYU		231	Ri	27-Okt	09-Nov
227	BUNGA BUANA INDAH	KAPAL KAYU		146	Ri	27-Okt	11-Nov
228	AISYAH	KAPAL KAYU		231	Ri	27-Okt	11-Nov
229	CITRA SAUDARA	KAPAL KAYU		115	Ri	27-Okt	11-Nov
230	KARTIKA EXPRES	KAPAL KAYU		93	Ri	30-Okt	05-Nov
231	BUKIT RAYA	PASSANGER SHIP	0	6022	Ri	05-Nov	05-Nov
232	DHARMA KENCANA III	RO-RO	0	2.510	Ri	05-Nov	05-Nov
233	KUMALA	RO-RO	0	5764	Ri	05-Nov	05-Nov
234	SANTIKA NUSANTARA	RO-RO	0	10.707	Ri	05-Nov	05-Nov
235	JOY	GENERAL CARGO	352	298	A	08-Agu	15-Des
236	SHINEI	GENERAL CARGO	2.293	1.605	Ri	01-Nov	04-Des
237	ILE MANDIRI	RO-RO	761	533	Ri	30-Okt	02-Des
238	BAGUS SELATAN	TANKER	1.016	711	Ri	30-Agu	02-Des
239	PULAU WETAR	CONTAINER SHIP	8979	6285	Ri	26-Apr	14-Des
240	PARNA BERLIAN 2	TANKER	10.226	7.158	Ri	19-Okt	29-Des
241	ROKAN LESTARI	GENERAL CARGO	454	648	Ri	12-Apr	16-Des
242	TANIMBAR PERMAI	GENERAL CARGO	451	644	Ri	12-Feb	12-Nov
243	NADELYN . K	GENERAL CARGO	490	700	Ri	12-Apr	13-Des
244	MITRA BERSAMA	GENERAL CARGO	415	593	Ri	12-Jan	15-Des
245	CITRA SARANA	GENERAL CARGO	456	651	Ri	12-Agu	13-Des
246	IGUANA	GENERAL CARGO	438	626	Ri	12-Apr	13-Des
247	MIYAJIMA	GENERAL CARGO	423	604	Ri	12-Jan	18-Des
248	BINA SETIA . III	GENERAL CARGO	291	416	Ri	12-Jan	21-Des
249	SAM - I	GENERAL CARGO	428	612	Ri	12-Okt	19-Des

NO	NAMA KAPAL	TIPE	DWT	GT	BEND	ETA	ETD
250	TRIJAYA ABADI	GENERAL CARGO	776	1.108	Ri	12-Okt	21-Des
251	EIKAN	GENERAL CARGO	436	623	Ri	12-Mar	22-Des
252	SAMUDRA ABADI VIII	GENERAL CARGO	392	560	Ri	12-Feb	29-Des
253	KAMBERRA	GENERAL CARGO	346	494	Ri	12-Apr	31-Des
254	BUTA KENCANA	KAPAL KAYU	171	244	Ri	12-Jun	14-Des
255	BINTANG ANGGRAINY	KAPAL KAYU	91	130	Ri	12-Mar	13-Des
256	SURGA MULYA III	KAPAL KAYU	104	149	Ri	12-Mar	14-Des
257	FACER MAS	KAPAL KAYU	98	140	Ri	12-Jan	15-Des
258	TRISENDRA PRATIWI	KAPAL KAYU	121	173	Ri	12-Jun	18-Des
259	MAJU BERSAMA	KAPAL KAYU	76	109	Ri	12-Feb	19-Des
260	SAHABAT MAJU	KAPAL KAYU	35	11	Ri	12-Okt	17-Des
261	USAHA BERSAMA	KAPAL KAYU	435	140	Ri	12-Sep	19-Des
262	HASIL KARYA	KAPAL KAYU	43	62	Ri	12-Sep	21-Des
263	BUDI MAKMUR	KAPAL KAYU	25	35	Ri	12-Feb	19-Des
264	MADHANI	KAPAL KAYU	174	249	Ri	12-Mei	20-Des
265	ARAYA JAYA - II	KAPAL KAYU	103	147	Ri	12-Sep	22-Des
266	CAHAYA IMAN	KAPAL KAYU	46	66	Ri	12-Jul	30-Des

## 4.3 Pengembangan Model Dinamik

### 4.3.1 Kondisi Eksisting

Semakin banyaknya jumlah populasi manusia menyebabkan kebutuhan akan barang dan jasa semakin meningkat. Jawa Timur menjadi provinsi yang memiliki jumlah penduduk yang cukup banyak. Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya merupakan pusat jalur perdagangan yang digunakan oleh masyarakat Jawa Timur untuk memenuhi kebutuhannya. Jumlah penduduk yang semakin meningkat dari tahun ke tahun menyebabkan kebutuhan semakin besar sehingga permintaan akan barang-barang juga semakin meningkat. Demand yang semakin meningkat menyebabkan jumlah kapal yang diperlukan untuk mensupplay barang-barang di Surabaya juga semakin banyak pula. Namun jumlah kapal yang semakin banyak tersebut tidak dibarengi dengan adanya fasilitas pelabuhan yang memadai. Hal ini menyebabkan waktu tunggu kapal di pelabuhan semakin meningkat.

Penumpukan kapal yang ada di pelabuhan menyebabkan polusi udara yang ada di area pelabuhan semakin besar. Adanya penumpukan kapal akan menyebabkan jumlah kapal menjadi semakin banyak. Kapal yang seharusnya sudah bisa meninggalkan pelabuhan, harus menunggu lebih lama untuk melakukan proses bongkar muat. Meskipun *main engine* kapal tersebut mati, namun penggunaan *auxiliary engine* akan tetap digunakan sehingga kapal tersebut akan menghasilkan polusi udara.

Saat ini, kebanyakan kapal yang ada di Pelabuhan Tanjung Perak merupakan kapal dengan ukuran yang kecil sehingga perlu banyak kapal untuk memenuhi kebutuhan barang di Jawa Timur. Dengan ukuran GT yang sama, beberapa kapal yang kecil akan menghasilkan emisi yang lebih besar dibandingkan dengan satu kapal yang besar.

Penggunaan jenis bahan bakar juga menjadi salah satu hal yang mempengaruhi besarnya emisi yang dihasilkan oleh kapal. Jenis mesin diesel dengan bahan bakar HFO atau MDO akan menghasilkan emisi yang lebih besar dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar gas. Sekarang bahan bakar juga menjadi isu penting yang dapat digunakan sebagai pengganti bahan bakar minyak yang dinilai lebih ramah lingkungan.

Dibangunnya Terminal Teluk Lamong membuat jumlah kunjungan kapal yang datang ke Pelabuhan Tanjung Perak menjadi semakin meningkat. Banyak kapal yang tertarik untuk berkunjung ke Pelabuhan Tanjung Perak dikarenakan fasilitas dan pelayanan yang memadai. Adanya Terminal Teluk Lamong perlu dilakukan kajian pengaruh terhadap emisi yang ada di Surabaya.

Pada penelitian ini akan dikembangkan sebuah model yang menunjukkan pengaruh dari jenis kapal, jumlah kapal, dan jenis bahan bakar yang digunakan oleh kapal. Jenis polutan yang dihitung merupakan CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, VOC, dan PM. Awal dari pengembangan model dinamik ini adalah mengidentifikasi variable yang berpengaruh pada sistem. Selanjutnya dilakukan analisa dampak emisi di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya sebelum dan setelah dibangunnya terminal Lamong Surabaya serta melakukan skenario kebijakan yang dapat diterapkan untuk mengurangi emisi gas buang kapal yang ada di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya.

#### **4.3.2 Identifikasi Variable**

Identifikasi variable merupakan bagian dari langkah suatu penelitian untuk menentukan dan menganalisa variable yang akan digunakan. Terdapat tiga jenis variable dalam suatu penelitian yaitu :

1. Variable manipulasi  
Variable manipulasi merupakan suatu variable yang sengaja digerakkan secara bebas agar dapat mempengaruhi variable yang lain. Variable manipulasi merupakan faktor yang menjadi sebab terjadi sebuah variable respon.
2. Variable respon  
Variable respon merupakan variable yang berubah nilainya seiring dengan adanya variable manipulasi.
3. Variable kontrol  
Variable control merupakan variable yang dapat mempengaruhi hasil experimen namun sebisa mungkin dijaga agar variable ini tidak memberikan pengaruh ke variable yang lain.

Model dinamika sistem ini dibuat berdasarkan type kapal, jumlah kapal, dan tipe engine yang digunakan. Tipe kapal pada penelitian diklasifikasikan menjadi 9 tipe kapal yaitu kapal tanker, kapal container, kapal bulk carrier, kapal general cargo, kapal penumpang, kapal ro-ro, kapal tug boat, kapal tongkang, dan kapal jenis lain. Tipe engine yang dibagi menjadi tiga yaitu *diesel engine slow speed*, *diesel engine medium speed*, dan *diesel engine high speed*.

Variable dalam penelitian ini akan dibagi berdasarkan type kapal. Berikut merupakan contoh variabel yang digunakan untuk kapal tanker. Variabel yang digunakan untuk tipe kapal yang lain dapat dilihat pada lampiran.

Variable yang digunakan untuk melakukan permodelan pada kapal tanker meliputi ukuran GT kapal tanker, jumlah kapal tanker, lama kapal tanker di pelabuhan, dan daya dari *auxiliary engine* kapal tanker. Untuk lebih jelasnya variable yang digunakan dalam pemodelan dapat dilihat pada tabel di bawah.

**Tabel 4.2** Variabel untuk kapal tanker

No	Variable	Keterangan
1	GT Awal Kapal Tanker	Total GT awal kapal tanker pada saat dilakukan pemodelan dan belum ada penambahan.
2	Jumlah Kapal Tanker	Jumlah kapal tanker yang ada di Pelabuhan Tanjung Perak.
3	Rated Output AE Tanker	Besar daya <i>auxiliary engine</i> kapal tanker
4	Persentase Kapal Tanker Slow Speed	Perbandingan GT kapal tanker yang menggunakan ME engine slow speed dengan GT kapal tanker total.
5	Persentase Kapal Tanker Medium Speed	Perbandingan GT kapal tanker yang menggunakan ME engine

No	Variable	Keterangan
		medium speed dengan GT kapal tanker total.
6	Persentase kapal tanker High Speed	Perbandingan GT kapal tanker yang menggunakan ME engine high speed dengan GT kapal tanker total.
7	Persentase AE Kapal Tanker Medium Speed	Perbandingan kapal Tanker yang menggunakan AE engine medium speed dengan kapal Tanker total.
8	Persentase AE Kapal Tanker High Speed	Perbandingan kapal Tanker yang menggunakan AE engine high speed dengan kapal Tanker total.
9	Mode Operasional Kapal Tanker	Mode operasional kapal tanker saat berada di pelabuhan
10	Waktu Sandar Tanker	Lama waktu sandar kapal tanker saat di pelabuhan
11	Waktu Belayar Tanker	Lama waktu berlayar kapal dari karang jamuan menuju ke dermaga tempat bersandar
12	Laju Pertumbuhan Kapal Tanker	Laju pertumbuhan kapal tanker per tahun
13	Faktor Emisi VOC Tanker Slow Speed	Kandungan emisi VOC yang dihasilkan dari kapal tanker dengan engine slow speed
14	Faktor Emisi PM Tanker Slow Speed	Kandungan emisi PM yang dihasilkan dari kapal tanker dengan engine slow speed.
15	Faktor Emisi CO <sub>2</sub> Tanker Slow Speed	Kandungan emisi CO <sub>2</sub> yang dihasilkan dari kapal tanker dengan engine slow speed
16	Faktor Emisi CO Tanker Slow Speed	Kandungan emisi CO yang dihasilkan dari kapal tanker dengan engine slow speed
17	Faktor Emisi NO <sub>x</sub> Tanker Slow Speed	Kandungan emisi NO <sub>x</sub> yang dihasilkan dari kapal tanker dengan engine slow speed
18	Faktor Emisi SO <sub>x</sub> Tanker Slow Speed	Kandungan emisi SO <sub>x</sub> yang dihasilkan dari kapal tanker dengan engine slow speed

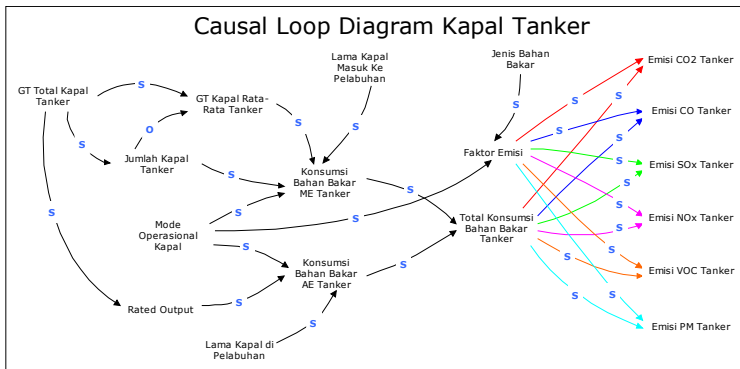


No	Variable	Keterangan
19	Faktor Emisi VOC Tanker Medium Speed	Kandungan emisi VOC yang dihasilkan dari kapal tanker dengan engine medium speed
20	Faktor Emisi PM Tanker Medium Speed	Kandungan emisi PM yang dihasilkan dari kapal tanker dengan engine medium speed.
21	Faktor Emisi CO <sub>2</sub> Tanker Medium Speed	Kandungan emisi CO <sub>2</sub> yang dihasilkan dari kapal tanker dengan engine medium speed
22	Faktor Emisi CO Tanker Medium Speed	Kandungan emisi CO yang dihasilkan dari kapal tanker dengan engine medium speed
23	Faktor Emisi NO <sub>x</sub> Tanker Medium Speed	Kandungan emisi NO <sub>x</sub> yang dihasilkan dari kapal tanker dengan engine medium speed
24	Faktor Emisi SO <sub>x</sub> Tanker Medium Speed	Kandungan emisi SO <sub>x</sub> yang dihasilkan dari kapal tanker dengan engine medium speed
25	Faktor Emisi VOC Tanker High Speed	Kandungan emisi VOC yang dihasilkan dari kapal tanker dengan engine high speed
26	Faktor Emisi PM Tanker High Speed	Kandungan emisi PM yang dihasilkan dari kapal tanker dengan engine high speed.
27	Faktor Emisi CO <sub>2</sub> Tanker High Speed	Kandungan emisi CO <sub>2</sub> yang dihasilkan dari kapal tanker dengan engine high speed
28	Faktor Emisi CO Tanker High Speed	Kandungan emisi CO yang dihasilkan dari kapal tanker dengan engine high speed
29	Faktor Emisi NO <sub>x</sub> Tanker High Speed	Kandungan emisi NO <sub>x</sub> yang dihasilkan dari kapal tanker dengan engine high speed
30	Faktor Emisi SO <sub>x</sub> Tanker High Speed	Kandungan emisi SO <sub>x</sub> yang dihasilkan dari kapal tanker dengan engine high speed

### 4.3.3 Pembuatan *Causal Loop Diagram*

*Causal loop diagram* disebut juga sebagai diagram sebab akibat merupakan sebuah diagram yang menggambarkan hubungan antar variable. *Causal loop diagram* diperlukan untuk mengetahui hubungan dari setiap variable yang berpengaruh pada sistem yang kompleks. Hubungan variable dalam *causal loop diagram* digambarkan dengan garis panah. Bagian awal dari garis panah menunjukkan variable sebab sedangkan bagian ujung panah menunjukkan variable yang berperan sebagai akibat.

Hubungan antar variable dapat berupa positif atau tanda “S” dan negatif atau tanda “O”. Hubungan positif atau tanda “S” menunjukkan bahwa jika kedua variable memiliki hubungan saling menguatkan. Jika variable sebab nilainya meningkat maka variable akibat juga akan semakin meningkat. Hubungan negatif atau tanda “O” menunjukkan bahwa hubungan dari kedua variable adalah saling berlawanan. Jika variable sebab nilainya semakin meningkat maka variable akibat akan bernilai semakin menurun.



**Gambar 4.4** *Causal loop diagram* kapal tanker

**Gambar 4.4** menunjukkan *causal loop* diagram dari kapal tanker. Dari *causal loop* tersebut tampak bahwa emisi yang dihasilkan oleh kapal akan meningkat jika total konsumsi bahan bakar dan faktor emisi meningkat. Total konsumsi bahan merupakan hasil dari penjumlahan konsumsi bahan bakar yang dihasilkan oleh *main engine* dan *auxiliary engine*. Konsumsi bahan bakar dari *main engine* akan meningkat karena beberapa faktor yaitu ukuran GT rata-rata kapal, mode operasional kapal, lama kapal masuk ke pelabuhan dan jumlah kapal tanker yang ada di pelabuhan. GT total kapal tanker merupakan total GT dari seluruh kapal yang ada di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. Jika GT total kapal tanker meningkat, maka jumlah kapal tanker dan GT rata-rata kapal tanker juga akan meningkat. Namun jika jumlah kapal tanker semakin meningkat maka GT rata-rata kapal tanker akan semakin menurun. Konsumsi bahan bakar yang dihasilkan oleh *auxiliary engine* akan meningkat jika mode operasional kapal, lama kapal bersandar di pelabuhan dan rated output dari kapal meningkat. Sedangkan Faktor emisi akan mengalami peningkatan disebabkan oleh jenis bahan bakar dan mode operasional pada kapal tanker.

Untuk *causal loop* dari kapal yang lain dapat dilihat pada lampiran A.

#### **4.4 Pembuatan Model Dinamik**

Model dinamik dibuat dengan menggunakan bantuan software Powersim Studio 8. Pembuatan model sistem dinamik mengacu pada metode perhitungan emisi dan *causal loop* yang telah dibuat sebelumnya. Perhitungan emisi dalam penelitian ini menggunakan metode Trozzy.

Langkah pertama dalam perhitungan emisi dengan metode trozy adalah dengan menentukan konsumsi bahan

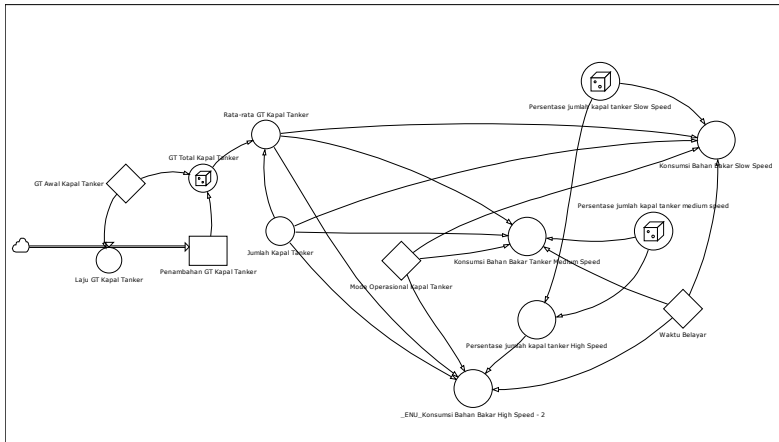
bakar yang dihasilkan kapal. Dalam perhitungan konsumsi bahan bakar, Trozzy menggunakan standart MEET untuk menentukan konsumsi bahan bakar berdasarkan GT (*Gross Tonnage*) kapal. Contoh rumus perhitungan emisi untuk kapal tanker dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$C_{jk} = 14.6850 + 0.00079 \times GT$$

Rumus di atas merupakan rumus yang hanya dapat digunakan untuk kapal tanker sedangkan perhitungan konsumsi untuk kapal type yang lain dapat dilihat pada tinjauan pustaka. Selanjutnya dengan metode Trozzy yang menghitung konsumsi bahan dengan memperhatikan mode operasional kapal tersebut sehingga rumus perhitungan menjadi sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Konsumsi bahan bakar per hari} &= 14.6850 + 0.00079 \\ &\times GT \times \text{faktor mode operasional kapal} \end{aligned}$$

Berdasarkan *causal loop* dan metode perhitungan maka model dibuat seperti **Gambar 4.5** di bawah. Pada **Gambar 4.5** terlihat bahwa nilai GT (*Gross Tonnage*) merupakan nilai GT rata-rata kapal tanker karena pemodelan ini mencakup banyak kapal tanker sehingga nilai GT kapal tanker perlu dijumlahkan selanjutnya dibagi jumlah kapal sehingga ketemu GT rata-rata kapal. Hasil konsumsi bahan bakar per hari juga harus dikalikan kembali dengan jumlah kapalnya tersebut. Pada variabel GT kapal tersebut terdapat laju GT yang merupakan pertumbuhan GT kapal per tahunnya. Berdasarkan sejarah kapal yang berkunjung di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya, mulai tahun 2013 sampai tahun 2015 selalu mengalami peningkatan GT sehingga perlu adanya penambahan laju GT pada variabel tersebut.



**Gambar 4.5** Model Pengaruh GT Terhadap Konsumsi Bahan Bakar

Waktu berlayar kapal dalam pemodelan tersebut merupakan waktu lama penggunaan *main engine* kapal per harinya. Penggunaan *main engine* tersebut digunakan untuk menggerakkan kapal dari karangjamuan menuju ke dermaga untuk sandar atau sebaliknya. Perlunya waktu tersebut karena pengaturan simulasi dalam pemodelan tersebut adalah satu hari, sedangkan penggunaan *main engine* atau waktu berlayar tidak mencapai satu hari penuh.

Hasil perhitungan konsumsi bahan per hari dalam pemodelan dibedakan menjadi tiga jenis yaitu konsumsi bahan bakar slow speed, konsumsi bahan bakar medium speed, dan konsumsi bahan bakar high speed seperti terlihat pada pemodelan. Pembagian konsumsi bahan bakar menjadi tiga karena berdasarkan data menunjukkan bahwa jenis *main engine* yang digunakan adalah jenis diesel engine slow speed, medium speed dan high speed. Faktor emisi dari ketiga type

engine tersebut juga berbeda sehingga dalam pemodelan perlu dibedakan.

Langkah selanjutnya adalah membuat pemodelan dengan menghitung konsumsi bahan bakar yang dihasilkan oleh *auxiliary engine*. Perhitungan konsumsi bahan bakar yang dihasilkan oleh *auxiliary engine* menggunakan metode Ishida. Menurut Ishida, perhitungan konsumsi bahan bakar yang dihasilkan oleh *auxiliary engine* adalah sebagai berikut:

$$f = 0.2 O L$$

dimana:

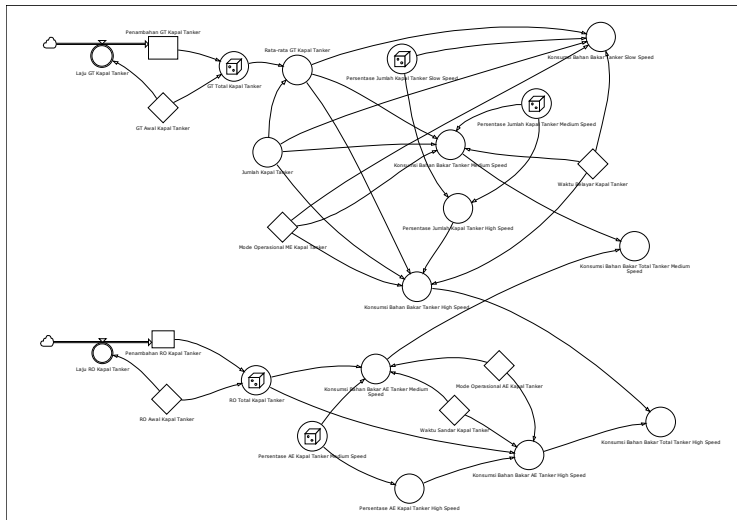
$f$  = Konsumsi bahan bakar (kg/ship/jam)

$O$  = *Rated output (PS/engine)*

$L$  = *Load faktor*

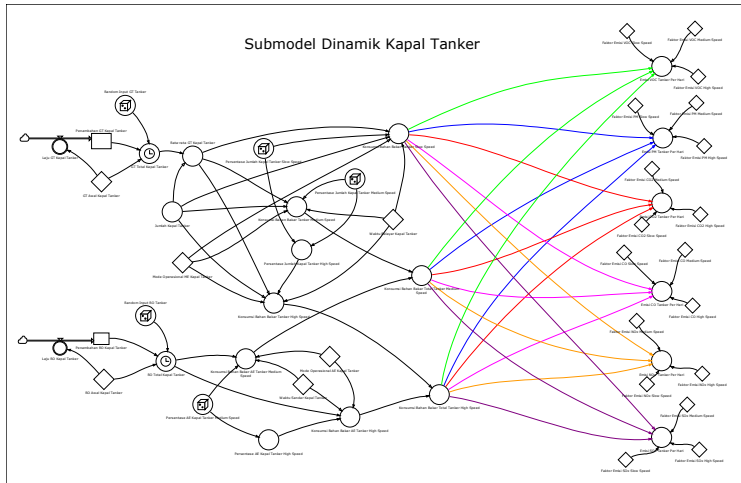
Berdasarkan *causal loop* dan cara perhitungan konsumsi bahan bakar yang dihasilkan oleh *auxiliary engine* maka pemodelan untuk dinamika sistem dapat dilihat pada **Gambar 4.6**. Dalam model tersebut penggunaan *rated output* merupakan *rated output* total yaitu penjumlahan seluruh *rated output* tiap kapal yang ada di Pelabuhan Tanjung Perak. Konsumsi bahan bakar dengan pendekatan *rated output* generator bersifat linear sehingga nilainya bisa langsung dijumlahkan.

Hasil konsumsi dibagi menjadi dua yaitu konsumsi bahan bakar dari AE medium dan konsumsi bahan AE high speed. Dari data yang didapatkan dari badan klasifikasi menunjukkan bahwa penggunaan *auxiliary engine* pada kapal hanya menggunakan type *medium speed* dan *high speed*.



**Gambar 4.6** Model Konsumsi Bahan Bakar Total

Setelah hasil konsumsi bahan bakar yang dihasilkan oleh *main engine* dan *auxiliary engine* diketahui dan telah dimodelkan, maka selanjutnya memodelkan nilai emisi dari tiap pollutant. Dalam tugas akhir ini ada enam jenis pollutant yang dihitung yaitu VOC, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, dan PM. Perhitungan emisi dihitung dengan mengalikan konsumsi bahan bakar per hari kapal dengan faktor emisi tiap jenis pollutant. Nilai faktor emisi dipengaruhi oleh jenis engine yang digunakan dan mode operasional dari kapal tersebut



**Gambar 4.7** Model dinamika sistem kapal tanker

**Gambar 4.7** menunjukkan model dinamika sistem pada kapal tanker. Model tersebut sudah meliputi perhitungan emisi yang dihasilkan *main engine* dan *auxiliary engine* kapal. Selanjutnya akan dilakukan pemodelan yang sama untuk kapal dengan tipe yang lain yaitu kapal container, bulk carrier, penumpang, ro-ro, general cargo, tongkang, tug boat dan kapal jenis lain.

Selanjutnya akan dibuat model total dengan menjumlahkan hasil emisi per hari pada tiap-tiap kapal. Hasilnya akan ketemu nilai dari emisi total kapal yang ada di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya yaitu emisi CO total, emisi CO<sub>2</sub> total, emisi VOC total, emisi NO<sub>x</sub> total, emisi SO<sub>x</sub> total, dan emisi PM total. Untuk pemodelan emisi seluruh kapal dapat dilihat pada lampiran B.



#### 4.5 Formulasi Model

Setelah model telah selesai dibuat maka selanjutnya memasukkan formula ke dalam model tersebut. Formulasi merupakan sebuah proses memasukkan rumus-rumus ke dalam sebuah model. Pertimbangan dalam melakukan formulasi ini adalah cara perhitungan emisi gas buang kapal dan variabel-variabel yang berpengaruh terhadap sistem. Perhitungan dalam tugas akhir menggunakan metode Trozzy seperti yang dijelaskan sebelumnya.

Dalam model yang telah dibuat, terlihat input awal merupakan pertumbuhan GT (*Gross Tonnage*) dari tiap tipe kapal. Data yang ada hanya data dari tahun 2013 sampai tahun 2015 maka pembuatan formulasi pertumbuhan GT (*Gross Tonnage*) mengikuti pola pertumbuhan yang telah ada. Jumlah kapal yang ada di pelabuhan tiap hari juga terus berubah namun masih dalam batas deviasi yang dapat ditentukan. Maka pembuatan input GT (*Gross Tonnage*) dibuat pola dari pertumbuhan kapal dan pola random dengan parameter nilai minimal dan nilai maximal yang sudah ada.

Dalam setiap tipe kapal terdapat tiga jenis engine yang digunakan yaitu *diesel engine slow speed*, *diesel engine medium speed*, dan *diesel engine high speed*. Penentuan persentase penggunaan engine pada tiap tipe kapal diperoleh dari data kapal pada tanggal 5 November yang digunakan sebagai sample pengolahan data. Jumlah persentase tipe *main engine* dan *auxiliary engine* juga berubah setiap harinya, maka pola yang digunakan juga pola random yang nantinya dari hasil *running* pemodelan akan dihasilkan sebuah nilai yang random.

**Tabel 4.3** merupakan formulasi model dari kapal tanker. Pada tabel tersebut terdapat tiga buah kolom yaitu

kolom variabel, formulasi, dan hasil. Kolom variabel merupakan sebuah variabel yang dijadikan sebuah inputan untuk mendapatkan hasil yang diinginkan. Formulasi merupakan rumus yang digunakan untuk menggabungkan beberapa variabel untuk mendapatkan sebuah hasil. Sedangkan hasil merupakan sebuah hasil yang dicari yang didapatkan dari beberapa variabel setelah digabungkan dengan sebuah formula atau rumus. Untuk formulasi detail dari pemodelan ini dapat dilihat pada lampiran C.

**Tabel 4.3** Formulasi Model Kapal Tanker

No	Variabel	Formulasi	Hasil
1	Laju GT Kapal Tanker GT Awal Kapal Tanker	$\text{MAX}(0 \llcorner 1/\text{yr}\gg, \{-0.0684 \llcorner 1/\text{yr}\gg * \text{GT Awal Kapal Tanker}\})$	Penambahan GT Kapal Tanker
2	Penambahan GT Kapal Tanker GT Awal Kapal Tanker	$\text{RANDOM}(\text{min}, \text{max}, \text{seed}) + \text{'GT Awal Kapal Tanker'} + \text{'Penambahan GT Kapal Tanker'}$	GT Total Kapal Tanker
3	GT Total Kapal Tanker Jumlah Kapal Tanker	$\text{'GT Total Kapal Tanker'}/\text{Jumlah Kapal Tanker'}$	Rata-rata GT Kapal Tanker
4	Rata-rata GT Kapal Tanker Jumlah Kapal Tanker Mode Operasional Kapal Tanker Persentase Jumlah Kapal Tanker Slow Speed Waktu Belayar Kapal Tanker	$(14.685 + 0.00079 * \text{Rata-rata GT Kapal Tanker}) * \text{Persentase jumlah kapal tanker Slow Speed} * \text{Mode Operasional Kapal Tanker} * \text{Jumlah Kapal Tanker} * \text{Waktu Belayar} * 1 \llcorner \llcorner \text{ton/da}\gg$	Konsumsi Bahan Bakar Slow Speed
5	Rata-rata GT Kapal Tanker Jumlah Kapal Tanker Mode Operasional Kapal Tanker Persentase Jumlah Kapal Tanker Medium Speed Waktu Belayar Kapal Tanker	$(14.685 + 0.00079 * \text{Rata-rata GT Kapal Tanker}) * \text{Persentase Jumlah Kapal Tanker Medium Speed} * \text{Waktu Belayar Kapal Tanker} * \text{Mode Operasional ME Kapal Tanker} * \text{Jumlah Kapal Tanker} * 1 \llcorner \llcorner \text{ton/da}\gg$	Konsumsi Bahan Bakar Tanker Medium Speed
6	Rata-rata GT Kapal Tanker Jumlah Kapal Tanker	$(14.685 + 0.00079 * \text{Rata-rata GT Kapal Tanker}) * \text{Jumlah Kapal Tanker}$	Konsumsi Bahan Bakar

No	Variabel	Formulasi	Hasil
	Mode Operasional Kapal Tanker Persentase Jumlah Kapal Tanker High Speed Waktu Belayar Kapal Tanker	Tanker)*'Persentase Jumlah Kapal Tanker High Speed'*Waktu Belayar Kapal Tanker'*Mode Operasional ME Kapal Tanker'*Jumlah Kapal Tanker'*1<<ton/da>>	Tanker High Speed
7	Persentase Jumlah Kapal Tanker Slow Speed Persentase Jumlah Kapal Tanker Medium Speed	1- ('Persentase Jumlah Kapal Tanker Slow Speed'+ Persentase Jumlah Kapal Tanker Medium Speed')	Persentase Jumlah Kapal Tanker High Speed
8	Laju RO Kapal Tanker RO Awal Kapal Tanker	MAX(0<<1/yr>>,{- 0.0684<<1/yr>>*'RO Awal Kapal Tanker'})	Penambahan RO Kapal Tanker
9	Penambahan RO Kapal Tanker RO Awal Kapal Tanker	RANDOM(min,max,seed)+ 'Penambahan RO Kapal Tanker'+ 'RO Awal Kapal Tanker'	RO Total Kapal Tanker
10	RO Total Kapal Tanker Mode Operasional AE Kapal Tanker Persentase AE Kapal Tanker Medium Speed Waktu Sandar Kapal Tanker	0.2*'Mode Operasional AE Kapal Tanker'*RO Total Kapal Tanker'*Persentase AE Kapal Tanker Medium Speed'*Waktu Sandar Kapal Tanker'*0.001<<ton/da>>	Konsumsi Bahan Bakar AE Tanker Medium Speed
11	RO Total Kapal Tanker Mode Operasional AE Kapal Tanker Persentase AE Kapal Tanker High Speed Waktu Sandar Kapal Tanker	0.2*'Mode Operasional AE Kapal Tanker'*RO Total Kapal Tanker'*Persentase AE Kapal Tanker High Speed'*Waktu Sandar Kapal Tanker'*0.001<<ton/da>>	Konsumsi Bahan Bakar AE Tanker High Speed
12	Persentase AE Kapal Tanker Medium Speed	1-'Persentase AE Kapal Tanker Medium Speed'	Persentase AE Kapal Tanker High Speed
13	Konsumsi Bahan Bakar Tanker Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar AE Tanker Medium Speed	'Konsumsi Bahan Bakar AE Tanker Medium Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Tanker Medium Speed'	Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker Medium Speed
14	Konsumsi Bahan Bakar Tanker High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar AE Tanker High'	Konsumsi Bahan Bakar

No	Variabel	Formulasi	Hasil
	Konsumsi Bahan Bakar AE Tanker High Speed	Speed'+Konsumsi Bahan Bakar Tanker High Speed'	Total Tanker High Speed
15	Konsumsi Bahan Bakar Tanker Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker High Speed Faktor Emisi VOC Tanker Slow Speed Faktor Emisi VOC Tanker Medium Speed Faktor Emisi VOC Tanker High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar Tanker Slow Speed'*Faktor Emisi VOC Tanker Slow Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker Medium Speed'*Faktor Emisi VOC Tanker Medium Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker High Speed'*Faktor Emisi VOC Tanker High Speed'	Emisi VOC Tanker Per Hari
16	Konsumsi Bahan Bakar Tanker Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker High Speed Faktor Emisi PM Tanker Slow Speed Faktor Emisi PM Tanker Medium Speed Faktor Emisi PM Tanker High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar Tanker Slow Speed'*Faktor Emisi PM Tanker Slow Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker Medium Speed'*Faktor Emisi PM Tanker Medium Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker High Speed'*Faktor Emisi PM Tanker High Speed'	Emisi PM Tanker Per Hari
17	Konsumsi Bahan Bakar Tanker Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker High Speed Faktor Emisi CO2 Tanker Slow Speed Faktor Emisi CO2 Tanker Medium Speed Faktor Emisi CO2 Tanker High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar Tanker Slow Speed'*Faktor Emisi CO2 Tanker Slow Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker Medium Speed'*Faktor Emisi CO2 Tanker Medium Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker High Speed'*Faktor Emisi CO2 Tanker High Speed'	Emisi CO2 Tanker Per Hari

No	Variabel	Formulasi	Hasil
18	Konsumsi Bahan Bakar Tanker Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker High Speed Faktor Emisi CO Tanker Slow Speed Faktor Emisi CO Tanker Medium Speed Faktor Emisi CO Tanker High Speed	$\text{'Konsumsi Bahan Bakar Tanker Slow Speed' * Faktor Emisi CO Tanker Slow Speed} +$ $\text{'Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker Medium Speed' * Faktor Emisi CO Tanker Medium Speed} +$ $\text{'Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker High Speed' * Faktor Emisi CO Tanker High Speed}$	Emisi CO Tanker Per Hari
19	Konsumsi Bahan Bakar Tanker Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker High Speed Faktor Emisi NOx Tanker Slow Speed Faktor Emisi NOx Tanker Medium Speed Faktor Emisi NOx Tanker High Speed	$\text{'Konsumsi Bahan Bakar Tanker Slow Speed' * Faktor Emisi NOx Tanker Slow Speed} +$ $\text{'Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker Medium Speed' * Faktor Emisi NOx Tanker Medium Speed} +$ $\text{'Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker High Speed' * Faktor Emisi NOx Tanker High Speed}$	Emisi NOx Tanker Per Hari
20	Konsumsi Bahan Bakar Tanker Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker High Speed Faktor Emisi SOx Tanker Slow Speed Faktor Emisi SOx Tanker Medium Speed Faktor Emisi SOx Tanker High Speed	$\text{'Konsumsi Bahan Bakar Tanker Slow Speed' * Faktor Emisi SOx Tanker Slow Speed} +$ $\text{'Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker Medium Speed' * Faktor Emisi SOx Tanker Medium Speed} +$ $\text{'Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker High Speed' * Faktor Emisi SOx Tanker High Speed}$	Emisi SOx Tanker Per Hari

#### 4.6 Simulasi Model

Langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi model yang telah dibuat. Model harus terlebih dahulu dipastikan dapat dijalankan dengan tidak adanya tanda *error* dan nilai pada variabel yang berpengaruh harus sudah dimasukkan dengan benar.

Simulasi ini diatur dengan *time step* per satu hari karena data yang digunakan untuk analisa merupakan data kapal per hari yang ada di pelabuhan. Model ini akan disimulasikan dalam waktu 15 tahun dengan *Starttime* dimulai pada tanggal 5 November 2015 dan *Stoptime* pada tanggal 5 November 2030. **Tabel 4.4** di bawah menunjukkan hasil simulasi yang telah dilakukan. Hasil tersebut merupakan jumlah emisi yang dihasilkan oleh seluruh kapal yang ada di pelabuhan.

**Tabel 4.4** Hasil Simulasi Emisi Per Hari

Waktu	Hasil Pemodelan Emisi (Ton/Hari)					
	Emisi CO	Emisi CO <sub>2</sub>	Emisi PM	Emisi SO <sub>x</sub>	Emisi NO <sub>x</sub>	Emisi VOC
Nov-2015	30,161	890,354	0,371	8,347	7,239	0,785
Apr-2016	30,301	890,343	0,372	8,347	7,275	0,777
Nov-2016	32,390	954,370	0,399	8,947	7,778	0,865
Apr-2017	31,774	933,258	0,391	8,749	7,607	0,822
Nov-2017	34,549	1016,871	0,425	9,533	8,298	0,935
Apr-2018	33,656	987,214	0,415	9,255	8,063	0,881
Nov-2018	35,246	1033,257	0,434	9,687	8,458	0,941
Apr-2019	34,686	1020,616	0,427	9,568	8,291	0,911
Nov-2019	36,283	1063,906	0,447	9,974	8,691	0,967
Apr-2020	38,394	1130,348	0,473	10,597	9,215	1,058
Nov-2020	38,606	1129,533	0,476	10,589	9,238	1,035
Apr-2021	38,555	1124,329	0,476	10,554	9,214	1,024

Waktu	Hasil Pemodelan Emisi (Ton/Hari)					
	Emisi CO	Emisi CO <sub>2</sub>	Emisi PM	Emisi SO <sub>x</sub>	Emisi NO <sub>x</sub>	Emisi VOC
Nov-2021	39,442	1157,624	0,486	10,853	9,437	1,065
Apr-2022	40,174	1176,069	0,495	11,026	9,615	1,079
Nov-2022	42,169	1235,225	0,520	11,580	10,091	1,163
Apr-2023	42,841	1249,648	0,528	11,715	10,279	1,166
Nov-2023	43,593	1273,781	0,537	11,942	10,444	1,198
Apr-2024	42,869	1258,004	0,528	11,794	10,245	1,155
Nov-2024	44,732	1306,674	0,552	12,250	10,713	1,223
Apr-2025	44,683	1311,233	0,551	12,293	10,688	1,221
Nov-2025	45,724	1341,966	0,563	12,581	10,941	1,254
Apr-2026	46,589	1369,784	0,574	12,842	11,150	1,270
Nov-2026	47,560	1395,562	0,586	13,083	11,365	1,306
Apr-2027	47,727	1396,387	0,588	13,091	11,371	1,302
Nov-2027	49,684	1449,993	0,613	13,594	11,863	1,374
Apr-2028	50,701	1482,183	0,625	13,895	12,128	1,407
Nov-2028	50,899	1490,427	0,627	13,973	12,185	1,403
Apr-2029	52,668	1540,532	0,649	14,442	12,598	1,466
Nov-2029	52,783	1533,494	0,651	14,377	12,634	1,449
Apr-2030	52,863	1541,005	0,652	14,447	12,615	1,445
Nov-2030	53,085	1552,677	0,654	14,556	12,662	1,448

#### 4.7 Validasi

Validasi merupakan proses untuk memastikan bahwa model yang telah dibuat sudah sesuai dengan kondisi riil yang ada di lapangan dan untuk melihat seberapa besar tingkat kepercayaan terhadap model yang telah dibuat. Cara melakukan validasi yang pertama adalah dengan melakukan konsultasi dengan pihak yang pernah melakukan penelitian terhadap perhitungan ini. Dalam hal ini, penulis melakukan

konsultasi dengan dosen pembimbing untuk memastikan bahwa model yang telah dibuat bisa mewakili kondisi riil di lapangan. Selanjutnya juga dilakukan validasi dengan melakukan perbandingan hasil perhitungan dari model dengan hasil perhitungan dengan menggunakan microsoft excel. Hasil validasi harus dapat diterima untuk memastikan bahwa model yang dibuat sudah benar. Jika hasil validasi model tidak dapat diterima maka perlu dilakukan perbaikan pada model yang telah dibuat.

Perhitungan *error* dari validasi dengan menghitung selisih hasil simulasi model dengan perhitungan di excel dibagi dengan hasil perhitungan di excel, dengan rumus sebagai berikut :

$$error = \frac{\text{hasil simulasi} - \text{hasil perhitungan excel}}{\text{hasil simulasi}}$$

PELAYANAN HARIAN 2015			PERHITUNGAN EMISI					
No	NAMA KAPAL	TIPE	EMISI CO2	EMISI CO	EMISI SOx	EMISI NOx	EMISI VOC	EMISI PM
258	ANNA JAYA	TANKER	2,2946	0,0645	0,0212	0,0198	0,0205	0,0011
259	RAAFIAH	TANKER	2,9417	0,1024	0,0276	0,0223	0,0244	0,0013
260	BAKTI 1	TANKER	3,5820	0,1263	0,0538	0,0294	0,0301	0,0018
262	BUMI INDONESIA	TANKER	8,2096	0,2580	0,0770	0,0693	0,0714	0,0037
262	NAVIGATOR GLOBAL	TANKER	32,6680	0,3913	0,1187	0,0910	0,0914	0,0047
263	MARLIN 8	TANKER	5,7252	0,1773	0,0537	0,0411	0,0413	0,0021
264	MAUHAI	TANKER	4,9385	0,1831	0,0463	0,0432	0,0446	0,0023
265	BAGUS SELATAN	TANKER	2,2944	0,0710	0,0213	0,0163	0,0166	0,0009
266	PARNA BERLIAN 2	TANKER	7,9846	0,2470	0,0743	0,0574	0,0596	0,0030
			289,9133	10,0436	8,1409	7,2031	0,7805	0,3662

**Gambar 4.8** Hasil Perhitungan Emisi Dengan Microsoft Excel

Hasil pemodelan simulasi dapat diterima jika memiliki nilai *error* kurang dari 1%. **Gambar 4.8** merupakan hasil perhitungan yang diperoleh dengan menggunakan *software microsoft excel*. Selanjutnya adalah melakukan perhitungan



nilai *error* untuk mengetahui apakah model yang telah dibuat dapat digunakan untuk merepresentasikan kondisi riil atau tidak.

Berikut merupakan perhitungan nilai *error* untuk setiap jenis polutan.

- Nilai *error* CO<sub>2</sub>

$$\text{error} = \frac{\text{hasil simulasi CO}_2 - \text{hasil perhitungan excel}}{\text{hasil simulasi CO}_2}$$

$$\text{error} = \frac{890,354 - 889,9133}{890,354} = 0,000495$$

- Nilai *error* CO

$$\text{error} = \frac{\text{hasil simulasi CO} - \text{hasil perhitungan excel}}{\text{hasil simulasi CO}}$$

$$\text{error} = \frac{30,161 - 30,04363}{30,161} = 0,00389$$

- Nilai *error* SO<sub>x</sub>

$$\text{error} = \frac{\text{hasil simulasi SO}_x - \text{hasil perhitungan excel}}{\text{hasil simulasi SO}_x}$$

$$\text{error} = \frac{8,347 - 8,343918}{8,347} = 0,000369$$

- Nilai *error* NO<sub>x</sub>

$$\text{error} = \frac{\text{hasil simulasi NO}_x - \text{hasil perhitungan excel}}{\text{hasil simulasi NO}_x}$$

$$error = \frac{7,239 - 7,203077}{7,239} = 0,004962$$

- Nilai *error* VOC

$$error = \frac{\text{hasil simulasi VOC} - \text{hasil perhitungan excel}}{\text{hasil simulasi VOC}}$$

$$error = \frac{0,785 - 0,786488}{0,785} = -0,0019$$

- Nilai *error* PM

$$error = \frac{\text{hasil simulasi PM} - \text{hasil perhitungan excel}}{\text{hasil simulasi PM}}$$

$$error = \frac{0,371 - 0,369214}{0,371} = 0,004815$$

Berdasarkan hasil perhitungan validasi yang telah dilakukan di atas maka dapat disimpulkan bahwa nilai *error* dapat diterima. Model yang telah dapat merepresentasikan keadaan sesungguhnya dan dapat disimpulkan bahwa model yang dibuat telah valid dan dapat dilanjutkan ke tahap analisa.

#### **4.8 Analisa Hasil Simulasi**

Analisa hasil simulasi ini terdapat dua bagian yaitu analisa hasil simulasi emisi gas buang kapal sebelum dibangun Terminal Teluk Lamong dan analisa hasil simulasi emisi gas buang kapal setelah dibangunnya Terminal Teluk Lamong. Analisa berisi tentang pengaruh dibangunnya Terminal Teluk Lamong terhadap emisi yang dihasilkan oleh gas buang kapal di Area Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya.

#### **4.8.1 Analisa Hasil Emisi Sebelum Dibangun Terminal Teluk Lamong**

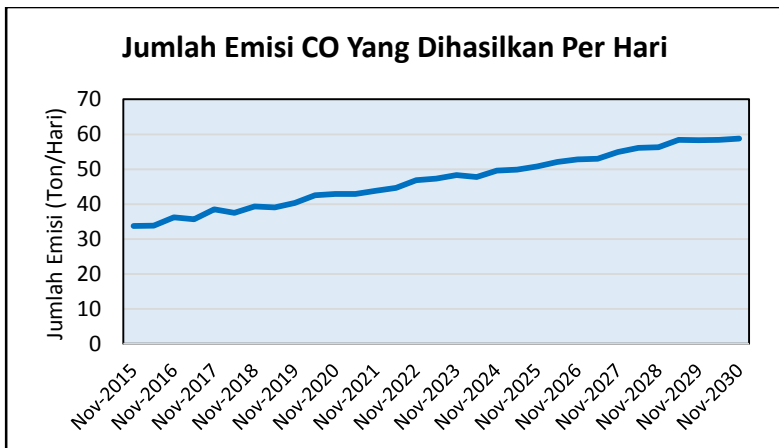
Terminal Teluk Lamong mulai diresmikan pada bulan Mei 2014. Simulasi model dinamika sistem sebelum dibangun Terminal Teluk Lamong dengan menggunakan data kapal yang ada di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya pada tahun 2014. Analisa dilakukan dengan mengambil data pada tanggal 13 Maret 2014. Jumlah kapal secara kumulatif pada bulan Maret 2014 terdapat 1393 kapal sedangkan jumlah kapal per hari pada tanggal 13 Maret 2014 sebanyak 306 kapal. Banyaknya jumlah kapal dalam satu hari dikarenakan waktu tunggu di pelabuhan yang relatif lama saat sebelum dibangun Terminal Teluk Lamong.

**Tabel 4.5** menunjukkan tabel hasil simulasi jumlah emisi di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya setelah dibangun Terminal Teluk Lamong dengan menggunakan software Powersim Studio 8. Pada tabel tersebut terdapat 6 kolom yaitu waktu, emisi CO, emisi CO<sub>2</sub>, emisi PM, emisi SO<sub>x</sub>, emisi NO<sub>x</sub>, dan emisi VOC. Waktu pada bulan November 2015 merupakan waktu eksisting saat ini yaitu saat perhitungan menggunakan data riil yang ada sedangkan waktu pada bulan April 2016 – bulan November 2030 merupakan waktu prediksi jumlah emisi yang akan dihasilkan dengan menggunakan data yang ada.

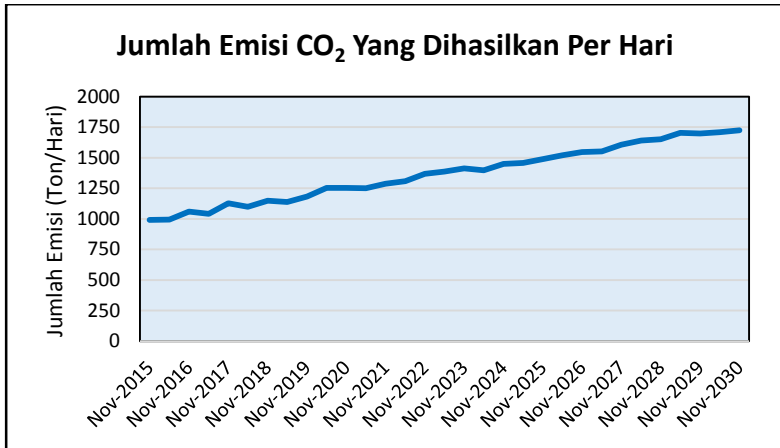
**Tabel 4.5** Hasil Simulasi Dinamika Sistem Sebelum Dibangun Terminal Teluk Lamong

Waktu	Hasil Pemodelan Emisi (Ton/Hari)					
	Emisi CO	Emisi CO <sub>2</sub>	Emisi PM	Emisi SO <sub>x</sub>	Emisi NO <sub>x</sub>	Emisi VOC
Nov-2015	33,795	990,926	0,416	9,290	8,081	1,313
Apr-2016	33,879	993,237	0,417	9,312	8,091	1,291
Nov-2016	36,197	1059,585	0,446	9,934	8,659	1,364
Apr-2017	35,697	1040,795	0,440	9,757	8,520	1,308
Nov-2017	38,487	1126,729	0,474	10,563	9,201	1,394
Apr-2018	37,492	1099,395	0,462	10,307	8,955	1,345
Nov-2018	39,322	1147,759	0,485	10,760	9,387	1,374
Apr-2019	39,047	1137,439	0,482	10,663	9,310	1,353
Nov-2019	40,337	1183,051	0,497	11,091	9,634	1,368
Apr-2020	42,584	1251,814	0,525	11,736	10,199	1,430
Nov-2020	42,874	1253,321	0,528	11,750	10,210	1,411
Apr-2021	42,873	1250,439	0,529	11,723	10,235	1,398
Nov-2021	43,877	1286,056	0,541	12,057	10,478	1,419
Apr-2022	44,664	1306,822	0,551	12,251	10,653	1,410
Nov-2022	46,826	1368,299	0,577	12,828	11,203	1,464
Apr-2023	47,306	1385,044	0,583	12,985	11,333	1,461
Nov-2023	48,283	1411,499	0,595	13,233	11,555	1,475
Apr-2024	47,731	1398,043	0,588	13,107	11,386	1,427
Nov-2024	49,560	1449,035	0,611	13,585	11,828	1,476
Apr-2025	49,847	1455,916	0,615	13,649	11,889	1,483
Nov-2025	50,818	1488,970	0,626	13,959	12,125	1,479
Apr-2026	52,102	1519,110	0,643	14,242	12,426	1,513
Nov-2026	52,837	1547,210	0,651	14,505	12,623	1,492
Apr-2027	52,972	1550,356	0,653	14,535	12,658	1,500
Nov-2027	54,928	1606,284	0,677	15,059	13,091	1,543

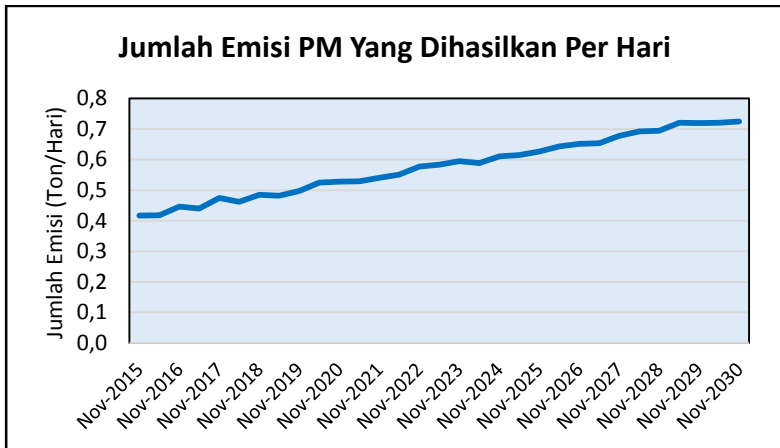
Waktu	Hasil Pemodelan Emisi (Ton/Hari)					
	Emisi CO	Emisi CO <sub>2</sub>	Emisi PM	Emisi SO <sub>x</sub>	Emisi NO <sub>x</sub>	Emisi VOC
Apr-2028	56,143	1640,795	0,692	15,382	13,409	1,551
Nov-2028	56,330	1651,361	0,694	15,482	13,442	1,546
Apr-2029	58,390	1703,788	0,720	15,973	13,958	1,589
Nov-2029	58,314	1699,071	0,719	15,929	13,911	1,571
Apr-2030	58,431	1708,904	0,720	16,021	13,927	1,540
Nov-2030	58,790	1722,897	0,724	16,162	14,008	1,557



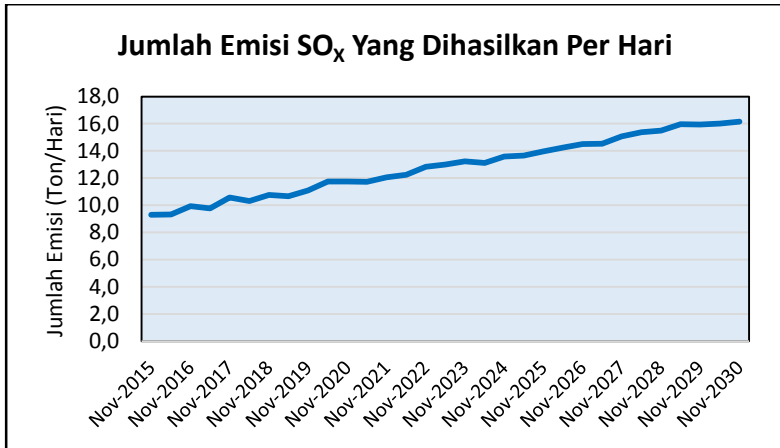
**Gambar 4.9** Jumlah emisi CO per hari sebelum dibangun Terminal Teluk Lamong



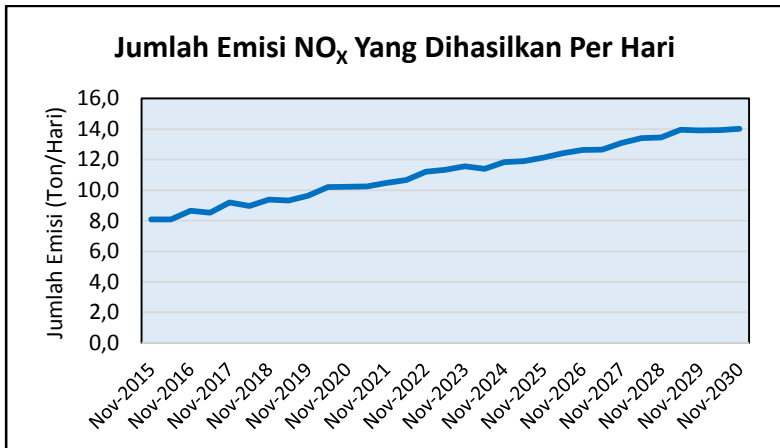
**Gambar 4.10** Jumlah emisi CO<sub>2</sub> per hari sebelum dibangun Terminal Teluk Lamong



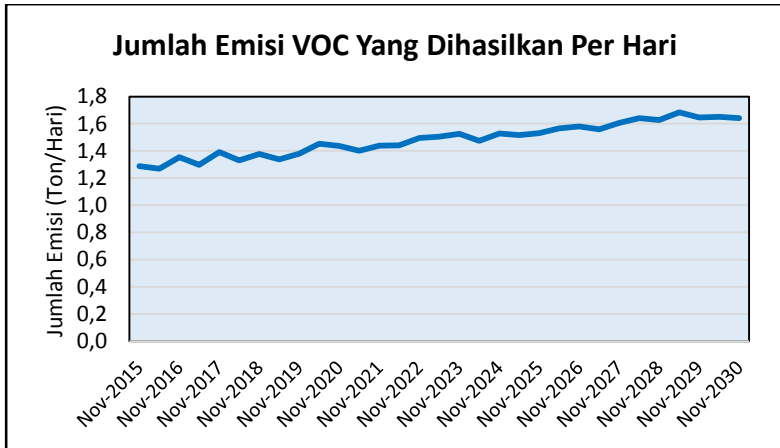
**Gambar 4.11** Jumlah emisi PM per hari sebelum dibangun Terminal Teluk Lamong



**Gambar 4.12** Jumlah emisi SO<sub>x</sub> per hari sebelum dibangun Terminal Teluk Lamong



**Gambar 4.13** Jumlah emisi NO<sub>x</sub> per hari sebelum dibangun Terminal Teluk Lamong



**Gambar 4.14** Jumlah emisi VOC per hari sebelum dibangun Terminal Teluk Lamong

**Gambar 4.9, Gambar 4.10, Gambar 4.11, Gambar 4.12, Gambar 4.13, dan Gambar 4.14** menunjukkan grafik yang dihasilkan di area Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya setelah dibangun Terminal Teluk Lamong untuk masing-masing emisi CO, CO<sub>2</sub>, PM, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, dan VOC. Grafik tersebut menunjukkan emisi yang dihasilkan sampai jangka waktu 15 tahun. Sumbu  $x$  pada grafik menunjukkan waktu sedangkan waktu sumbu  $y$  menunjukkan jumlah emisi yang dihasilkan per hari. Waktu simulasi dimulai pada November 2015 dan berakhir pada November 2030. Pada grafik tersebut terlihat bahwa pada kondisi saat ini besar emisi yang dihasilkan untuk jenis emisi CO sebesar 33,795 ton/hari, CO<sub>2</sub> sebesar 990,926 ton/hari, PM sebesar 0,416 ton/hari, SO<sub>x</sub> sebesar 9,290 ton/hari, NO<sub>x</sub> sebesar 8,081 ton/hari, dan VOC sebesar 1,313 ton/hari. Jumlah emisi yang dihasilkan akan mengalami kenaikan dengan laju rata-rata 2,4% per tahun.



#### 4.8.2 Analisa Hasil Emisi Setelah Dibangun Terminal Teluk Lamong

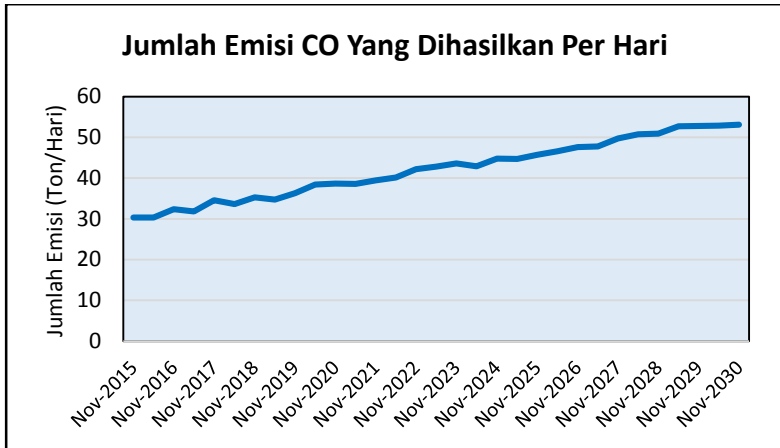
Simulasi model dinamika sistem setelah dibangun Terminal Teluk Lamong dengan menggunakan data kapal pada tahun 2015. Berdasarkan data kapal tahun 2015, jumlah kapal per bulan terbanyak terdapat pada bulan November 2015 dengan jumlah 1408 kapal. Analisa dilakukan dengan mengambil data pada tanggal 5 November 2015 yang merupakan jumlah kapal terbanyak pada bulan November.

**Tabel 4.6** menunjukkan tabel hasil simulasi jumlah emisi di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya setelah dibangun Terminal Teluk Lamong dengan menggunakan software Powersim Studio 8. Pada tabel tersebut terdapat 6 kolom yaitu waktu, emisi CO, emisi CO<sub>2</sub>, emisi PM, emisi SO<sub>x</sub>, emisi NO<sub>x</sub>, dan emisi VOC. Waktu pada bulan November 2015 merupakan waktu eksisting saat ini yaitu saat perhitungan menggunakan data riil yang ada sedangkan waktu pada bulan april 2016 – bulan November 2030 merupakan waktu prediksi jumlah emisi yang akan dihasilkan dengan menggunakan data yang ada.

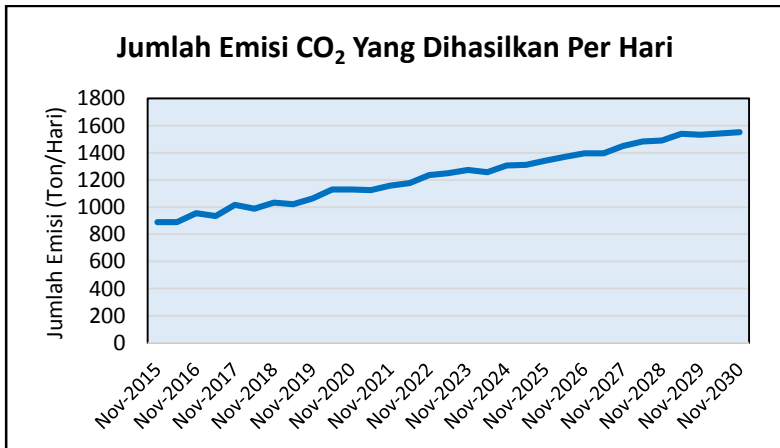
**Tabel 4.6** Hasil Simulasi Dinamika Sistem Setelah Dibangun Terminal Teluk Lamong

Waktu	Hasil Pemodelan Emisi (Ton/Hari)					
	Emisi CO	Emisi CO <sub>2</sub>	Emisi PM	Emisi SO <sub>x</sub>	Emisi NO <sub>x</sub>	Emisi VOC
Nov-2015	30,161	890,354	0,371	8,347	7,239	0,785
Apr-2016	30,301	890,343	0,372	8,347	7,275	0,777
Nov-2016	32,390	954,370	0,399	8,947	7,778	0,865
Apr-2017	31,774	933,258	0,391	8,749	7,607	0,822
Nov-2017	34,549	1016,871	0,425	9,533	8,298	0,935
Apr-2018	33,656	987,214	0,415	9,255	8,063	0,881

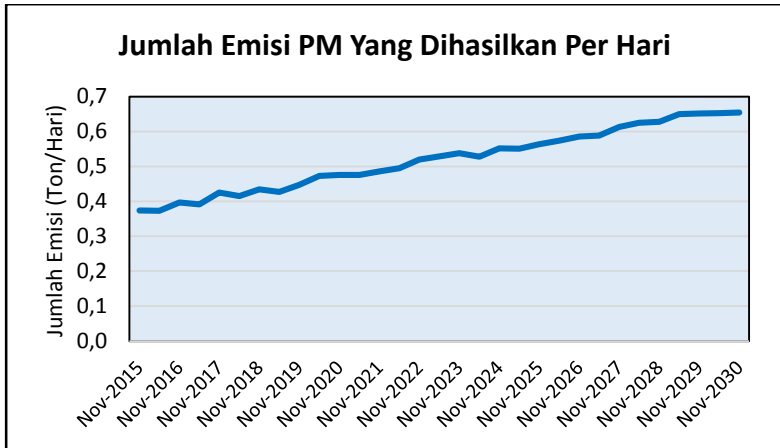
Waktu	Hasil Pemodelan Emisi (Ton/Hari)					
	Emisi CO	Emisi CO <sub>2</sub>	Emisi PM	Emisi SO <sub>x</sub>	Emisi NO <sub>x</sub>	Emisi VOC
<b>Nov-2018</b>	35,246	1033,257	0,434	9,687	8,458	0,941
<b>Apr-2019</b>	34,686	1020,616	0,427	9,568	8,291	0,911
<b>Nov-2019</b>	36,283	1063,906	0,447	9,974	8,691	0,967
<b>Apr-2020</b>	38,394	1130,348	0,473	10,597	9,215	1,058
<b>Nov-2020</b>	38,606	1129,533	0,476	10,589	9,238	1,035
<b>Apr-2021</b>	38,555	1124,329	0,476	10,554	9,214	1,024
<b>Nov-2021</b>	39,442	1157,624	0,486	10,853	9,437	1,065
<b>Apr-2022</b>	40,174	1176,069	0,495	11,026	9,615	1,079
<b>Nov-2022</b>	42,169	1235,225	0,520	11,580	10,091	1,163
<b>Apr-2023</b>	42,841	1249,648	0,528	11,715	10,279	1,166
<b>Nov-2023</b>	43,593	1273,781	0,537	11,942	10,444	1,198
<b>Apr-2024</b>	42,869	1258,004	0,528	11,794	10,245	1,155
<b>Nov-2024</b>	44,732	1306,674	0,552	12,250	10,713	1,223
<b>Apr-2025</b>	44,683	1311,233	0,551	12,293	10,688	1,221
<b>Nov-2025</b>	45,724	1341,966	0,563	12,581	10,941	1,254
<b>Apr-2026</b>	46,589	1369,784	0,574	12,842	11,150	1,270
<b>Nov-2026</b>	47,560	1395,562	0,586	13,083	11,365	1,306
<b>Apr-2027</b>	47,727	1396,387	0,588	13,091	11,371	1,302
<b>Nov-2027</b>	49,684	1449,993	0,613	13,594	11,863	1,374
<b>Apr-2028</b>	50,701	1482,183	0,625	13,895	12,128	1,407
<b>Nov-2028</b>	50,899	1490,427	0,627	13,973	12,185	1,403
<b>Apr-2029</b>	52,668	1540,532	0,649	14,442	12,598	1,466
<b>Nov-2029</b>	52,783	1533,494	0,651	14,377	12,634	1,449
<b>Apr-2030</b>	52,863	1541,005	0,652	14,447	12,615	1,445
<b>Nov-2030</b>	53,085	1552,677	0,654	14,556	12,662	1,448



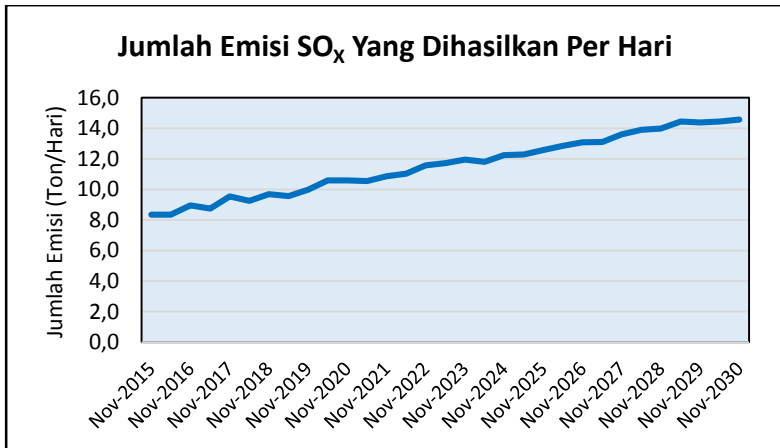
**Gambar 4.15** Jumlah emisi CO per hari sesudah dibangun Terminal Teluk Lamong



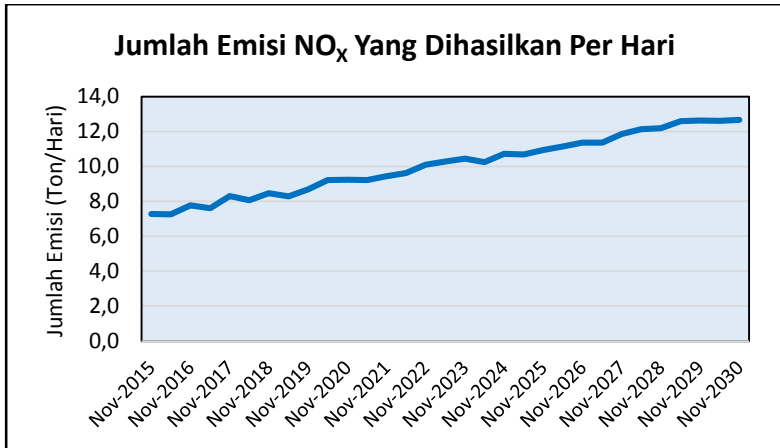
**Gambar 4.16** Jumlah emisi CO<sub>2</sub> per hari sesudah dibangun Terminal Teluk Lamong



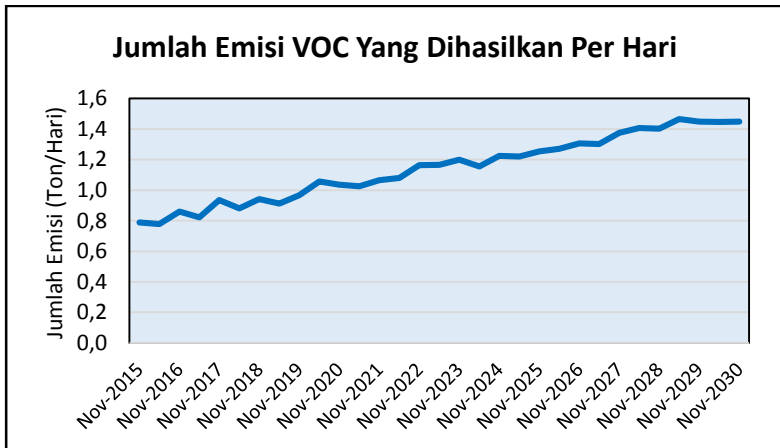
**Gambar 4.17** Jumlah emisi PM per hari sesudah dibangun Terminal Teluk Lamong



**Gambar 4.18** Jumlah emisi SO<sub>x</sub> per hari sesudah dibangun Terminal Teluk Lamong



**Gambar 4.19** Jumlah emisi NO<sub>x</sub> per hari sesudah dibangun Terminal Teluk Lamong



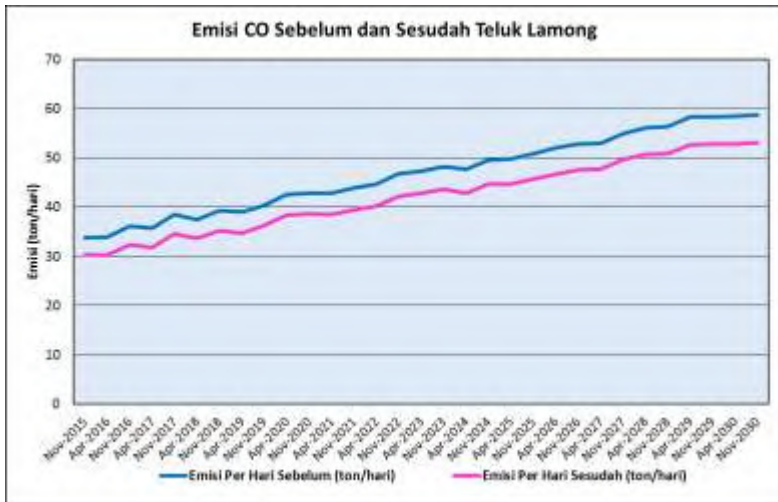
**Gambar 4.20** Jumlah emisi VOC per hari sesudah dibangun Terminal Teluk Lamong

**Gambar 4.15, Gambar 4.16, Gambar 4.17, Gambar 4.18, Gambar 4.19, dan Gambar 4.20** menunjukkan grafik yang dihasilkan di area Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya setelah dibangun Terminal Teluk Lamong untuk masing-masing emisi CO, CO<sub>2</sub>, PM, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, dan VOC. Grafik tersebut menunjukkan emisi yang dihasilkan sampai jangka waktu 15 tahun. Sumbu  $x$  pada grafik menunjukkan waktu sedangkan waktu sumbu  $y$  menunjukkan jumlah emisi yang dihasilkan per hari. Waktu simulasi dimulai pada November 2015 dan berakhir pada November 2030. Pada grafik tersebut terlihat bahwa pada kondisi saat ini besar emisi yang dihasilkan untuk jenis emisi CO sebesar 30,328 ton/hari, CO<sub>2</sub> sebesar 890,354 ton/hari, PM sebesar 0,374 ton/hari, SO<sub>x</sub> sebesar 8,347 ton/hari, NO<sub>x</sub> sebesar 7,270 ton/hari, dan VOC sebesar 0,789 ton/hari. Jumlah emisi yang dihasilkan akan mengalami kenaikan dengan laju rata-rata 2,4% per tahun.

#### **4.8.3 Perbandingan Hasil Emisi Sebelum dan Sesudah Dibangun Terminal Teluk Lamong**

Model yang dibuat untuk perhitungan jumlah emisi kapal yang dihasilkan di area Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya untuk kasus sebelum dan sesudah dibangun Terminal Teluk Lamong adalah dengan menggunakan model yang sama. Perbedaannya hanyalah inputan nilai awal dari model tersebut.

Jumlah kapal pada bulan Maret 2014 adalah sebanyak 1372 dengan jumlah GT total sebanyak 6.412.911 dan jumlah kapal pada bulan November 2015 adalah sebanyak 1408 dengan jumlah GT total sebanyak 8.310.831 GT.



**Gambar 4.21** Perbandingan emisi CO sebelum dan sesudah dibangun Terminal Teluk Lamong



**Gambar 4.22** Perbandingan emisi CO<sub>2</sub> sebelum dan sesudah dibangun Terminal Teluk Lamong

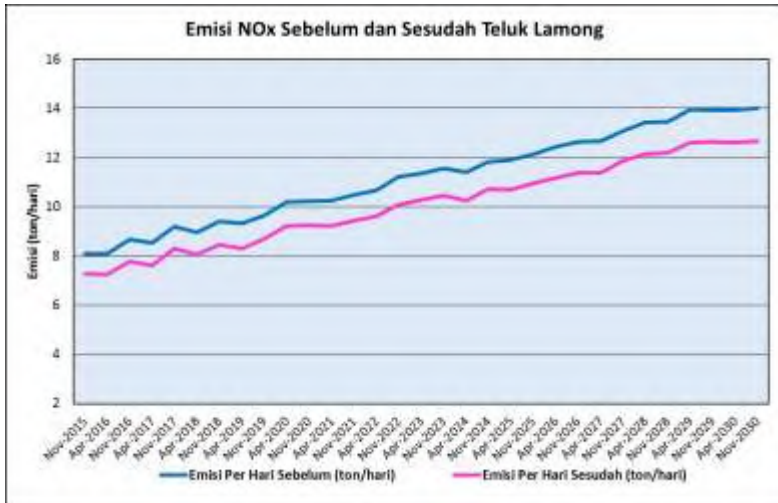


**Gambar 4.23** Perbandingan emisi PM sebelum dan sesudah dibangun Terminal Teluk Lamong

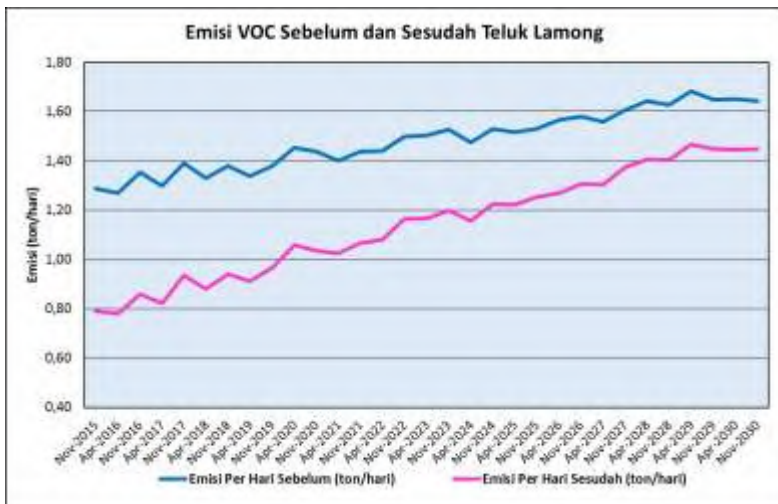


**Gambar 4.24** Perbandingan emisi SOx sebelum dan sesudah dibangun Terminal Teluk Lamong





**Gambar 4.25** Perbandingan emisi NOx sebelum dan sesudah dibangun Terminal Teluk Lamong



**Gambar 4.26** Perbandingan emisi VOC sebelum dan sesudah dibangun Terminal Teluk Lamong

**Gambar 4.21, Gambar 4.22, Gambar 4.23, Gambar 4.24, Gambar 4.25, dan Gambar 4.26** menunjukkan grafik hubungan antara jumlah emisi yang dihasilkan per hari kapal sebelum dan sesudah dibangun Terminal Teluk Lamong. Line warna biru menunjukkan emisi yang dihasilkan sebelum dibangun Terminal Teluk Lamong per hari sedangkan warna merah muda menunjukkan jumlah emisi per hari yang dihasilkan setelah dibangun terminal Teluk Lamong.

Berdasarkan hasil simulasi menunjukkan bahwa jumlah emisi per hari di area Pelabuhan Tanjung Perak, sebelum dibangun Terminal Teluk Lamong menghasilkan emisi yang lebih besar. Padahal jumlah kunjungan kapal per bulan sebelum dibangun Terminal Teluk Lamong lebih sedikit daripada setelah dibangun Terminal Teluk Lamong. Jumlah emisi sebelum dibangun Terminal Teluk Lamong memiliki nilai yang lebih besar dikarenakan waktu tunggu kapal di Pelabuhan Tanjung Perak lebih lama. Waktu tunggu yang lebih lama akan menyebabkan kapal menumpuk di pelabuhan. Penumpukan kapal tersebut menyebabkan emisi yang dihasilkan semakin besar.

Pembangunan Terminal Teluk Lamong di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya sangat diperlukan. Adanya Terminal Teluk Lamong dapat menyebabkan waktu tunggu kapal di Pelabuhan Tanjung Perak semakin sedikit. Selain itu, jumlah kebutuhan yang semakin meningkat juga memerlukan kapal yang semakin banyak sehingga dengan adanya Terminal Teluk Lamong dapat membantu mengatasi jumlah kapal yang ada di Pelabuhan.

#### 4.9 Skenario Kebijakan

Skenario kebijakan diperlukan untuk memberikan rekomendasi terkait hasil simulasi model agar dapat mengurangi emisi yang semaksimal mungkin. Kebijakan yang dapat diterapkan dalam permasalahan ini adalah penerapan MARPOL Annex VI di Indonesia.

Pada tahun 2014, Indonesia telah meratifikasi MARPOL 73/78 Annex VI. Batasan emisi yang diatur dalam MARPOL 73/78 Annex VI dibagi menjadi 3 jenis yaitu Tier I, Tier II, dan Tier III. Besarnya batas emisi yang diperbolehkan untuk tiap Tier tergantung dari besarnya daya *engine* dan putaran *engine*.

Berikut merupakan batasan dari emisi NO<sub>x</sub> yang diperbolehkan oleh MARPOL 73/78 Annex VI:

- Tier I
 

Tier I berlaku untuk kapal yang dibangun mulai tanggal 1 Januari 2000 sampai dengan tanggal 1 Januari 2010. Batasan emisi tergantung dengan putaran *engine*, yaitu sebagai berikut :

  - $17,0 \frac{\text{g}}{\text{kWh}}$  jika putaran *engine* kurang dari 130 rpm.
  - $45,0 \times n^{(-0,2)} \frac{\text{g}}{\text{kWh}}$  jika putaran *engine* antara 130 rpm sampai 2000 rpm.
  - $9,8 \frac{\text{g}}{\text{kWh}}$  jika putaran *engine* lebih dari 2000 rpm.
- Tier II
 

Tier I berlaku untuk kapal yang dibangun setelah tanggal 1 Januari 2011. Batasan emisi tergantung dengan putaran *engine*, yaitu sebagai berikut :

  - $14,4 \frac{\text{g}}{\text{kWh}}$  jika putaran *engine* kurang dari 130 rpm.
  - $44,0 \times n^{(-0,2)} \frac{\text{g}}{\text{kWh}}$  jika putaran *engine* antara 130 rpm sampai 2000 rpm.

- $7,7 \text{ g/kWh}$  jika putaran *engine* lebih dari 2000 rpm.
- Tier III
- Tier III berlaku untuk kapal yang dibangun setelah 1 Januari 2016 dengan area pelayaran pada area *Emission Control Area (ECAs)*. Batasan emisi tergantung dengan putaran *engine*, yaitu sebagai berikut:
- $3,4 \text{ g/kWh}$  jika putaran *engine* kurang dari 130 rpm.
  - $9,0 \times n^{(-0,2)} \text{ g/kWh}$  jika putaran *engine* antara 130 rpm sampai 2000 rpm.
  - $2,0 \text{ g/kWh}$  jika putaran *engine* lebih dari 2000 rpm.

Pada tugas akhir ini akan dilakukan analisa mengenai penerapan MARPOL Annex VI di Indonesia. Analisa dilakukan dengan menggunakan metode dinamika sistem untuk mengetahui berapa emisi yang dapat dikurangi dari penerapan MARPOL Annex VI di Indonesia.

#### **4.10 Pemodelan Skenario Kebijakan**

Pemodelan skenario kebijakan memerlukan pertimbangan perhitungan emisi maksimum yang diperbolehkan oleh MARPOL Annex VI. Pada MARPOL Annex VI terdapat batasan maksimum emisi, misalnya emisi NO<sub>x</sub> maksimum yang diperbolehkan adalah  $17 \text{ g/kWh}$  untuk tier I, sehingga perhitungan besar emisi pada kapal tersebut adalah  $17 \times \text{besar daya main engine}$ .

Dalam penerapan MARPOL Annex VI ini belum sepenuhnya setiap kapal dapat menerapkannya secara bersamaan. Pembuatan model skenario perlu memprediksi lama waktu realisasi dari penerapan MARPOL Annex VI. Realisasi dalam model di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya



emisi maksimal ditentukan berdasarkan besarnya daya *engine*. Presentase jumlah kapal yang menerapkan tier I dan tier II perlu dipertimbangkan dalam perhitungan emisi. Batasan emisi untuk kapal tier I dan tier II memiliki nilai faktor emisi yang berbeda. Kapal tier I memiliki nilai faktor emisi yang lebih besar dibandingkan dengan tier II. Variabel lama estimasi penerapan MARPOL Annex VI diperlukan dalam masa transisi penerapan MARPOL Annex VI di Indonesia untuk kapal yang sebelumnya belum memenuhi standar dalam MARPOL Annex VI.

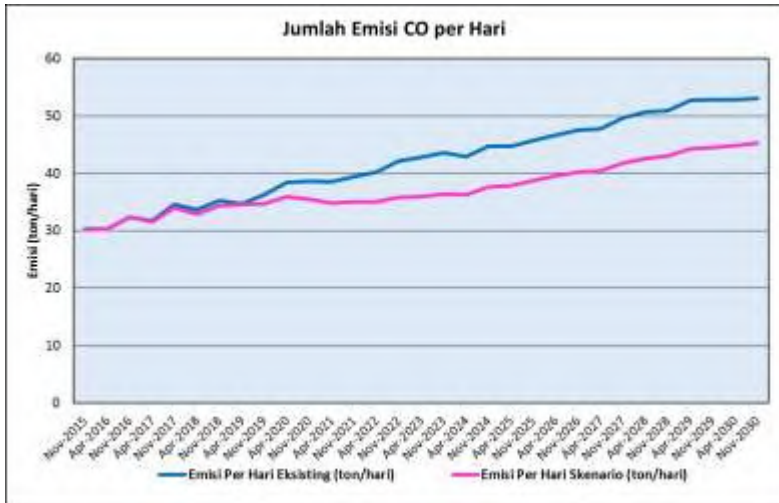
#### 4.11 Analisa Skenario Kebijakan

Dari hasil pemodelan dinamika sistem setelah dilakukan skenario kebijakan, maka dapat dilakukan analisa jumlah pengurangan emisi dengan diterapkannya MARPOL Annex VI. Hasil simulasi dengan menggunakan software Powersim Studio 8 dapat dilihat pada **Tabel 4.7**.

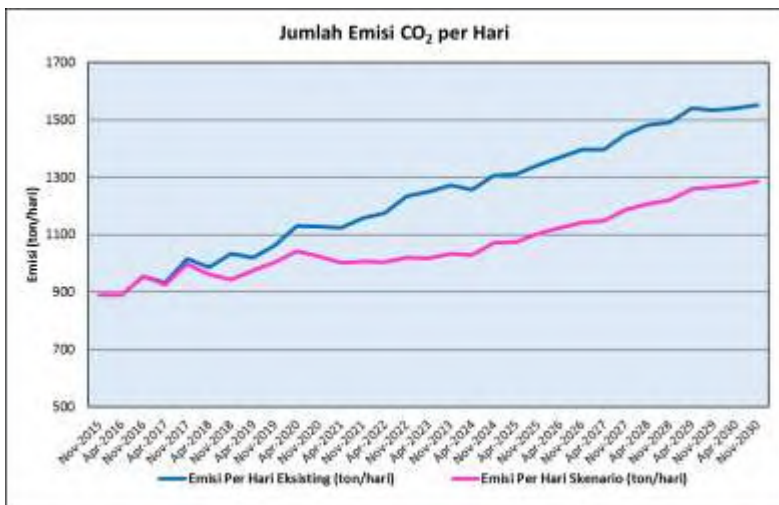
**Tabel 4.7** Hasil Simulasi Dinamika Sistem Setelah Penerapan MARPOL Annex VI

Time	Hasil Pemodelan Emisi (Ton/Hari)					
	Emisi CO	Emisi CO <sub>2</sub>	Emisi PM	Emisi SO <sub>x</sub>	Emisi NO <sub>x</sub>	Emisi VOC
Nov-2015	30,161	890,354	0,371	8,347	7,239	0,785
Apr-2016	30,301	890,343	0,372	8,347	7,275	0,777
Nov-2016	32,390	954,370	0,399	8,947	7,778	0,865
Apr-2017	31,492	925,289	0,387	8,657	7,514	0,821
Nov-2017	34,032	997,578	0,417	9,314	8,073	0,925
Apr-2018	32,949	961,245	0,402	8,956	7,761	0,862
Nov-2018	34,382	944,478	0,419	9,262	8,048	0,916
Apr-2019	34,634	975,779	0,408	9,047	7,810	0,879
Nov-2019	34,655	1004,572	0,419	9,285	8,002	0,922

Time	Hasil Pemodelan Emisi (Ton/Hari)					
	Emisi CO	Emisi CO <sub>2</sub>	Emisi PM	Emisi SO <sub>x</sub>	Emisi NO <sub>x</sub>	Emisi VOC
<b>Apr-2020</b>	35,986	1043,612	0,432	9,582	8,198	0,985
<b>Nov-2020</b>	35,528	1023,841	0,424	9,355	7,968	0,957
<b>Apr-2021</b>	34,828	1002,087	0,412	9,088	7,678	0,915
<b>Nov-2021</b>	35,046	1007,353	0,412	9,063	7,584	0,926
<b>Apr-2022</b>	35,034	1004,964	0,408	8,964	7,440	0,918
<b>Nov-2022</b>	35,773	1021,010	0,413	9,069	7,467	0,964
<b>Apr-2023</b>	35,894	1018,664	0,413	9,059	7,413	0,961
<b>Nov-2023</b>	36,361	1034,760	0,416	9,103	7,433	0,970
<b>Apr-2024</b>	36,258	1029,112	0,415	9,091	7,411	0,935
<b>Nov-2024</b>	37,571	1071,829	0,430	9,389	7,680	0,987
<b>Apr-2025</b>	37,837	1074,821	0,433	9,470	7,728	0,978
<b>Nov-2025</b>	38,739	1104,291	0,443	9,685	7,918	1,009
<b>Apr-2026</b>	39,495	1123,017	0,451	9,877	8,066	1,030
<b>Nov-2026</b>	40,179	1141,847	0,460	10,063	8,211	1,055
<b>Apr-2027</b>	40,434	1148,403	0,463	10,131	8,263	1,041
<b>Nov-2027</b>	41,752	1187,072	0,478	10,451	8,531	1,104
<b>Apr-2028</b>	42,573	1208,010	0,487	10,664	8,696	1,127
<b>Nov-2028</b>	43,020	1221,786	0,492	10,769	8,787	1,128
<b>Apr-2029</b>	44,296	1258,536	0,506	11,071	9,040	1,181
<b>Nov-2029</b>	44,454	1266,464	0,508	11,105	9,080	1,156
<b>Apr-2030</b>	44,781	1272,535	0,512	11,201	9,144	1,156
<b>Nov-2030</b>	45,259	1287,165	0,518	11,323	9,246	1,159

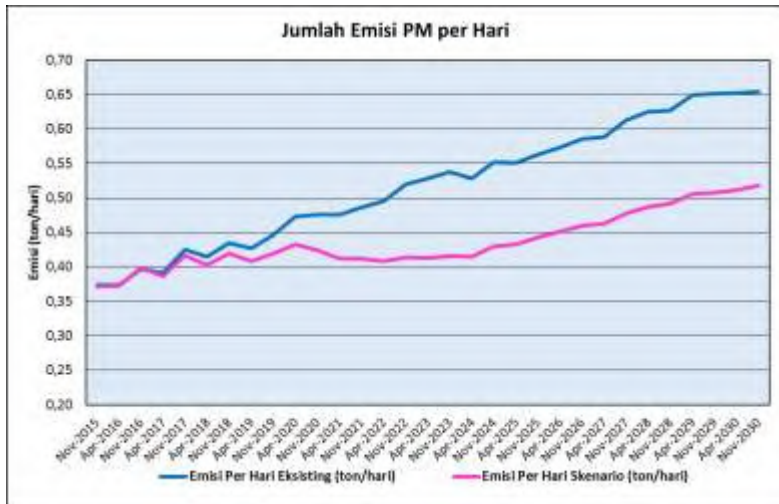


**Gambar 4.28** Jumlah emisi CO per hari sesudah penerapan MARPOL Annex VI

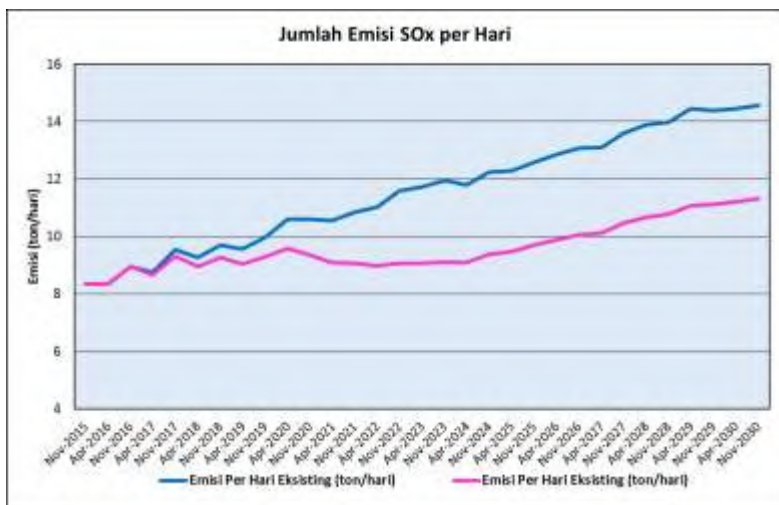


**Gambar 4.29** Jumlah emisi CO<sub>2</sub> per hari sesudah penerapan MARPOL Annex VI

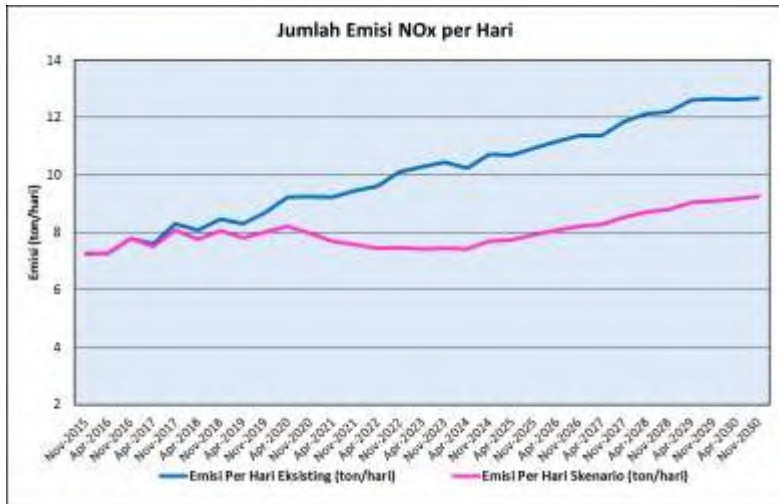




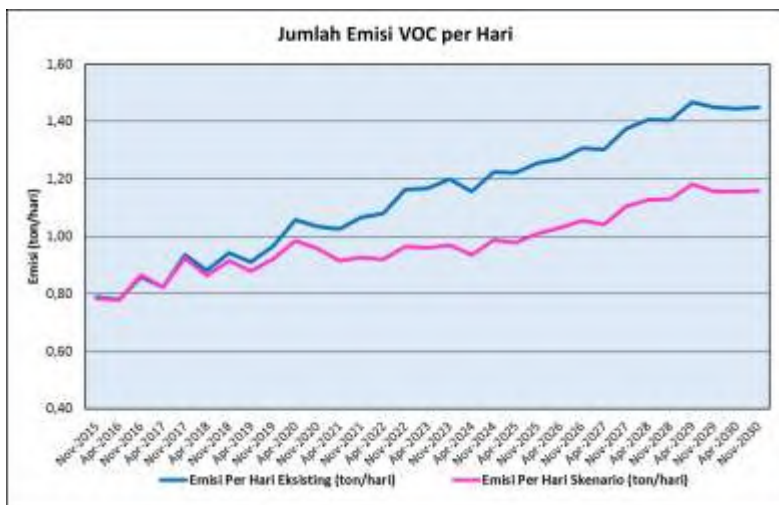
**Gambar 4.30** Jumlah emisi PM per hari sesudah penerapan MARPOL Annex VI



**Gambar 4.31** Jumlah emisi SOx per hari sesudah penerapan MARPOL Annex VI



**Gambar 4.32** Jumlah emisi NOx per hari sesudah penerapan MARPOL Annex VI



**Gambar 4.33** Jumlah emisi VOC per hari sesudah penerapan MARPOL Annex VI

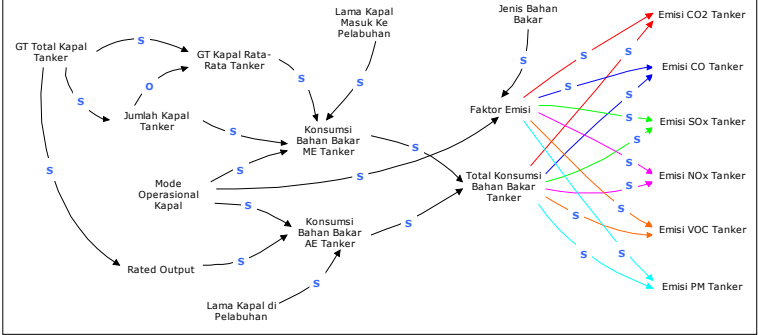
**Gambar 4.28, Gambar 4.29, Gambar 4.30, Gambar 4.31, Gambar 4.32, dan Gambar 4.33** menunjukkan tampilan grafik dari hasil simulasi setelah dilakukan skenario kebijakan untuk masing-masing jenis emisi CO, CO<sub>2</sub>, PM, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, dan VOC. Garis warna merah menunjukkan jumlah emisi yang dihasilkan pada saat kondisi existing sedangkan garis warna kuning menunjukkan emisi yang dihasilkan setelah penerapan kebijakan MARPOL Annex VI.

Berdasarkan hasil simulasi, penerapan kebijakan MARPOL Annex VI dapat mengurangi jumlah emisi yang dihasilkan di area Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya sekitar 16% - 29%. Jumlah emisi CO dapat dikurangi sampai dengan 16%, CO<sub>2</sub> dapat dikurangi sampai 18%, PM dapat dikurangi sampai 22%, emisi SO<sub>x</sub> dapat dikurangi 24%, emisi NO<sub>x</sub> dapat dikurangi sampai dengan 29% sedangkan jumlah emisi VOC dapat dikurangi sampai dengan 20%.

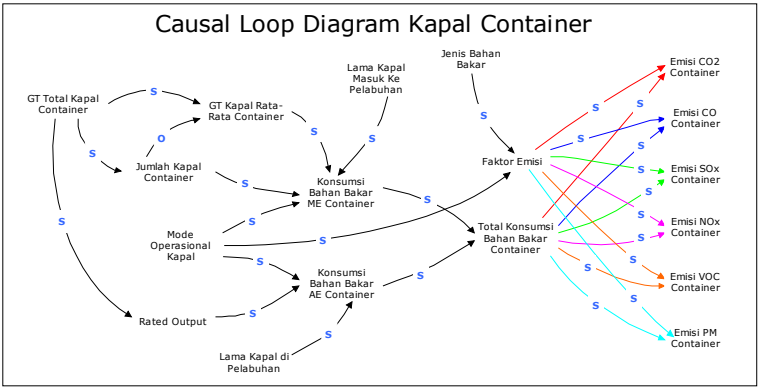
*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

***LAMPIRAN A***  
***CAUSAL LOOP DIAGRAM***

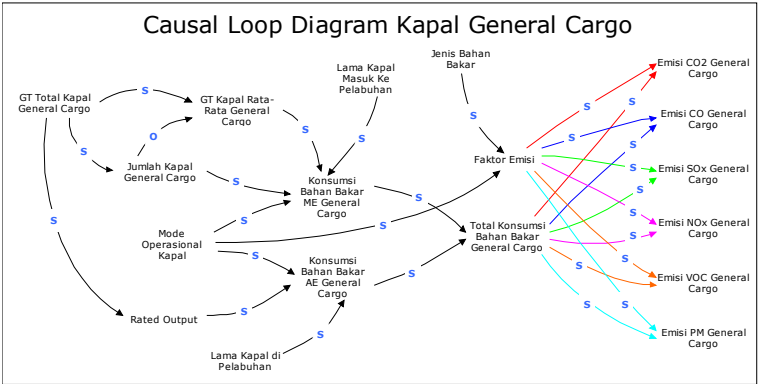
### Causal Loop Diagram Kapal Tanker

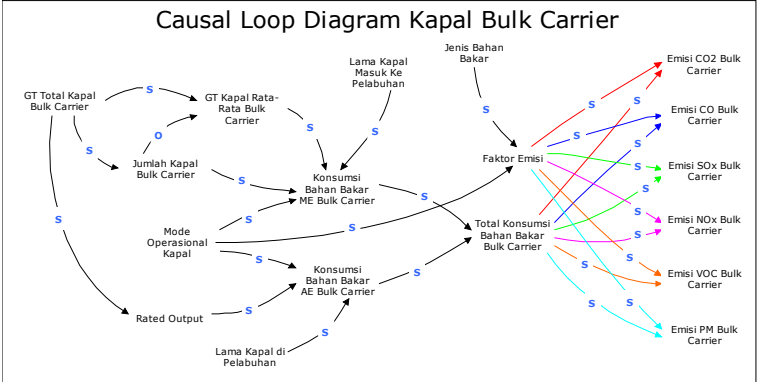
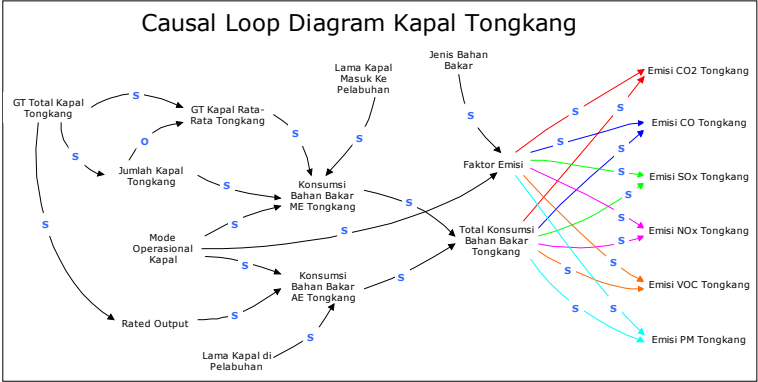
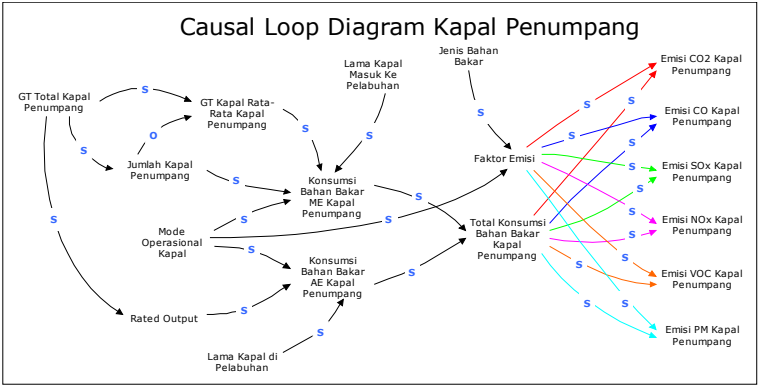


### Causal Loop Diagram Kapal Container

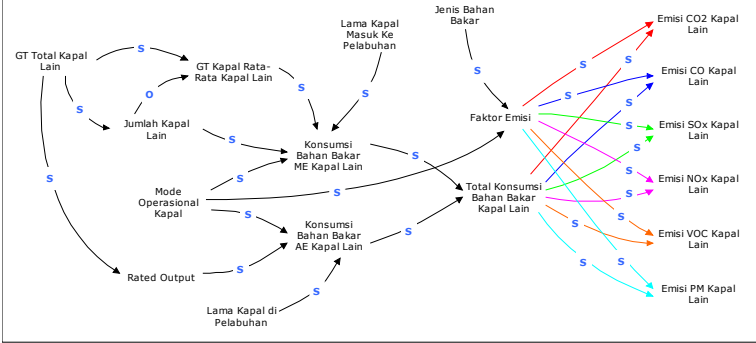


### Causal Loop Diagram Kapal General Cargo

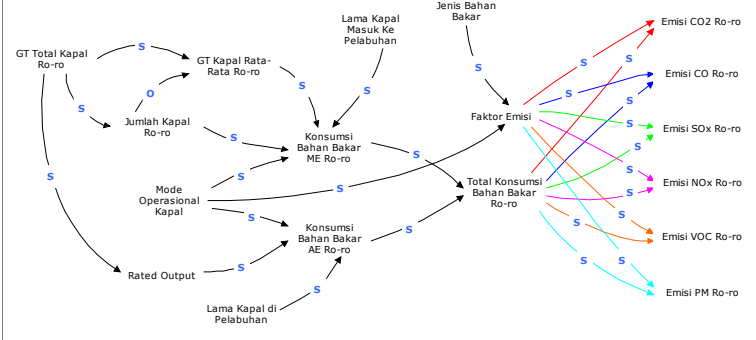




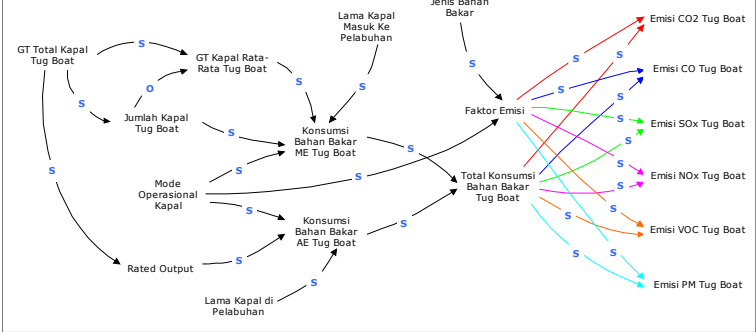
### Causal Loop Diagram Kapal Lain



### Causal Loop Diagram Kapal Ro-ro

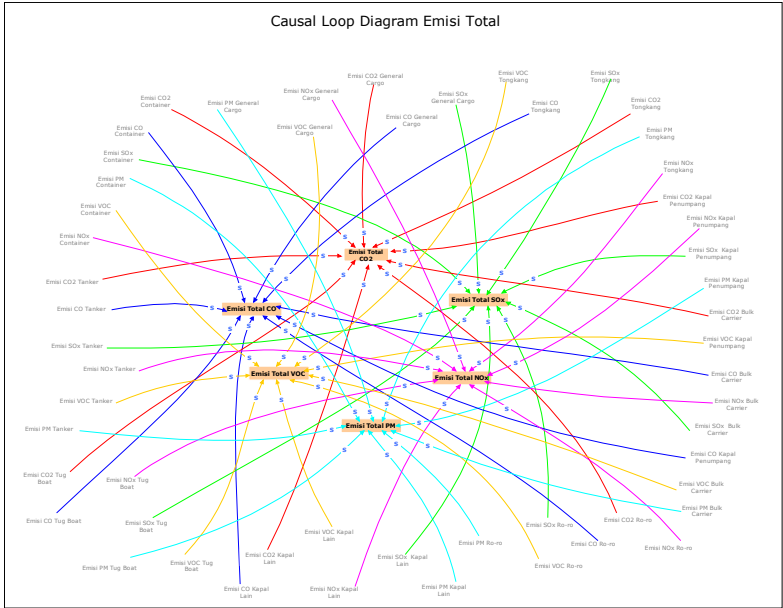


### Causal Loop Diagram Kapal Tug Boat

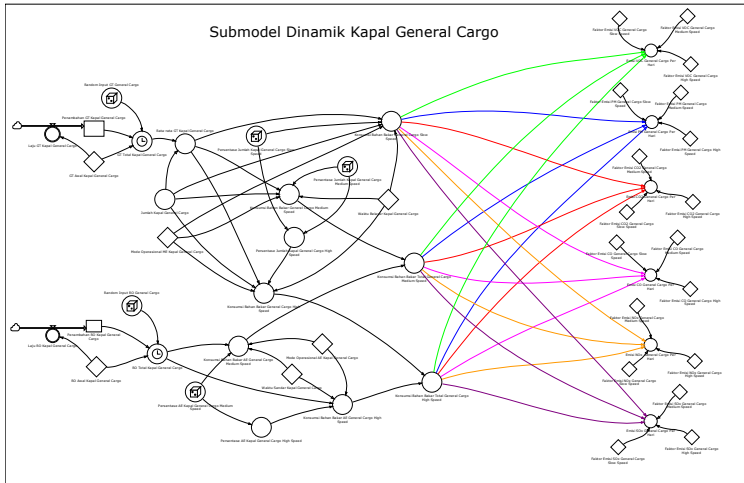
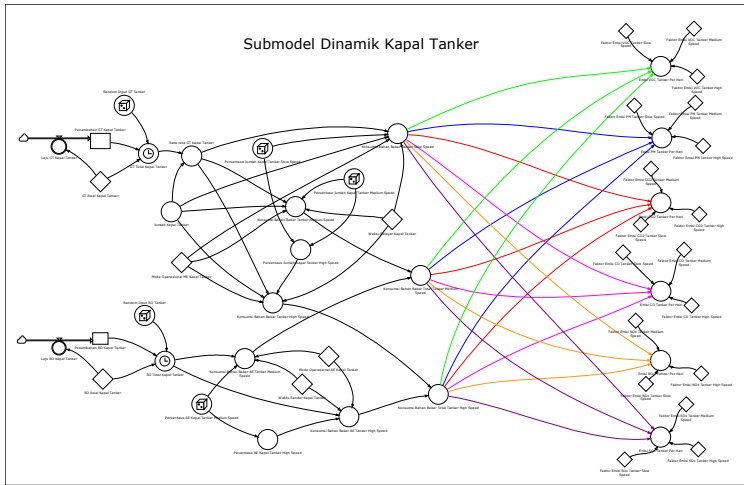


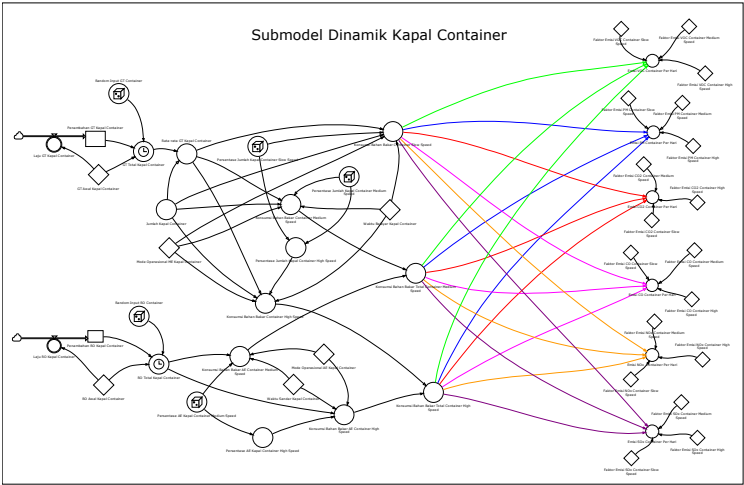
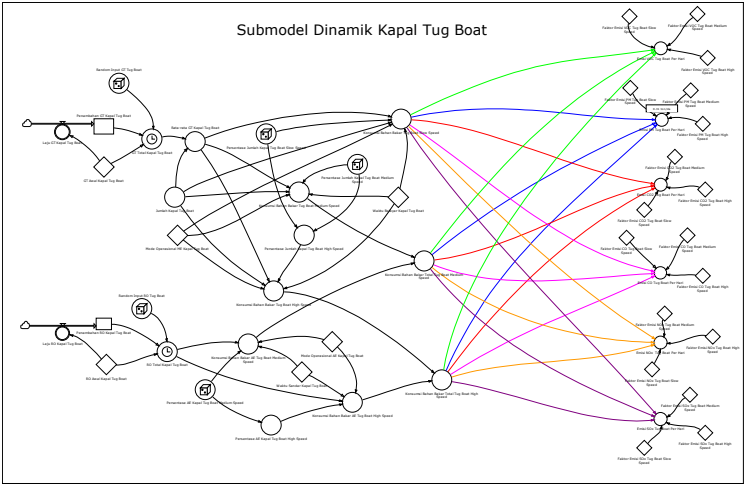


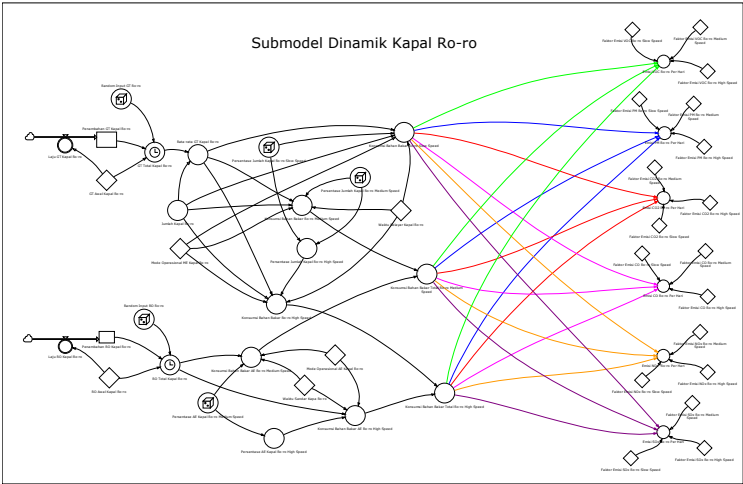
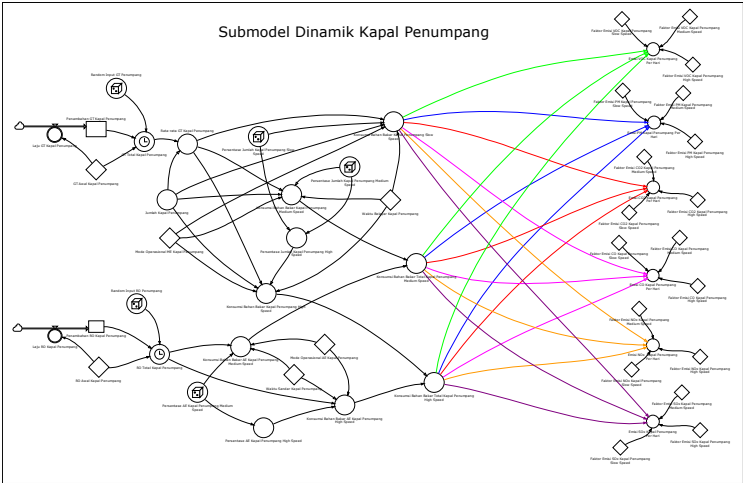
### Causal Loop Diagram Emisi Total

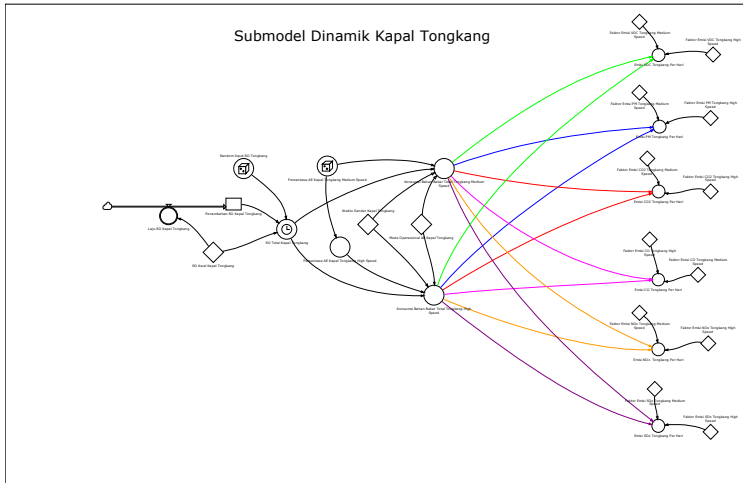
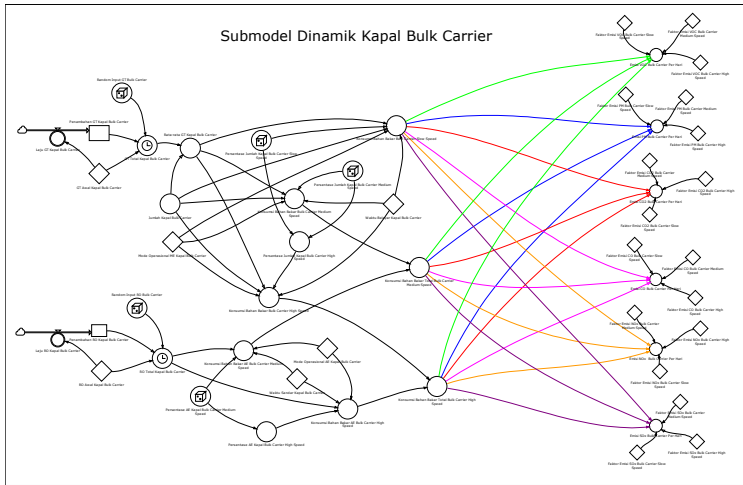


**LAMPIRAN B**  
**MODEL DINAMIKA SISTEM**

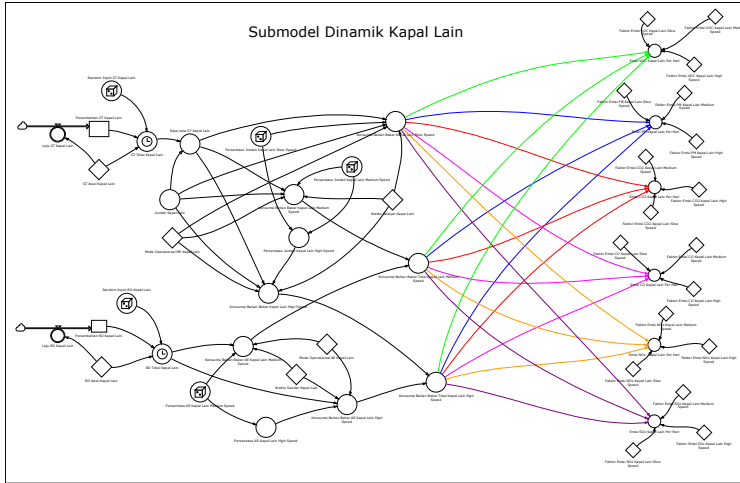




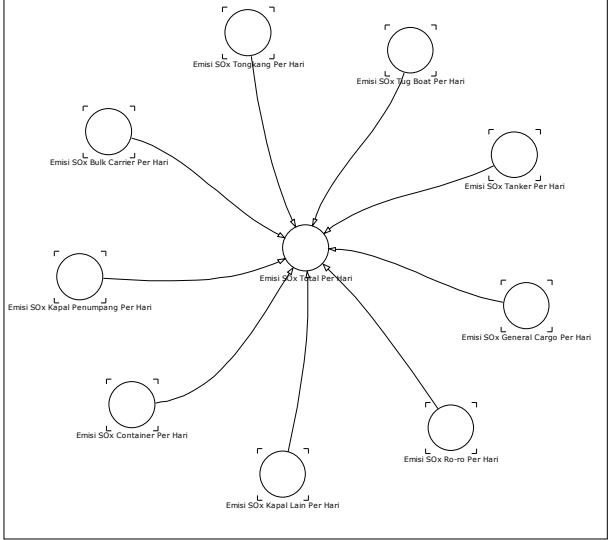




### Submodel Dinamik Kapal Lain



### Submodel Dinamik Emisi SOx Per Hari

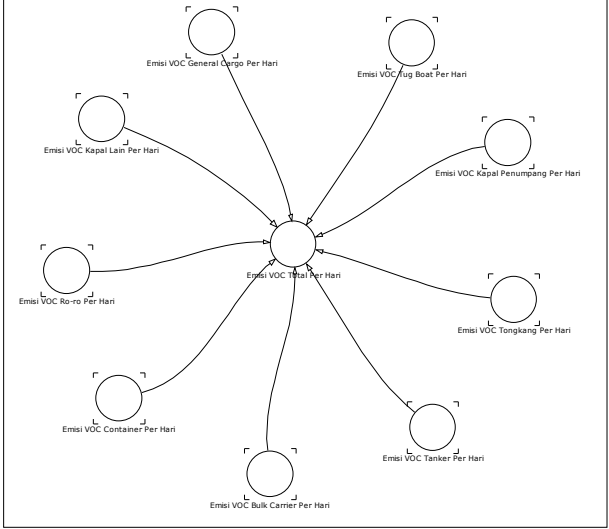


### Submodel Dinamik Emisi CO2 Per Hari

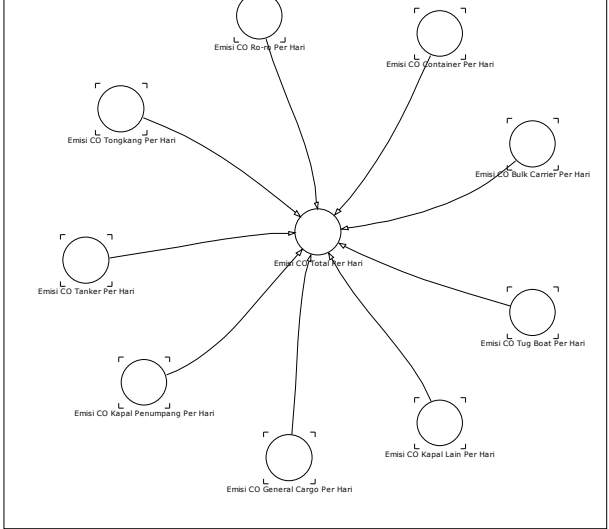


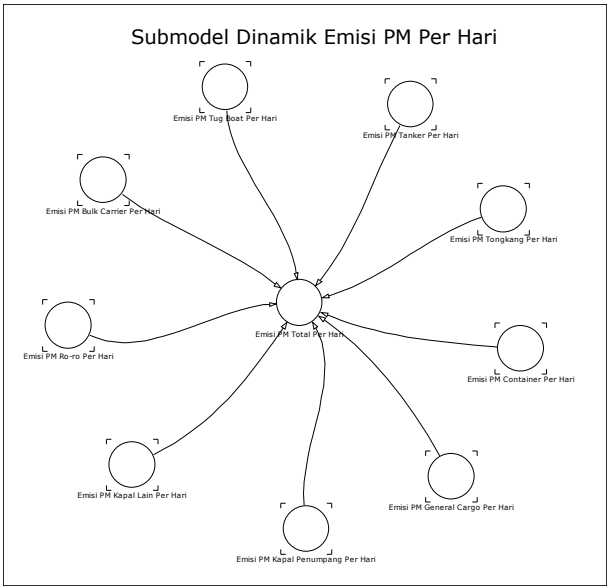
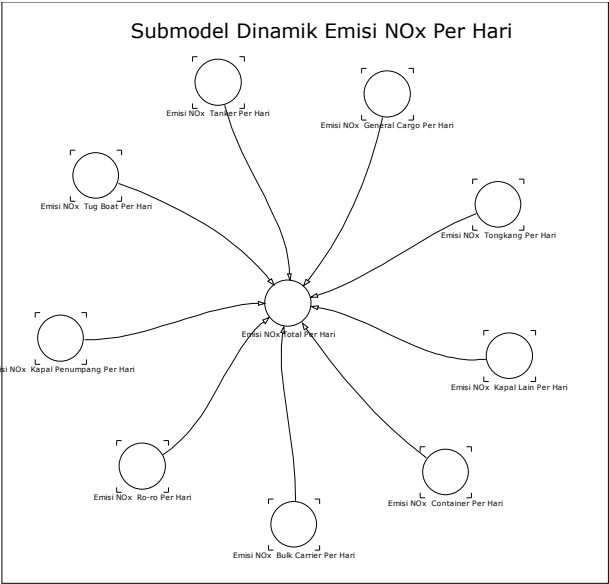


### Submodel Dinamik Emisi VOC Per Hari



### Submodel Dinamik Emisi CO Per Hari





**LAMPIRAN C**  
**FORMULASI MODEL DINAMIKA**  
**SISTEM**

Variabel	Formulasi	Hasil
Laju GT Kapal Tanker GT Awal Kapal Tanker	$\text{MAX}(0 << 1/\text{yr} >>, \{ \text{laju pertumbuhan} << 1/\text{yr} >> * \text{GT Awal Kapal Tanker} \})$	Penambahan GT Kapal Tanker
Random Input GT Tanker GT Awal Kapal Tanker Penambahan GT Kapal Tanker	'GT Awal Kapal Tanker' + STEP(Random Input GT Tanker+'Penambahan GT Kapal Tanker', STARTTIME + 1 << da >>)	GT Total Kapal Tanker
GT Total Kapal Tanker Jumlah Kapal Tanker	'GT Total Kapal Tanker'/'Jumlah Kapal Tanker'	Rata-rata GT Kapal Tanker
Rata-rata GT Kapal Tanker Jumlah Kapal Tanker Mode Operasional Kapal Tanker Persentase Jumlah Kapal Tanker Slow Speed Waktu Belayar Kapal Tanker	$(14.685 + 0.00079 * \text{Rata-rata GT Kapal Tanker}) * \text{Persentase jumlah kapal tanker Slow Speed} * \text{Mode Operasional Kapal Tanker} * \text{Jumlah Kapal Tanker} * \text{Waktu Belayar} * 1/24 << \text{ton/da} >>$	Konsumsi Bahan Bakar Slow Speed
Rata-rata GT Kapal Tanker Jumlah Kapal Tanker Mode Operasional Kapal Tanker Persentase Jumlah Kapal Tanker Medium Speed Waktu Belayar Kapal Tanker	$(14.685 + 0.00079 * \text{Rata-rata GT Kapal Tanker}) * \text{Persentase Jumlah Kapal Tanker Medium Speed} * \text{Waktu Belayar Kapal Tanker} * \text{Mode Operasional ME Kapal Tanker} * \text{Jumlah Kapal Tanker} * 1/24 << \text{ton/da} >>$	Konsumsi Bahan Bakar Tanker Medium Speed
Rata-rata GT Kapal Tanker Jumlah Kapal Tanker Mode Operasional Kapal Tanker Persentase Jumlah Kapal Tanker High Speed Waktu Belayar Kapal Tanker	$(14.685 + 0.00079 * \text{Rata-rata GT Kapal Tanker}) * \text{Persentase Jumlah Kapal Tanker High Speed} * \text{Waktu Belayar Kapal Tanker} * \text{Mode Operasional ME Kapal Tanker} * \text{Jumlah Kapal Tanker} * 1/24 << \text{ton/da} >>$	Konsumsi Bahan Bakar Tanker High Speed
Persentase Jumlah Kapal Tanker Slow Speed Persentase Jumlah Kapal Tanker Medium Speed	$1 - (\text{Persentase Jumlah Kapal Tanker Slow Speed} + \text{Persentase Jumlah Kapal Tanker Medium Speed})$	Persentase Jumlah Kapal Tanker High Speed
Laju RO Kapal Tanker RO Awal Kapal Tanker	$\text{MAX}(0 << 1/\text{yr} >>, \{ \text{laju pertumbuhan} << 1/\text{yr} >> * \text{RO Awal Kapal Tanker} \})$	Penambahan RO Kapal Tanker
Penambahan RO Kapal Tanker RO Awal Kapal Tanker Random Input RO Tanker	'RO Awal Kapal Tanker' + STEP(Random Input RO Tanker+'Penambahan RO Kapal Tanker', STARTTIME + 1 << da >>)	RO Total Kapal Tanker
RO Total Kapal Tanker Mode Operasional AE Kapal Tanker Persentase AE Kapal Tanker Medium Speed Waktu Sandar Kapal Tanker	$0.2 * \text{Mode Operasional AE Kapal Tanker} * \text{RO Total Kapal Tanker} * \text{Persentase AE Kapal Tanker Medium Speed} * \text{Waktu Sandar Kapal Tanker} * 0.001 << \text{ton/da} >>$	Konsumsi Bahan Bakar AE Tanker Medium Speed
RO Total Kapal Tanker Mode Operasional AE Kapal Tanker Persentase AE Kapal Tanker High Speed Waktu Sandar Kapal Tanker	$0.2 * \text{Mode Operasional AE Kapal Tanker} * \text{RO Total Kapal Tanker} * \text{Persentase AE Kapal Tanker High Speed} * \text{Waktu Sandar Kapal Tanker} * 0.001 << \text{ton/da} >>$	Konsumsi Bahan Bakar AE Tanker High Speed
Persentase AE Kapal Tanker Medium Speed	$1 - \text{Persentase AE Kapal Tanker Medium Speed}$	Persentase AE Kapal Tanker High Speed
Konsumsi Bahan Bakar Tanker Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar AE Tanker Medium Speed	'Konsumsi Bahan Bakar AE Tanker Medium Speed'+'Konsumsi Bahan Bakar Tanker Medium Speed'	Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker Medium Speed
Konsumsi Bahan Bakar Tanker High Speed Konsumsi Bahan Bakar AE Tanker High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar AE Tanker High Speed'+'Konsumsi Bahan Bakar Tanker High Speed'	Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker High Speed
Konsumsi Bahan Bakar Tanker Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar Tanker Slow Speed'*Faktor Emisi VOC Tanker Slow Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker Medium Speed'*Faktor Emisi VOC Tanker Medium Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker High Speed'*Faktor Emisi VOC Tanker High Speed'	Emisi VOC Tanker Per Hari

Variabel	Formulasi	Hasil
Faktor Emisi VOC Tanker Slow Speed Faktor Emisi VOC Tanker Medium Speed Faktor Emisi VOC Tanker High Speed		
Konsumsi Bahan Bakar Tanker Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker High Speed Faktor Emisi PM Tanker Slow Speed Faktor Emisi PM Tanker Medium Speed Faktor Emisi PM Tanker High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar Tanker Slow Speed'*Faktor Emisi PM Tanker Slow Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker Medium Speed'*Faktor Emisi PM Tanker Medium Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker High Speed'*Faktor Emisi PM Tanker High Speed'	Emisi PM Tanker Per Hari
Konsumsi Bahan Bakar Tanker Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker High Speed Faktor Emisi CO2 Tanker Slow Speed Faktor Emisi CO2 Tanker Medium Speed Faktor Emisi CO2 Tanker High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar Tanker Slow Speed'*Faktor Emisi CO2 Tanker Slow Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker Medium Speed'*Faktor Emisi CO2 Tanker Medium Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker High Speed'*Faktor Emisi CO2 Tanker High Speed'	Emisi CO2 Tanker Per Hari
Konsumsi Bahan Bakar Tanker Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker High Speed Faktor Emisi CO Tanker Slow Speed Faktor Emisi CO Tanker Medium Speed Faktor Emisi CO Tanker High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar Tanker Slow Speed'*Faktor Emisi CO Tanker Slow Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker Medium Speed'*Faktor Emisi CO Tanker Medium Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker High Speed'*Faktor Emisi CO Tanker High Speed'	Emisi CO Tanker Per Hari
Konsumsi Bahan Bakar Tanker Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker High Speed Faktor Emisi NOx Tanker Slow Speed Faktor Emisi NOx Tanker Medium Speed Faktor Emisi NOx Tanker High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar Tanker Slow Speed'*Faktor Emisi NOx Tanker Slow Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker Medium Speed'*Faktor Emisi NOx Tanker Medium Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker High Speed'*Faktor Emisi NOx Tanker High Speed'	Emisi NOx Tanker Per Hari
Konsumsi Bahan Bakar Tanker Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker High Speed Faktor Emisi SOx Tanker Slow Speed Faktor Emisi SOx Tanker Medium Speed Faktor Emisi SOx Tanker High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar Tanker Slow Speed'*Faktor Emisi SOx Tanker Slow Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker Medium Speed'*Faktor Emisi SOx Tanker Medium Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Tanker High Speed'*Faktor Emisi SOx Tanker High Speed'	Emisi SOx Tanker Per Hari
Laju Daya Kapal Tanker Penambahan Daya Kapal Tanker Daya Awal Kapal Tanker	(RANDOM(min,max,seed)+Daya Awal Kapal Tanker'+Penambahan Daya Kapal Tanker')	Daya Main Engine Kapal Tanker
Daya Main Engine Kapal Tanker Waktu Berlayar Kapal Tanker	('Daya Main Engine Kapal Tanker'*Waktu Belayar Kapal Tanker')	Daya Total Kapal Tanker
Daya Total Kapal Tanker Presentase Jumlah Kapal Tanker Slow Speed	'Daya Total Kapal Tanker'*Presentase Jumlah Kapal Tanker Slow Speed'	Daya ME Kapal Tanker Slow Speed
Daya Total Kapal Tanker Presentase Jumlah Kapal Tanker Medium Speed	'Daya Total Kapal Tanker'*Presentase Jumlah Kapal Tanker Medium Speed'	Daya ME Kapal Tanker Medium Speed

Variabel	Formulasi	Hasil
Daya Total Kapal Tanker Presentase Jumlah Kapal Tanker High Speed	'Daya Total Kapal Tanker'*Presentase Jumlah Kapal Tanker High Speed'	Daya ME Kapal Tanker High Speed
Daya ME Kapal Tanker Slow Speed Daya ME Kapal Tanker Medium Speed Daya ME Kapal Tanker High Speed Tier I Tier II	((({faktor VOC}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tanker Slow Speed'+ {faktor VOC}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tanker Medium Speed'+ {faktor VOC}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tanker High Speed')*Tier I)+ (({faktor VOC}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tanker Slow Speed'+{faktor VOC}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tanker Medium Speed'+ {faktor VOC}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tanker High Speed')*Tier II)	Emisi VOC Tanker MARPOL
Daya ME Kapal Tanker Slow Speed Daya ME Kapal Tanker Medium Speed Daya ME Kapal Tanker High Speed Tier I Tier II	((({faktor NOx}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tanker Slow Speed'+{faktor NOx}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tanker Medium Speed'+ {faktor NOx}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tanker High Speed')*Tier I)+(( {faktor NOx}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tanker Slow Speed'+{faktor NOx}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tanker Medium Speed'+{faktor NOx}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tanker High Speed')*Tier II)	Emisi NOx Tanker MARPOL
Daya ME Kapal Tanker Slow Speed Daya ME Kapal Tanker Medium Speed Daya ME Kapal Tanker High Speed Tier I Tier II	((({faktor PM}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tanker Slow Speed'+ {faktor PM}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tanker Medium Speed'+ {faktor PM}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tanker High Speed')*Tier I)+(( {faktor PM}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tanker Slow Speed'+{faktor PM}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tanker Medium Speed'+{faktor PM}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tanker High Speed')*Tier II)	Emisi PM Tanker MARPOL
Daya ME Kapal Tanker Slow Speed Daya ME Kapal Tanker Medium Speed Daya ME Kapal Tanker High Speed Tier I Tier II	((({faktor SOx}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tanker Slow Speed'+ {faktor SOx}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tanker Medium Speed'+ {faktor SOx}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tanker High Speed')*Tier I)+ (({faktor SOx}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tanker Slow Speed'+{faktor SOx}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tanker Medium Speed'+ {faktor SOx}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tanker High Speed')*Tier II)	Emisi SOx Tanker MARPOL
Daya ME Kapal Tanker Slow Speed Daya ME Kapal Tanker Medium Speed Daya ME Kapal Tanker High Speed Tier I Tier II	((({faktor CO2}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tanker Slow Speed'+{faktor CO2}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tanker Medium Speed'+ {faktor CO2}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tanker High Speed')*Tier I)+(( {faktor CO2}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tanker Slow Speed'+{faktor CO2}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tanker Medium Speed'+ {faktor CO2}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tanker High Speed')*Tier II)	Emisi CO2 Tanker MARPOL
Daya ME Kapal Tanker Slow Speed Daya ME Kapal Tanker Medium Speed Daya ME Kapal Tanker High Speed Tier I Tier II	((({faktor CO}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tanker Slow Speed'+{faktor CO}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tanker Medium Speed'+ {faktor CO}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tanker High Speed')*Tier I)+ (({faktor CO}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tanker Slow Speed'+{faktor CO}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tanker Medium Speed'+ {faktor CO}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tanker High Speed')*Tier II)	Emisi CO Tanker MARPOL
Emisi VOC Tanker MARPOL Realisasi MARPOL Annex VI	'Emisi VOC Tanker MARPOL'*Realisasi MARPOL Annex VI'	Realisasi Emisi VOC Tanker MARPOL
Emisi NOx Tanker MARPOL Realisasi MARPOL Annex VI	'Emisi NOx Tanker MARPOL'*Realisasi MARPOL Annex VI'	Realisasi Emisi NOx Tanker MARPOL
Emisi PM Tanker MARPOL Realisasi MARPOL Annex VI	'Emisi PM Tanker MARPOL'*Realisasi MARPOL Annex VI'	Realisasi Emisi PM Tanker MARPOL

Variabel	Formulasi	Hasil
Emisi SOx Tanker MARPOL Realisasi MARPOL Annex VI	'Emisi SOx Tanker MARPOL'*Realisasi MARPOL Annex VI'	Realisasi Emisi SOx Tanker MARPOL
Emisi CO2 Tanker MARPOL Realisasi MARPOL Annex VI	'Emisi CO2 Tanker MARPOL'*Realisasi MARPOL Annex VI'	Realisasi Emisi CO2 Tanker MARPOL
Emisi CO Tanker MARPOL Realisasi MARPOL Annex VI	'Emisi CO Tanker MARPOL'*Realisasi MARPOL Annex VI'	Realisasi Emisi CO Tanker MARPOL
Emisi VOC ME Tanker Per Hari Graph Pengurangan Emisi	'Graph Pengurangan Emisi'*Emisi VOC ME Tanker Per Hari'	Pengurangan Emisi VOC Tanker
Emisi NOx ME Tanker Per Hari Graph Pengurangan Emisi	'Graph Pengurangan Emisi'*Emisi NOx ME Tanker Per Hari'	Pengurangan Emisi NOx Tanker
Emisi PM ME Tanker Per Hari Graph Pengurangan Emisi	'Graph Pengurangan Emisi'*Emisi PM ME Tanker Per Hari'	Pengurangan Emisi PM Tanker
Emisi SOx ME Tanker Per Hari Graph Pengurangan Emisi	'Graph Pengurangan Emisi'*Emisi SOx ME Tanker Per Hari'	Pengurangan Emisi SOx Tanker
Emisi CO2 ME Tanker Per Hari Graph Pengurangan Emisi	'Graph Pengurangan Emisi'*Emisi CO2 ME Tanker Per Hari'	Pengurangan Emisi CO2 Tanker
Emisi CO ME Tanker Per Hari Graph Pengurangan Emisi	'Graph Pengurangan Emisi'*Emisi CO ME Tanker Per Hari'	Pengurangan Emisi CO Tanker
Realisasi Emisi VOC Tanker MARPOL Pengurangan Emisi VOC Tanker	('Pengurangan Emisi VOC Tanker'+Realisasi Emisi VOC Tanker MARPOL')	Emisi VOC Kapal Tanker
Realisasi Emisi NOx Tanker MARPOL Pengurangan Emisi NOx Tanker	('Pengurangan Emisi NOx Tanker'+Realisasi Emisi NOx Tanker MARPOL')	Emisi NOx Kapal Tanker
Realisasi Emisi PM Tanker MARPOL Pengurangan Emisi PM Tanker	('Pengurangan Emisi PM Tanker'+Realisasi Emisi PM Tanker MARPOL')	Emisi PM Kapal Tanker
Realisasi Emisi SOx Tanker MARPOL Pengurangan Emisi SOx Tanker	('Pengurangan Emisi SOx Tanker'+Realisasi Emisi SOx Tanker MARPOL')	Emisi SOx Kapal Tanker
Realisasi Emisi CO2 Tanker MARPOL Pengurangan Emisi CO2 Tanker	('Pengurangan Emisi CO2 Tanker'+Realisasi Emisi CO2 Tanker MARPOL')	Emisi CO2 Kapal Tanker
Realisasi Emisi CO Tanker MARPOL Pengurangan Emisi CO Tanker	('Pengurangan Emisi CO Tanker'+Realisasi Emisi CO Tanker MARPOL')	Emisi CO Kapal Tanker
Laju GT Kapal Bulk Carrier GT Awal Kapal Bulk Carrier	MAX(0<<1/yr>>,(laju pertumbuhan<<1/yr>>*'GT Awal Kapal Bulk Carrier'))	Penambahan GT Kapal Bulk Carrier
Random Input GT Bulk Carrier GT Awal Kapal Bulk Carrier Penambahan GT Kapal Bulk Carrier	'GT Awal Kapal Bulk Carrier' + STEP('Random Input GT Bulk Carrier'+Penambahan GT Kapal Bulk Carrier', STARTTIME + 1<<da>>)	GT Total Kapal Bulk Carrier
GT Total Kapal Bulk Carrier Jumlah Kapal Bulk Carrier	'GT Total Kapal Bulk Carrier'/Jumlah Kapal Bulk Carrier'	Rata-rata GT Kapal Bulk Carrier
Rata-rata GT Kapal Bulk Carrier Jumlah Kapal Bulk Carrier Mode Operasional Kapal Bulk Carrier Persentase Jumlah Kapal Bulk Carrier Slow Speed Waktu Belayar Kapal Bulk Carrier	(20.1860+0.00049*'Rata-rata GT Kapal Bulk Carrier')*'Persentase jumlah kapal Bulk Carrier Slow Speed'*Mode Operasional Kapal Bulk Carrier*'Jumlah Kapal Bulk Carrier'*Waktu Belayar*1/24<<ton/da>>	Konsumsi Bahan Bakar Slow Speed
Rata-rata GT Kapal Bulk Carrier Jumlah Kapal Bulk Carrier Mode Operasional Kapal Bulk Carrier Persentase Jumlah Kapal Bulk Carrier Medium Speed Waktu Belayar Kapal Bulk Carrier	(20.1860+0.00049*'Rata-rata GT Kapal Bulk Carrier')*'Persentase Jumlah Kapal Bulk Carrier Medium Speed'*Waktu Belayar Kapal Bulk Carrier*'Mode Operasional ME Kapal Bulk Carrier'*Jumlah Kapal Bulk Carrier*1/24<<ton/da>>	Konsumsi Bahan Bakar Bulk Carrier Medium Speed
Rata-rata GT Kapal Bulk Carrier Jumlah Kapal Bulk Carrier Mode Operasional Kapal Bulk Carrier	(20.1860+0.00049*'Rata-rata GT Kapal Bulk Carrier')*'Persentase Jumlah Kapal Bulk Carrier High Speed'*Waktu Belayar Kapal Bulk Carrier*'Mode	Konsumsi Bahan Bakar Bulk Carrier High Speed

Variabel	Formulasi	Hasil
Persentase Jumlah Kapal Bulk Carrier High Speed Waktu Belayar Kapal Bulk Carrier	Operasional ME Kapal Bulk Carrier*Jumlah Kapal Bulk Carrier*1/24<<ton/da>>	
Persentase Jumlah Kapal Bulk Carrier Slow Speed Persentase Jumlah Kapal Bulk Carrier Medium Speed	1- (Persentase Jumlah Kapal Bulk Carrier Slow Speed'+ Persentase Jumlah Kapal Bulk Carrier Medium Speed')	Persentase Jumlah Kapal Bulk Carrier High Speed
Laju RO Kapal Bulk Carrier RO Awal Kapal Bulk Carrier	MAX(0<<1/yr>>,{ laju pertumbuhan <<1/yr>>*RO Awal Kapal Bulk Carrier'})	Penambahan RO Kapal Bulk Carrier
Penambahan RO Kapal Bulk Carrier RO Awal Kapal Bulk Carrier Randum Input RO Bulk Carrier	'RO Awal Kapal Bulk Carrier' + STEP('Random Input RO Bulk Carrier'+ 'Penambahan RO Kapal Bulk Carrier', STARTTIME + 1<<da>>))	RO Total Kapal Bulk Carrier
RO Total Kapal Bulk Carrier Mode Operasional AE Kapal Bulk Carrier Persentase AE Kapal Bulk Carrier Medium Speed Waktu Sandar Kapal Bulk Carrier	0.2*Mode Operasional AE Kapal Bulk Carrier*RO Total Kapal Bulk Carrier*Persentase AE Kapal Bulk Carrier Medium Speed*Waktu Sandar Kapal Bulk Carrier*0.001<<ton/da>>	Konsumsi Bahan Bakar AE Bulk Carrier Medium Speed
RO Total Kapal Bulk Carrier Mode Operasional AE Kapal Bulk Carrier Persentase AE Kapal Bulk Carrier High Speed Waktu Sandar Kapal Bulk Carrier	0.2*Mode Operasional AE Kapal Bulk Carrier*RO Total Kapal Bulk Carrier*Persentase AE Kapal Bulk Carrier High Speed*Waktu Sandar Kapal Bulk Carrier*0.001<<ton/da>>	Konsumsi Bahan Bakar AE Bulk Carrier High Speed
Persentase AE Kapal Bulk Carrier Medium Speed	1-'Persentase AE Kapal Bulk Carrier Medium Speed'	Persentase AE Kapal Bulk Carrier High Speed
Konsumsi Bahan Bakar Bulk Carrier Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar AE Bulk Carrier Medium Speed	'Konsumsi Bahan Bakar AE Bulk Carrier Medium Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Bulk Carrier Medium Speed'	Konsumsi Bahan Bakar Total Bulk Carrier Medium Speed
Konsumsi Bahan Bakar Bulk Carrier High Speed Konsumsi Bahan Bakar AE Bulk Carrier High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar AE Bulk Carrier High Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Bulk Carrier High Speed'	Konsumsi Bahan Bakar Total Bulk Carrier High Speed
Konsumsi Bahan Bakar Bulk Carrier Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Bulk Carrier Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Bulk Carrier High Speed Faktor Emisi VOC Bulk Carrier Slow Speed Faktor Emisi VOC Bulk Carrier Medium Speed Faktor Emisi VOC Bulk Carrier High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar Bulk Carrier Slow Speed'*Faktor Emisi VOC Bulk Carrier Slow Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Bulk Carrier Medium Speed'*Faktor Emisi VOC Bulk Carrier Medium Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Bulk Carrier High Speed'*Faktor Emisi VOC Bulk Carrier High Speed'	Emisi VOC Bulk Carrier Per Hari
Konsumsi Bahan Bakar Bulk Carrier Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Bulk Carrier Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Bulk Carrier High Speed Faktor Emisi PM Bulk Carrier Slow Speed Faktor Emisi PM Bulk Carrier Medium Speed Faktor Emisi PM Bulk Carrier High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar Bulk Carrier Slow Speed'*Faktor Emisi PM Bulk Carrier Slow Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Bulk Carrier Medium Speed'*Faktor Emisi PM Bulk Carrier Medium Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Bulk Carrier High Speed'*Faktor Emisi PM Bulk Carrier High Speed'	Emisi PM Bulk Carrier Per Hari
Konsumsi Bahan Bakar Bulk Carrier Slow Speed	'Konsumsi Bahan Bakar Bulk Carrier Slow Speed'*Faktor Emisi CO2 Bulk Carrier Slow Speed'+	Emisi CO2 Bulk Carrier Per Hari



Variabel	Formulasi	Hasil
Konsumsi Bahan Bakar Total Bulk Carrier Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Bulk Carrier High Speed Faktor Emisi CO2 Bulk Carrier Slow Speed Faktor Emisi CO2 Bulk Carrier Medium Speed Faktor Emisi CO2 Bulk Carrier High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar Total Bulk Carrier Medium Speed'*Faktor Emisi CO2 Bulk Carrier Medium Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Bulk Carrier High Speed'*Faktor Emisi CO2 Bulk Carrier High Speed'	
Konsumsi Bahan Bakar Bulk Carrier Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Bulk Carrier Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Bulk Carrier High Speed Faktor Emisi CO Bulk Carrier Slow Speed Faktor Emisi CO Bulk Carrier Medium Speed Faktor Emisi CO Bulk Carrier High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar Bulk Carrier Slow Speed'*Faktor Emisi CO Bulk Carrier Slow Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Bulk Carrier Medium Speed'*Faktor Emisi CO Bulk Carrier Medium Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Bulk Carrier High Speed'*Faktor Emisi CO Bulk Carrier High Speed'	Emisi CO Bulk Carrier Per Hari
Konsumsi Bahan Bakar Bulk Carrier Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Bulk Carrier Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Bulk Carrier High Speed Faktor Emisi NOx Bulk Carrier Slow Speed Faktor Emisi NOx Bulk Carrier Medium Speed Faktor Emisi NOx Bulk Carrier High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar Bulk Carrier Slow Speed'*Faktor Emisi NOx Bulk Carrier Slow Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Bulk Carrier Medium Speed'*Faktor Emisi NOx Bulk Carrier Medium Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Bulk Carrier High Speed'*Faktor Emisi NOx Bulk Carrier High Speed'	Emisi NOx Bulk Carrier Per Hari
Konsumsi Bahan Bakar Bulk Carrier Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Bulk Carrier Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Bulk Carrier High Speed Faktor Emisi SOx Bulk Carrier Slow Speed Faktor Emisi SOx Bulk Carrier Medium Speed Faktor Emisi SOx Bulk Carrier High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar Bulk Carrier Slow Speed'*Faktor Emisi SOx Bulk Carrier Slow Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Bulk Carrier Medium Speed'*Faktor Emisi SOx Bulk Carrier Medium Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Bulk Carrier High Speed'*Faktor Emisi SOx Bulk Carrier High Speed'	Emisi SOx Bulk Carrier Per Hari
Laju Daya Kapal Bulk Carrier Penambahan Daya Kapal Bulk Carrier Daya Awal Kapal Bulk Carrier	(RANDOM(min,max,seed)+ 'Daya Awal Kapal Bulk Carrier'+ 'Penambahan Daya Kapal Bulk Carrier')	Daya Main Engine Kapal Bulk Carrier
Daya Main Engine Kapal Bulk Carrier Waktu Belayar Kapal Bulk Carrier	('Daya Main Engine Kapal Bulk Carrier'* 'Waktu Belayar Kapal Bulk Carrier')	Daya Total Kapal Bulk Carrier
Daya Total Kapal Bulk Carrier Presentase Jumlah Kapal Bulk Carrier Slow Speed	'Daya Total Kapal Bulk Carrier'* 'Presentase Jumlah Kapal Bulk Carrier Slow Speed'	Daya ME Kapal Bulk Carrier Slow Speed
Daya Total Kapal Bulk Carrier Presentase Jumlah Kapal Bulk Carrier Medium Speed	'Daya Total Kapal Bulk Carrier'* 'Presentase Jumlah Kapal Bulk Carrier Medium Speed'	Daya ME Kapal Bulk Carrier Medium Speed
Daya Total Kapal Bulk Carrier Presentase Jumlah Kapal Bulk Carrier High Speed	'Daya Total Kapal Bulk Carrier'* 'Presentase Jumlah Kapal Bulk Carrier High Speed'	Daya ME Kapal Bulk Carrier High Speed
Daya ME Kapal Bulk carrier Slow Speed Daya ME Kapal Bulk carrier Medium Speed	((faktor VOC)<<ton/da>>)* 'Daya ME Kapal Bulk carrier Slow Speed'+ {faktor VOC}<<ton/da>>)* 'Daya ME Kapal Bulk carrier Medium speed'+ {faktor	Emisi VOC Bulk carrier MARPOL



Variabel	Formulasi	Hasil
Realisasi MARPOL Annex VI Emisi CO Bulk Carrier MARPOL Realisasi MARPOL Annex VI	'Emisi CO Bulk Carrier MARPOL'*Realisasi MARPOL Annex VI'	Realisasi Emisi CO Bulk Carrier MARPOL
Emisi VOC ME Bulk Carrier Per Hari Graph Pengurangan Emisi	'Graph Pengurangan Emisi'*Emisi VOC ME Bulk Carrier Per Hari'	Pengurangan Emisi VOC Bulk Carrier
Emisi NOx ME Bulk Carrier Per Hari Graph Pengurangan Emisi	'Graph Pengurangan Emisi'*Emisi NOx ME Bulk Carrier Per Hari'	Pengurangan Emisi NOx Bulk Carrier
Emisi PM ME Bulk Carrier Per Hari Graph Pengurangan Emisi	'Graph Pengurangan Emisi'*Emisi PM ME Bulk Carrier Per Hari'	Pengurangan Emisi PM Bulk Carrier
Emisi SOx ME Bulk Carrier Per Hari Graph Pengurangan Emisi	'Graph Pengurangan Emisi'*Emisi SOx ME Bulk Carrier Per Hari'	Pengurangan Emisi SOx Bulk Carrier
Emisi CO2 ME Bulk Carrier Per Hari Graph Pengurangan Emisi	'Graph Pengurangan Emisi'*Emisi CO2 ME Bulk Carrier Per Hari'	Pengurangan Emisi CO2 Bulk Carrier
Emisi CO ME Bulk Carrier Per Hari Graph Pengurangan Emisi	'Graph Pengurangan Emisi'*Emisi CO ME Bulk Carrier Per Hari'	Pengurangan Emisi CO Bulk Carrier
Realisasi Emisi VOC Bulk Carrier MARPOL Pengurangan Emisi VOC Bulk Carrier	('Pengurangan Emisi VOC Bulk Carrier'+Realisasi Emisi VOC Bulk Carrier MARPOL')	Emisi VOC Kapal Bulk Carrier
Realisasi Emisi NOx Bulk Carrier MARPOL Pengurangan Emisi NOx Bulk Carrier	('Pengurangan Emisi NOx Bulk Carrier'+Realisasi Emisi NOx Bulk Carrier MARPOL')	Emisi NOx Kapal Bulk Carrier
Realisasi Emisi PM Bulk Carrier MARPOL Pengurangan Emisi PM Bulk Carrier	('Pengurangan Emisi PM Bulk Carrier'+Realisasi Emisi PM Bulk Carrier MARPOL')	Emisi PM Kapal Bulk Carrier
Realisasi Emisi SOx Bulk Carrier MARPOL Pengurangan Emisi SOx Bulk Carrier	('Pengurangan Emisi SOx Bulk Carrier'+Realisasi Emisi SOx Bulk Carrier MARPOL')	Emisi SOx Kapal Bulk Carrier
Realisasi Emisi CO2 Bulk Carrier MARPOL Pengurangan Emisi CO2 Bulk Carrier	('Pengurangan Emisi CO2 Bulk Carrier'+Realisasi Emisi CO2 Bulk Carrier MARPOL')	Emisi CO2 Kapal Bulk Carrier
Realisasi Emisi CO Bulk Carrier MARPOL Pengurangan Emisi CO Bulk Carrier	('Pengurangan Emisi CO Bulk Carrier'+Realisasi Emisi CO Bulk Carrier MARPOL')	Emisi CO Kapal Bulk Carrier
Laju GT Kapal Container GT Awal Kapal Container	MAX(0<<1/yr>>, (laju pertumbuhan<<1/yr>>*GT Awal Kapal Container'))	Penambahan GT Kapal Container
Random Input GT Container GT Awal Kapal Container Penambahan GT Kapal Container	'GT Awal Kapal Container' + STEP('Random Input GT Container'+Penambahan GT Kapal Container', STARTTIME + 1<<da>>)	GT Total Kapal Container
GT Total Kapal Container	'GT Total Kapal Container'/'Jumlah Kapal Container'	Rata-rata GT Kapal Container
Jumlah Kapal Container		
Rata-rata GT Kapal Container Jumlah Kapal Container Mode Operasional Kapal Container Persentase Jumlah Kapal Container Slow Speed Waktu Belayar Kapal Container	(8.0552+0.00235*'Rata-rata GT Kapal Container')*'Persentase jumlah kapal Container Slow Speed'*Mode Operasional Kapal Container*'Jumlah Kapal Container'*'Waktu Belayar'*1/24<<ton/da>>	Konsumsi Bahan Bakar Slow Speed
Rata-rata GT Kapal Container Jumlah Kapal Container Mode Operasional Kapal Container Persentase Jumlah Kapal Container Medium Speed Waktu Belayar Kapal Container	(8.0552+0.00235*'Rata-rata GT Kapal Container')*'Persentase Jumlah Kapal Container Medium Speed'*Waktu Belayar Kapal Container*'Mode Operasional ME Kapal Container'*'Jumlah Kapal Container'*1/24<<ton/da>>	Konsumsi Bahan Bakar Container Medium Speed
Rata-rata GT Kapal Container Jumlah Kapal Container Mode Operasional Kapal Container Persentase Jumlah Kapal Container High Speed Waktu Belayar Kapal Container	(8.0552+0.00235*'Rata-rata GT Kapal Container')*'Persentase Jumlah Kapal Container High Speed'*Waktu Belayar Kapal Container*'Mode Operasional ME Kapal Container'*'Jumlah Kapal Container'*1/24<<ton/da>>	Konsumsi Bahan Bakar Container High Speed

Variabel	Formulasi	Hasil
Persentase Jumlah Kapal Container Slow Speed Persentase Jumlah Kapal Container Medium Speed	$1 - (\text{Persentase Jumlah Kapal Container Slow Speed} + \text{Persentase Jumlah Kapal Container Medium Speed})$	Persentase Jumlah Kapal Container High Speed
Laju RO Kapal Container RO Awal Kapal Container	$\text{MAX}(0 << 1/\text{yr}>>, \{ \text{laju pertumbuhan } << 1/\text{yr}>> * \text{RO Awal Kapal Container} \})$	Penambahan RO Kapal Container
Penambahan RO Kapal Container RO Awal Kapal Container Randum Input RO Container	'RO Awal Kapal Container' + STEP('Random Input RO Container' + 'Penambahan RO Kapal Container', STARTTIME + 1 << da >>)	RO Total Kapal Container
RO Total Kapal Container Mode Operasional AE Kapal Container Persentase AE Kapal Container Medium Speed Waktu Sandar Kapal Container	$0.2 * \text{Mode Operasional AE Kapal Container} * \text{RO Total Kapal Container} * \text{Persentase AE Kapal Container Medium Speed} * \text{Waktu Sandar Kapal Container} * 0.001 << \text{ton/da} >>$	Konsumsi Bahan Bakar AE Container Medium Speed
RO Total Kapal Container Mode Operasional AE Kapal Container Persentase AE Kapal Container High Speed Waktu Sandar Kapal Container	$0.2 * \text{Mode Operasional AE Kapal Container} * \text{RO Total Kapal Container} * \text{Persentase AE Kapal Container High Speed} * \text{Waktu Sandar Kapal Container} * 0.001 << \text{ton/da} >>$	Konsumsi Bahan Bakar AE Container High Speed
Persentase AE Kapal Container Medium Speed	$1 - \text{Persentase AE Kapal Container Medium Speed}$	Persentase AE Kapal Container High Speed
Konsumsi Bahan Bakar Container Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar AE Container Medium Speed	'Konsumsi Bahan Bakar AE Container Medium Speed' + 'Konsumsi Bahan Bakar Container Medium Speed'	Konsumsi Bahan Bakar Total Container Medium Speed
Konsumsi Bahan Bakar Container High Speed Konsumsi Bahan Bakar AE Container High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar AE Container High Speed' + 'Konsumsi Bahan Bakar Container High Speed'	Konsumsi Bahan Bakar Total Container High Speed
Konsumsi Bahan Bakar Container Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Container Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Container High Speed Faktor Emisi VOC Container Slow Speed Faktor Emisi VOC Container Medium Speed Faktor Emisi VOC Container High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar Container Slow Speed' * 'Faktor Emisi VOC Container Slow Speed' + 'Konsumsi Bahan Bakar Total Container Medium Speed' * 'Faktor Emisi VOC Container Medium Speed' + 'Konsumsi Bahan Bakar Total Container High Speed' * 'Faktor Emisi VOC Container High Speed'	Emisi VOC Container Per Hari
Konsumsi Bahan Bakar Container Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Container Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Container High Speed Faktor Emisi PM Container Slow Speed Faktor Emisi PM Container Medium Speed Faktor Emisi PM Container High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar Container Slow Speed' * 'Faktor Emisi PM Container Slow Speed' + 'Konsumsi Bahan Bakar Total Container Medium Speed' * 'Faktor Emisi PM Container Medium Speed' + 'Konsumsi Bahan Bakar Total Container High Speed' * 'Faktor Emisi PM Container High Speed'	Emisi PM Container Per Hari
Konsumsi Bahan Bakar Container Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Container Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Container High Speed Faktor Emisi CO2 Container Slow Speed Faktor Emisi CO2 Container Medium Speed	'Konsumsi Bahan Bakar Container Slow Speed' * 'Faktor Emisi CO2 Container Slow Speed' + 'Konsumsi Bahan Bakar Total Container Medium Speed' * 'Faktor Emisi CO2 Container Medium Speed' + 'Konsumsi Bahan Bakar Total Container High Speed' * 'Faktor Emisi CO2 Container High Speed'	Emisi CO2 Container Per Hari

Variabel	Formulasi	Hasil
Faktor Emisi CO2 Container High Speed Konsumsi Bahan Bakar Container Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Container Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Container High Speed Faktor Emisi CO Container Slow Speed Faktor Emisi CO Container Medium Speed Faktor Emisi CO Container High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar Container Slow Speed'*Faktor Emisi CO Container Slow Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Container Medium Speed'*Faktor Emisi CO Container Medium Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Container High Speed'*Faktor Emisi CO Container High Speed'	Emisi CO Container Per Hari
Konsumsi Bahan Bakar Container Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Container Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Container High Speed Faktor Emisi NOx Container Slow Speed Faktor Emisi NOx Container Medium Speed Faktor Emisi NOx Container High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar Container Slow Speed'*Faktor Emisi NOx Container Slow Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Container Medium Speed'*Faktor Emisi NOx Container Medium Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Container High Speed'*Faktor Emisi NOx Container High Speed'	Emisi NOx Container Per Hari
Konsumsi Bahan Bakar Container Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Container Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Container High Speed Faktor Emisi SOx Container Slow Speed Faktor Emisi SOx Container Medium Speed Faktor Emisi SOx Container High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar Container Slow Speed'*Faktor Emisi SOx Container Slow Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Container Medium Speed'*Faktor Emisi SOx Container Medium Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Container High Speed'*Faktor Emisi SOx Container High Speed'	Emisi SOx Container Per Hari
Laju Daya Kapal Container Penambahan Daya Kapal Container Daya Awal Kapal Container	(RANDOM(min,max,seed)+'Daya Awal Kapal Container'+Penambahan Daya Kapal Container')	Daya Main Engine Kapal Container
Daya Main Engine Kapal Container Waktu Berlayar Kapal Container	('Daya Main Engine Kapal Container'*Waktu Belayar Kapal Container')	Daya Total Kapal Container
Daya Total Kapal Container Presentase Jumlah Kapal Container Slow Speed	'Daya Total Kapal Container'*Presentase Jumlah Kapal Container Slow Speed'	Daya ME Kapal Container Slow Speed
Daya Total Kapal Container Presentase Jumlah Kapal Container Medium Speed	'Daya Total Kapal Container'*Presentase Jumlah Kapal Container Medium Speed'	Daya ME Kapal Container Medium Speed
Daya Total Kapal Container Presentase Jumlah Kapal Container High Speed	'Daya Total Kapal Container'*Presentase Jumlah Kapal Container High Speed'	Daya ME Kapal Container High Speed
Daya ME Kapal Container Slow Speed Daya ME Kapal Container Medium Speed Daya ME Kapal Container High Speed Tier I Tier II	((faktori VOC) <<ton/da>>*Daya ME Kapal Container Slow Speed'+ faktori VOC) <<ton/da>>*Daya ME Kapal Container Medium speed'+ faktori VOC) <<ton/da>>*Daya ME Kapal Container High Speed)*Tier I)+ ((faktori VOC) <<ton/da>>*Daya ME Kapal Container Slow Speed'+ faktori VOC) <<ton/da>>*Daya ME Kapal Container Medium Speed'+ faktori VOC) <<ton/da>>*Daya ME Kapal Container High Speed)*Tier II)	Emisi VOC Container MARPOL
Daya ME Kapal Container Slow Speed Daya ME Kapal Container Medium Speed Daya ME Kapal Container High Speed	((faktori NOx) <<ton/da>>*Daya ME Kapal Container Slow Speed'+faktori NOx) <<ton/da>>*Daya ME Kapal Container Medium Speed'+faktori NOx) <<ton/da>>*Daya ME Kapal	Emisi NOx Container MARPOL

Variabel	Formulasi	Hasil
Tier I Tier II	$\text{Container High Speed}^* \text{Tier I} + ((\text{faktor NOx}) \llcorner \text{ton/da} \gg * \text{Daya ME Kapal Container Slow Speed} + \{\text{faktor NOx}\} \llcorner \text{ton/da} \gg * \text{Daya ME Kapal Container Medium Speed} + \{\text{faktor NOx}\} \llcorner \text{ton/da} \gg * \text{Daya ME Kapal Container High Speed})^* \text{Tier II}$	
Daya ME Kapal Container Slow Speed Daya ME Kapal Container Medium Speed Daya ME Kapal Container High Speed Tier I Tier II	$((\{\text{faktor PM}\} \llcorner \text{ton/da} \gg * \text{Daya ME Kapal Container Slow Speed} + \{\text{faktor PM}\} \llcorner \text{ton/da} \gg * \text{Daya ME Kapal Container Medium Speed} + \{\text{faktor PM}\} \llcorner \text{ton/da} \gg * \text{Daya ME Kapal Container High Speed})^* \text{Tier I}) + ((\{\text{faktor PM}\} \llcorner \text{ton/da} \gg * \text{Daya ME Kapal Container Slow Speed} + \{\text{faktor PM}\} \llcorner \text{ton/da} \gg * \text{Daya ME Kapal Container Medium Speed} + \{\text{faktor PM}\} \llcorner \text{ton/da} \gg * \text{Daya ME Kapal Container High Speed})^* \text{Tier II})$	Emisi PM Container MARPOL
Daya ME Kapal Container Slow Speed Daya ME Kapal Container Medium Speed Daya ME Kapal Container High Speed Tier I Tier II	$((\{\text{faktor SOx}\} \llcorner \text{ton/da} \gg * \text{Daya ME Kapal Container Slow Speed} + \{\text{faktor SOx}\} \llcorner \text{ton/da} \gg * \text{Daya ME Kapal Container Medium Speed} + \{\text{faktor SOx}\} \llcorner \text{ton/da} \gg * \text{Daya ME Kapal Container High Speed})^* \text{Tier I}) + ((\{\text{faktor SOx}\} \llcorner \text{ton/da} \gg * \text{Daya ME Kapal Container Slow Speed} + \{\text{faktor SOx}\} \llcorner \text{ton/da} \gg * \text{Daya ME Kapal Container Medium Speed} + \{\text{faktor SOx}\} \llcorner \text{ton/da} \gg * \text{Daya ME Kapal Container High Speed})^* \text{Tier II})$	Emisi SOx Container MARPOL
Daya ME Kapal Container Slow Speed Daya ME Kapal Container Medium Speed Daya ME Kapal Container High Speed Tier I Tier II	$((\{\text{faktor CO2}\} \llcorner \text{ton/da} \gg * \text{Daya ME Kapal Container Slow Speed} + \{\text{faktor CO2}\} \llcorner \text{ton/da} \gg * \text{Daya ME Kapal Container Medium Speed} + \{\text{faktor CO2}\} \llcorner \text{ton/da} \gg * \text{Daya ME Kapal Container High Speed})^* \text{Tier I}) + ((\{\text{faktor CO2}\} \llcorner \text{ton/da} \gg * \text{Daya ME Kapal Container Slow Speed} + \{\text{faktor CO2}\} \llcorner \text{ton/da} \gg * \text{Daya ME Kapal Container Medium Speed} + \{\text{faktor CO2}\} \llcorner \text{ton/da} \gg * \text{Daya ME Kapal Container High Speed})^* \text{Tier II})$	Emisi CO2 Container MARPOL
Daya ME Kapal Container Slow Speed Daya ME Kapal Container Medium Speed Daya ME Kapal Container High Speed Tier I Tier II	$((\{\text{faktor CO}\} \llcorner \text{ton/da} \gg * \text{Daya ME Kapal Container Slow Speed} + \{\text{faktor CO}\} \llcorner \text{ton/da} \gg * \text{Daya ME Kapal Container Medium Speed} + \{\text{faktor CO}\} \llcorner \text{ton/da} \gg * \text{Daya ME Kapal Container High Speed})^* \text{Tier I}) + ((\{\text{faktor CO}\} \llcorner \text{ton/da} \gg * \text{Daya ME Kapal Container Slow Speed} + \{\text{faktor CO}\} \llcorner \text{ton/da} \gg * \text{Daya ME Kapal Container Medium Speed} + \{\text{faktor CO}\} \llcorner \text{ton/da} \gg * \text{Daya ME Kapal Container High Speed})^* \text{Tier II})$	Emisi CO Container MARPOL
Emisi VOC Container MARPOL Realisasi MARPOL Annex VI	'Emisi VOC Container MARPOL'*Realisasi MARPOL Annex VI'	Realisasi Emisi VOC Container MARPOL
Emisi NOx Container MARPOL Realisasi MARPOL Annex VI	'Emisi NOx Container MARPOL'*Realisasi MARPOL Annex VI'	Realisasi Emisi NOx Container MARPOL
Emisi PM Container MARPOL Realisasi MARPOL Annex VI	'Emisi PM Container MARPOL'*Realisasi MARPOL Annex VI'	Realisasi Emisi PM Container MARPOL
Emisi SOx Container MARPOL Realisasi MARPOL Annex VI	'Emisi SOx Container MARPOL'*Realisasi MARPOL Annex VI'	Realisasi Emisi SOx Container MARPOL
Emisi CO2 Container MARPOL Realisasi MARPOL Annex VI	'Emisi CO2 Container MARPOL'*Realisasi MARPOL Annex VI'	Realisasi Emisi CO2 Container MARPOL
Emisi CO Container MARPOL Realisasi MARPOL Annex VI	'Emisi CO Container MARPOL'*Realisasi MARPOL Annex VI'	Realisasi Emisi CO Container MARPOL
Emisi VOC ME Container Per Hari Graph Pengurangan Emisi	'Graph Pengurangan Emisi'*Emisi VOC ME Container Per Hari'	Pengurangan Emisi VOC Container
Emisi NOx ME Container Per Hari	'Graph Pengurangan Emisi'*Emisi NOx ME Container Per Hari'	Pengurangan Emisi NOx Container

Variabel	Formulasi	Hasil
Graph Pengurangan Emisi Emisi PM ME Container Per Hari Graph Pengurangan Emisi	'Graph Pengurangan Emisi'*Emisi PM ME Container Per Hari'	Pengurangan Emisi PM Container
Emisi SOx ME Container Per Hari Graph Pengurangan Emisi	'Graph Pengurangan Emisi'*Emisi SOx ME Container Per Hari'	Pengurangan Emisi SOx Container
Emisi CO2 ME Container Per Hari Graph Pengurangan Emisi	'Graph Pengurangan Emisi'*Emisi CO2 ME Container Per Hari'	Pengurangan Emisi CO2 Container
Emisi CO ME Container Per Hari Graph Pengurangan Emisi	'Graph Pengurangan Emisi'*Emisi CO ME Container Per Hari'	Pengurangan Emisi CO Container
Realisasi Emisi VOC Container MARPOL Pengurangan Emisi VOC Container	('Pengurangan Emisi VOC Container'+Realisasi Emisi VOC Container MARPOL')	Emisi VOC Kapal Container
Realisasi Emisi NOx Container MARPOL Pengurangan Emisi NOx Container	('Pengurangan Emisi NOx Container'+Realisasi Emisi NOx Container MARPOL')	Emisi NOx Kapal Container
Realisasi Emisi PM Container MARPOL Pengurangan Emisi PM Container	('Pengurangan Emisi PM Container'+Realisasi Emisi PM Container MARPOL')	Emisi PM Kapal Container
Realisasi Emisi SOx Container MARPOL Pengurangan Emisi SOx Container	('Pengurangan Emisi SOx Container'+Realisasi Emisi SOx Container MARPOL')	Emisi SOx Kapal Container
Realisasi Emisi CO2 Container MARPOL Pengurangan Emisi CO2 Container	('Pengurangan Emisi CO2 Container'+Realisasi Emisi CO2 Container MARPOL')	Emisi CO2 Kapal Container
Realisasi Emisi CO Container MARPOL Pengurangan Emisi CO Container	('Pengurangan Emisi CO Container'+Realisasi Emisi CO Container MARPOL')	Emisi CO Kapal Container
Laju GT Kapal General Cargo GT Awal Kapal General Cargo	MAX(0<<1/yr>>,{laju pertumbuhan<<1/yr>>*GT Awal Kapal General Cargo'})	Penambahan GT Kapal General Cargo
Random Input GT General Cargo GT Awal Kapal General Cargo Penambahan GT Kapal General Cargo	'GT Awal Kapal General Cargo' + STEP('Random Input GT General Cargo'+Penambahan GT Kapal General Cargo', STARTTIME + 1<<da>>)	GT Total Kapal General Cargo
GT Total Kapal General Cargo Jumlah Kapal General Cargo	'GT Total Kapal General Cargo'/Jumlah Kapal General Cargo'	Rata-rata GT Kapal General Cargo
Rata-rata GT Kapal General Cargo Jumlah Kapal General Cargo Mode Operasional Kapal General Cargo Persentase Jumlah Kapal General Cargo Slow Speed Waktu Belayar Kapal General Cargo	(9.8197+0.00143*Rata-rata GT Kapal General Cargo)*Persentase jumlah kapal General Cargo Slow Speed*Mode Operasional Kapal General Cargo*Jumlah Kapal General Cargo*Waktu Belayar*1/24<<ton/da>>	Konsumsi Bahan Bakar Slow Speed
Rata-rata GT Kapal General Cargo Jumlah Kapal General Cargo Mode Operasional Kapal General Cargo Persentase Jumlah Kapal General Cargo Medium Speed Waktu Belayar Kapal General Cargo	(9.8197+0.00143*Rata-rata GT Kapal General Cargo)*Persentase Jumlah Kapal General Cargo Medium Speed*Waktu Belayar Kapal General Cargo*Mode Operasional ME Kapal General Cargo*Jumlah Kapal General Cargo*1/24<<ton/da>>	Konsumsi Bahan Bakar General Cargo Medium Speed
Rata-rata GT Kapal General Cargo Jumlah Kapal General Cargo Mode Operasional Kapal General Cargo Persentase Jumlah Kapal General Cargo High Speed Waktu Belayar Kapal General Cargo	(9.8197+0.00143*Rata-rata GT Kapal General Cargo)*Persentase Jumlah Kapal General Cargo High Speed*Waktu Belayar Kapal General Cargo*Mode Operasional ME Kapal General Cargo*Jumlah Kapal General Cargo*1/24<<ton/da>>	Konsumsi Bahan Bakar General Cargo High Speed
Persentase Jumlah Kapal General Cargo Slow Speed Persentase Jumlah Kapal General Cargo Medium Speed	1- ('Persentase Jumlah Kapal General Cargo Slow Speed'+Persentase Jumlah Kapal General Cargo Medium Speed)	Persentase Jumlah Kapal General Cargo High Speed
Laju RO Kapal General Cargo RO Awal Kapal General Cargo	MAX(0<<1/yr>>,{laju pertumbuhan<<1/yr>>*RO Awal Kapal General Cargo'})	Penambahan RO Kapal General Cargo

Variabel	Formulasi	Hasil
Penambahan RO Kapal General Cargo RO Awal Kapal General Cargo Randum Input RO General Cargo	'RO Awal Kapal General Cargo' + STEP('Random Input RO General Cargo'+Penambahan RO Kapal General Cargo', STARTTIME + 1<<da>>)	RO Total Kapal General Cargo
RO Total Kapal General Cargo Mode Operasional AE Kapal General Cargo Persentase AE Kapal General Cargo Medium Speed Waktu Sandar Kapal General Cargo	0.2*Mode Operasional AE Kapal General Cargo*RO Total Kapal General Cargo*Persentase AE Kapal General Cargo Medium Speed*Waktu Sandar Kapal General Cargo*0.001<<ton/da>>	Konsumsi Bahan Bakar AE General Cargo Medium Speed
RO Total Kapal General Cargo Mode Operasional AE Kapal General Cargo Persentase AE Kapal General Cargo High Speed Waktu Sandar Kapal General Cargo	0.2*Mode Operasional AE Kapal General Cargo*RO Total Kapal General Cargo*Persentase AE Kapal General Cargo High Speed*Waktu Sandar Kapal General Cargo*0.001<<ton/da>>	Konsumsi Bahan Bakar AE General Cargo High Speed
Persentase AE Kapal General Cargo Medium Speed	1-Persentase AE Kapal General Cargo Medium Speed'	Persentase AE Kapal General Cargo High Speed
Konsumsi Bahan Bakar General Cargo Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar AE General Cargo Medium Speed	'Konsumsi Bahan Bakar AE General Cargo Medium Speed'+Konsumsi Bahan Bakar General Cargo Medium Speed'	Konsumsi Bahan Bakar Total General Cargo Medium Speed
Konsumsi Bahan Bakar General Cargo High Speed Konsumsi Bahan Bakar AE General Cargo High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar AE General Cargo High Speed'+Konsumsi Bahan Bakar General Cargo High Speed'	Konsumsi Bahan Bakar Total General Cargo High Speed
Konsumsi Bahan Bakar General Cargo Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total General Cargo Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total General Cargo High Speed Faktor Emisi VOC General Cargo Slow Speed Faktor Emisi VOC General Cargo Medium Speed Faktor Emisi VOC General Cargo High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar General Cargo Slow Speed'*Faktor Emisi VOC General Cargo Slow Speed'+Konsumsi Bahan Bakar Total General Cargo Medium Speed'*Faktor Emisi VOC General Cargo Medium Speed'+Konsumsi Bahan Bakar Total General Cargo High Speed'*Faktor Emisi VOC General Cargo High Speed'	Emisi VOC General Cargo Per Hari
Konsumsi Bahan Bakar General Cargo Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total General Cargo Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total General Cargo High Speed Faktor Emisi PM General Cargo Slow Speed Faktor Emisi PM General Cargo Medium Speed Faktor Emisi PM General Cargo High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar General Cargo Slow Speed'*Faktor Emisi PM General Cargo Slow Speed'+Konsumsi Bahan Bakar Total General Cargo Medium Speed'*Faktor Emisi PM General Cargo Medium Speed'+Konsumsi Bahan Bakar Total General Cargo High Speed'*Faktor Emisi PM General Cargo High Speed'	Emisi PM General Cargo Per Hari
Konsumsi Bahan Bakar General Cargo Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total General Cargo Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total General Cargo High Speed Faktor Emisi CO2 General Cargo Slow Speed Faktor Emisi CO2 General Cargo Medium Speed Faktor Emisi CO2 General Cargo High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar General Cargo Slow Speed'*Faktor Emisi CO2 General Cargo Slow Speed'+Konsumsi Bahan Bakar Total General Cargo Medium Speed'*Faktor Emisi CO2 General Cargo Medium Speed'+Konsumsi Bahan Bakar Total General Cargo High Speed'*Faktor Emisi CO2 General Cargo High Speed'	Emisi CO2 General Cargo Per Hari



Variabel	Formulasi	Hasil
Konsumsi Bahan Bakar General Cargo Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total General Cargo Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total General Cargo High Speed Faktor Emisi CO General Cargo Slow Speed Faktor Emisi CO General Cargo Medium Speed Faktor Emisi CO General Cargo High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar General Cargo Slow Speed'*Faktor Emisi CO General Cargo Slow Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total General Cargo Medium Speed'*Faktor Emisi CO General Cargo Medium Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total General Cargo High Speed'*Faktor Emisi CO General Cargo High Speed'	Emisi CO General Cargo Per Hari
Konsumsi Bahan Bakar General Cargo Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total General Cargo Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total General Cargo High Speed Faktor Emisi NOx General Cargo Slow Speed Faktor Emisi NOx General Cargo Medium Speed Faktor Emisi NOx General Cargo High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar General Cargo Slow Speed'*Faktor Emisi NOx General Cargo Slow Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total General Cargo Medium Speed'*Faktor Emisi NOx General Cargo Medium Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total General Cargo High Speed'*Faktor Emisi NOx General Cargo High Speed'	Emisi NOx General Cargo Per Hari
Konsumsi Bahan Bakar General Cargo Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total General Cargo Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total General Cargo High Speed Faktor Emisi SOx General Cargo Slow Speed Faktor Emisi SOx General Cargo Medium Speed Faktor Emisi SOx General Cargo High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar General Cargo Slow Speed'*Faktor Emisi SOx General Cargo Slow Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total General Cargo Medium Speed'*Faktor Emisi SOx General Cargo Medium Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total General Cargo High Speed'*Faktor Emisi SOx General Cargo High Speed'	Emisi SOx General Cargo Per Hari
Laju Daya Kapal General Cargo Penambahan Daya Kapal General Cargo Daya Awal Kapal General Cargo	(RANDOM(min,max,seed)+'Daya Awal Kapal General Cargo'+Penambahan Daya Kapal General Cargo)	Daya Main Engine Kapal General Cargo
Daya Main Engine Kapal General Cargo Waktu Berlayar Kapal General Cargo	('Daya Main Engine Kapal General Cargo'*Waktu Berlayar Kapal General Cargo)	Daya Total Kapal General Cargo
Daya Total Kapal General Cargo Presentase Jumlah Kapal General Cargo Slow Speed	'Daya Total Kapal General Cargo'*Presentase Jumlah Kapal General Cargo Slow Speed'	Daya ME Kapal General Cargo Slow Speed
Daya Total Kapal General Cargo Presentase Jumlah Kapal General Cargo Medium Speed	'Daya Total Kapal General Cargo'*Presentase Jumlah Kapal General Cargo Medium Speed'	Daya ME Kapal General Cargo Medium Speed
Daya Total Kapal General Cargo Presentase Jumlah Kapal General Cargo High Speed	'Daya Total Kapal General Cargo'*Presentase Jumlah Kapal General Cargo High Speed'	Daya ME Kapal General Cargo High Speed
Daya ME Kapal General Cargo Slow Speed Daya ME Kapal General Cargo Medium Speed Daya ME Kapal General Cargo High Speed Tier I Tier II	((faktori VOC) <<ton/da>> * Daya ME Kapal General Cargo Slow Speed + (faktori VOC) <<ton/da>> * Daya ME Kapal General Cargo Medium Speed + { faktori VOC} <<ton/da>> * Daya ME Kapal General Cargo High Speed) * Tier I + ((faktori VOC) <<ton/da>> * Daya ME Kapal General Cargo Slow Speed + { faktori VOC} <<ton/da>> * Daya ME Kapal General Cargo Medium Speed + { faktori VOC} <<ton/da>> * Daya ME Kapal General Cargo High Speed) * Tier II)	Emisi VOC General Cargo MARPOL
Daya ME Kapal General Cargo Slow Speed	((faktori NOx) <<ton/da>> * Daya ME Kapal General Cargo Slow Speed + { faktori NOx} <<ton/da>> * Daya ME Kapal General Cargo Medium Speed + { faktori	Emisi NOx General Cargo MARPOL

Variabel	Formulasi	Hasil
Daya ME Kapal General Cargo Medium Speed Daya ME Kapal General Cargo High Speed Tier I Tier II	$\text{NOx} \left( \frac{\text{Daya ME Kapal General Cargo High Speed}}{\text{Tier I}} \right) + \left( \frac{\text{Daya ME Kapal General Cargo Slow Speed}}{\text{Tier I}} + \frac{\text{Daya ME Kapal General Cargo Medium Speed}}{\text{Tier I}} + \frac{\text{Daya ME Kapal General Cargo High Speed}}{\text{Tier II}} \right)$	
Daya ME Kapal General Cargo Slow Speed Daya ME Kapal General Cargo Medium Speed Daya ME Kapal General Cargo High Speed Tier I Tier II	$\left( \frac{\text{Daya ME Kapal General Cargo Slow Speed}}{\text{Tier I}} + \frac{\text{Daya ME Kapal General Cargo Medium Speed}}{\text{Tier I}} + \frac{\text{Daya ME Kapal General Cargo High Speed}}{\text{Tier I}} \right) + \left( \frac{\text{Daya ME Kapal General Cargo Slow Speed}}{\text{Tier II}} + \frac{\text{Daya ME Kapal General Cargo Medium Speed}}{\text{Tier II}} + \frac{\text{Daya ME Kapal General Cargo High Speed}}{\text{Tier II}} \right)$	Emisi PM General Cargo MARPOL
Daya ME Kapal General Cargo Slow Speed Daya ME Kapal General Cargo Medium Speed Daya ME Kapal General Cargo High Speed Tier I Tier II	$\left( \frac{\text{Daya ME Kapal General Cargo Slow Speed}}{\text{Tier I}} + \frac{\text{Daya ME Kapal General Cargo Medium Speed}}{\text{Tier I}} + \frac{\text{Daya ME Kapal General Cargo High Speed}}{\text{Tier I}} \right) + \left( \frac{\text{Daya ME Kapal General Cargo Slow Speed}}{\text{Tier II}} + \frac{\text{Daya ME Kapal General Cargo Medium Speed}}{\text{Tier II}} + \frac{\text{Daya ME Kapal General Cargo High Speed}}{\text{Tier II}} \right)$	Emisi SOx General Cargo MARPOL
Daya ME Kapal General Cargo Slow Speed Daya ME Kapal General Cargo Medium Speed Daya ME Kapal General Cargo High Speed Tier I Tier II	$\left( \frac{\text{Daya ME Kapal General Cargo Slow Speed}}{\text{Tier I}} + \frac{\text{Daya ME Kapal General Cargo Medium Speed}}{\text{Tier I}} + \frac{\text{Daya ME Kapal General Cargo High Speed}}{\text{Tier I}} \right) + \left( \frac{\text{Daya ME Kapal General Cargo Slow Speed}}{\text{Tier II}} + \frac{\text{Daya ME Kapal General Cargo Medium Speed}}{\text{Tier II}} + \frac{\text{Daya ME Kapal General Cargo High Speed}}{\text{Tier II}} \right)$	Emisi CO2 General Cargo MARPOL
Daya ME Kapal General Cargo Slow Speed Daya ME Kapal General Cargo Medium Speed Daya ME Kapal General Cargo High Speed Tier I Tier II	$\left( \frac{\text{Daya ME Kapal General Cargo Slow Speed}}{\text{Tier I}} + \frac{\text{Daya ME Kapal General Cargo Medium Speed}}{\text{Tier I}} + \frac{\text{Daya ME Kapal General Cargo High Speed}}{\text{Tier I}} \right) + \left( \frac{\text{Daya ME Kapal General Cargo Slow Speed}}{\text{Tier II}} + \frac{\text{Daya ME Kapal General Cargo Medium Speed}}{\text{Tier II}} + \frac{\text{Daya ME Kapal General Cargo High Speed}}{\text{Tier II}} \right)$	Emisi CO General Cargo MARPOL
Emisi VOC General Cargo MARPOL Realisasi MARPOL Annex VI	'Emisi VOC General Cargo MARPOL'*Realisasi MARPOL Annex VI'	Realisasi Emisi VOC General Cargo MARPOL
Emisi NOx General Cargo MARPOL Realisasi MARPOL Annex VI	'Emisi NOx General Cargo MARPOL'*Realisasi MARPOL Annex VI'	Realisasi Emisi NOx General Cargo MARPOL
Emisi PM General Cargo MARPOL Realisasi MARPOL Annex VI	'Emisi PM General Cargo MARPOL'*Realisasi MARPOL Annex VI'	Realisasi Emisi PM General Cargo MARPOL
Emisi SOx General Cargo MARPOL Realisasi MARPOL Annex VI	'Emisi SOx General Cargo MARPOL'*Realisasi MARPOL Annex VI'	Realisasi Emisi SOx General Cargo MARPOL
Emisi CO2 General Cargo MARPOL Realisasi MARPOL Annex VI	'Emisi CO2 General Cargo MARPOL'*Realisasi MARPOL Annex VI'	Realisasi Emisi CO2 General Cargo MARPOL
Emisi CO General Cargo MARPOL Realisasi MARPOL Annex VI	'Emisi CO General Cargo MARPOL'*Realisasi MARPOL Annex VI'	Realisasi Emisi CO General Cargo MARPOL
Emisi VOC ME General Cargo Per Hari Graph Pengurangan Emisi	'Graph Pengurangan Emisi'*Emisi VOC ME General Cargo Per Hari'	Pengurangan Emisi VOC General Cargo

Variabel	Formulasi	Hasil
Emisi NOx ME General Cargo Per Hari Graph Pengurangan Emisi	'Graph Pengurangan Emisi'*Emisi NOx ME General Cargo Per Hari'	Pengurangan Emisi NOx General Cargo
Emisi PM ME General Cargo Per Hari Graph Pengurangan Emisi	'Graph Pengurangan Emisi'*Emisi PM ME General Cargo Per Hari'	Pengurangan Emisi PM General Cargo
Emisi SOx ME General Cargo Per Hari Graph Pengurangan Emisi	'Graph Pengurangan Emisi'*Emisi SOx ME General Cargo Per Hari'	Pengurangan Emisi SOx General Cargo
Emisi CO2 ME General Cargo Per Hari Graph Pengurangan Emisi	'Graph Pengurangan Emisi'*Emisi CO2 ME General Cargo Per Hari'	Pengurangan Emisi CO2 General Cargo
Emisi CO ME General Cargo Per Hari Graph Pengurangan Emisi	'Graph Pengurangan Emisi'*Emisi CO ME General Cargo Per Hari'	Pengurangan Emisi CO General Cargo
Realisasi Emisi VOC General Cargo MARPOL Pengurangan Emisi VOC General Cargo	('Pengurangan Emisi VOC General Cargo'+Realisasi Emisi VOC General Cargo MARPOL')	Emisi VOC Kapal General Cargo
Realisasi Emisi NOx General Cargo MARPOL Pengurangan Emisi NOx General Cargo	('Pengurangan Emisi NOx General Cargo'+Realisasi Emisi NOx General Cargo MARPOL')	Emisi NOx Kapal General Cargo
Realisasi Emisi PM General Cargo MARPOL Pengurangan Emisi PM General Cargo	('Pengurangan Emisi PM General Cargo'+Realisasi Emisi PM General Cargo MARPOL')	Emisi PM Kapal General Cargo
Realisasi Emisi SOx General Cargo MARPOL Pengurangan Emisi SOx General Cargo	('Pengurangan Emisi SOx General Cargo'+Realisasi Emisi SOx General Cargo MARPOL')	Emisi SOx Kapal General Cargo
Realisasi Emisi CO2 General Cargo MARPOL Pengurangan Emisi CO2 General Cargo	('Pengurangan Emisi CO2 General Cargo'+Realisasi Emisi CO2 General Cargo MARPOL')	Emisi CO2 Kapal General Cargo
Realisasi Emisi CO General Cargo MARPOL Pengurangan Emisi CO General Cargo	('Pengurangan Emisi CO General Cargo'+Realisasi Emisi CO General Cargo MARPOL')	Emisi CO Kapal General Cargo
Laju GT Kapal Penumpang GT Awal Kapal Penumpang	MAX(0<<1/yr>>,{laju pertumbuhan<<1/yr>>*GT Awal Kapal Penumpang'})	Penambahan GT Kapal Penumpang
Random Input GT Kapal Penumpang GT Awal Kapal Penumpang Penambahan GT Kapal Penumpang	'GT Awal Kapal Penumpang' + STEP('Random Input GT Awal Kapal Penumpang'+Penambahan GT Kapal Penumpang', STARTTIME + 1<<da>>)	GT Total Kapal Penumpang
GT Total Kapal Penumpang Jumlah Kapal Penumpang	'GT Total Kapal Penumpang'/Jumlah Kapal Penumpang'	Rata-rata GT Kapal Penumpang
Rata-rata GT Kapal Penumpang Jumlah Kapal Penumpang Mode Operasional Kapal Penumpang Persentase Jumlah Kapal Penumpang Slow Speed Waktu Belayar Kapal Penumpang	(16.9040+0.00198*Rata-rata GT Kapal Penumpang)*Persentase jumlah Kapal Penumpang Slow Speed*Mode Operasional Kapal Penumpang*Jumlah Kapal Penumpang*Waktu Belayar*1/24<<ton/da>>	Konsumsi Bahan Bakar Slow Speed
Rata-rata GT Kapal Penumpang Jumlah Kapal Penumpang Mode Operasional Kapal Penumpang Persentase Jumlah Kapal Penumpang Medium Speed Waktu Belayar Kapal Penumpang	(16.9040+0.00198*Rata-rata GT Kapal Penumpang)*Persentase Jumlah Kapal Penumpang Medium Speed*Waktu Belayar Kapal Penumpang*Mode Operasional ME Kapal Penumpang*Jumlah Kapal Penumpang*1/24<<ton/da>>	Konsumsi Bahan Bakar Kapal Penumpang Medium Speed
Rata-rata GT Kapal Penumpang Jumlah Kapal Penumpang Mode Operasional Kapal Penumpang Persentase Jumlah Kapal Penumpang High Speed Waktu Belayar Kapal Penumpang	(16.9040+0.00198*Rata-rata GT Kapal Penumpang)*Persentase Jumlah Kapal Penumpang High Speed*Waktu Belayar Kapal Penumpang*Mode Operasional ME Kapal Penumpang*Jumlah Kapal Penumpang*1/24<<ton/da>>	Konsumsi Bahan Bakar Kapal Penumpang High Speed
Persentase Jumlah Kapal Penumpang Slow Speed	1- (Persentase Jumlah Kapal Penumpang Slow Speed+)	Persentase Jumlah Kapal Penumpang High Speed

Variabel	Formulasi	Hasil
Persentase Jumlah Kapal Penumpang Medium Speed	Persentase Jumlah Kapal Penumpang Medium Speed)	
Laju RO Kapal Penumpang RO Awal Kapal Penumpang	$MAX(0 << 1/yr >>, \{ \text{laju pertumbuhan} << 1/yr >> * \text{RO Awal Kapal Penumpang} \})$	Penambahan RO Kapal Penumpang
Penambahan RO Kapal Penumpang RO Awal Kapal Penumpang Randum Input RO Kapal Penumpang	'RO Awal Kapal Penumpang' + STEP('Random Input RO Kapal Penumpang'+ 'Penambahan RO Kapal Penumpang', STARTTIME, 1 << da >>)	RO Total Kapal Penumpang
RO Total Kapal Penumpang Mode Operasional AE Kapal Penumpang Persentase AE Kapal Penumpang Medium Speed Waktu Sandar Kapal Penumpang	$0.2 * \text{Mode Operasional AE Kapal Penumpang} * \text{RO Total Kapal Penumpang} * \text{Persentase AE Kapal Penumpang Medium Speed} * \text{Waktu Sandar Kapal Penumpang} * 0.001 << \text{ton/da} >>$	Konsumsi Bahan Bakar AE Kapal Penumpang Medium Speed
RO Total Kapal Penumpang Mode Operasional AE Kapal Penumpang Persentase AE Kapal Penumpang High Speed Waktu Sandar Kapal Penumpang	$0.2 * \text{Mode Operasional AE Kapal Penumpang} * \text{RO Total Kapal Penumpang} * \text{Persentase AE Kapal Penumpang High Speed} * \text{Waktu Sandar Kapal Penumpang} * 0.001 << \text{ton/da} >>$	Konsumsi Bahan Bakar AE Kapal Penumpang High Speed
Persentase AE Kapal Penumpang Medium Speed	1- 'Persentase AE Kapal Penumpang Medium Speed'	Persentase AE Kapal Penumpang High Speed
Konsumsi Bahan Bakar Kapal Penumpang Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar AE Kapal Penumpang Medium Speed	'Konsumsi Bahan Bakar AE Kapal Penumpang Medium Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Kapal Penumpang Medium Speed'	Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Penumpang Medium Speed
Konsumsi Bahan Bakar Kapal Penumpang High Speed Konsumsi Bahan Bakar AE Kapal Penumpang High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar AE Kapal Penumpang High Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Kapal Penumpang High Speed'	Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Penumpang High Speed
Konsumsi Bahan Bakar Kapal Penumpang Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Penumpang Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Penumpang High Speed Faktor Emisi VOC Kapal Penumpang Slow Speed Faktor Emisi VOC Kapal Penumpang Medium Speed Faktor Emisi VOC Kapal Penumpang High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar Kapal Penumpang Slow Speed'*Faktor Emisi VOC Kapal Penumpang Slow Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Penumpang Medium Speed'*Faktor Emisi VOC Kapal Penumpang Medium Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Penumpang High Speed'*Faktor Emisi VOC Kapal Penumpang High Speed'	Emisi VOC Kapal Penumpang Per Hari
Konsumsi Bahan Bakar Kapal Penumpang Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Penumpang Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Penumpang High Speed Faktor Emisi PM Kapal Penumpang Slow Speed Faktor Emisi PM Kapal Penumpang Medium Speed Faktor Emisi PM Kapal Penumpang High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar Kapal Penumpang Slow Speed'*Faktor Emisi PM Kapal Penumpang Slow Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Penumpang Medium Speed'*Faktor Emisi PM Kapal Penumpang Medium Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Penumpang High Speed'*Faktor Emisi PM Kapal Penumpang High Speed'	Emisi PM Kapal Penumpang Per Hari
Konsumsi Bahan Bakar Kapal Penumpang Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Penumpang Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Penumpang High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar Kapal Penumpang Slow Speed'*Faktor Emisi CO2 Kapal Penumpang Slow Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Penumpang Medium Speed'*Faktor Emisi CO2 Kapal Penumpang Medium Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Penumpang High Speed'	Emisi CO2 Kapal Penumpang Per Hari

Variabel	Formulasi	Hasil
Faktor Emisi CO <sub>2</sub> Kapal Penumpang Slow Speed Faktor Emisi CO <sub>2</sub> Kapal Penumpang Medium Speed Faktor Emisi CO <sub>2</sub> Kapal Penumpang High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Penumpang High Speed'*Faktor Emisi CO <sub>2</sub> Kapal Penumpang High Speed'	
Konsumsi Bahan Bakar Kapal Penumpang Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Penumpang Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Penumpang High Speed Faktor Emisi CO Kapal Penumpang Slow Speed Faktor Emisi CO Kapal Penumpang Medium Speed Faktor Emisi CO Kapal Penumpang High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar Kapal Penumpang Slow Speed'*Faktor Emisi CO Kapal Penumpang Slow Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Penumpang Medium Speed'*Faktor Emisi CO Kapal Penumpang Medium Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Penumpang High Speed'*Faktor Emisi CO Kapal Penumpang High Speed'	Emisi CO Kapal Penumpang Per Hari
Konsumsi Bahan Bakar Kapal Penumpang Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Penumpang Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Penumpang High Speed Faktor Emisi NO <sub>x</sub> Kapal Penumpang Slow Speed Faktor Emisi NO <sub>x</sub> Kapal Penumpang Medium Speed Faktor Emisi NO <sub>x</sub> Kapal Penumpang High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar Kapal Penumpang Slow Speed'*Faktor Emisi NO <sub>x</sub> Kapal Penumpang Slow Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Penumpang Medium Speed'*Faktor Emisi NO <sub>x</sub> Kapal Penumpang Medium Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Penumpang High Speed'*Faktor Emisi NO <sub>x</sub> Kapal Penumpang High Speed'	Emisi NO <sub>x</sub> Kapal Penumpang Per Hari
Konsumsi Bahan Bakar Kapal Penumpang Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Penumpang Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Penumpang High Speed Faktor Emisi SO <sub>x</sub> Kapal Penumpang Slow Speed Faktor Emisi SO <sub>x</sub> Kapal Penumpang Medium Speed Faktor Emisi SO <sub>x</sub> Kapal Penumpang High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar Kapal Penumpang Slow Speed'*Faktor Emisi SO <sub>x</sub> Kapal Penumpang Slow Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Penumpang Medium Speed'*Faktor Emisi SO <sub>x</sub> Kapal Penumpang Medium Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Penumpang High Speed'*Faktor Emisi SO <sub>x</sub> Kapal Penumpang High Speed'	Emisi SO <sub>x</sub> Kapal Penumpang Per Hari
Laju Daya Kapal Penumpang Penambahan Daya Kapal Penumpang Daya Awal Kapal Penumpang	(RANDOM(min,max,seed)+'Daya Awal Kapal Penumpang'+Penambahan Daya Kapal Penumpang')	Daya Main Engine Kapal Penumpang
Daya Main Engine Kapal Penumpang Waktu Berlayar Kapal Penumpang	('Daya Main Engine Kapal Penumpang'*Waktu Berlayar Kapal Penumpang')	Daya Total Kapal Penumpang
Daya Total Kapal Penumpang Presentase Jumlah Kapal Penumpang Slow Speed	'Daya Total Kapal Penumpang'*Presentase Jumlah Kapal Penumpang Slow Speed'	Daya ME Kapal Penumpang Slow Speed
Daya Total Kapal Penumpang Presentase Jumlah Kapal Penumpang Medium Speed	'Daya Total Kapal Penumpang'*Presentase Jumlah Kapal Penumpang Medium Speed'	Daya ME Kapal Penumpang Medium Speed
Daya Total Kapal Penumpang Presentase Jumlah Kapal Penumpang High Speed	'Daya Total Kapal Penumpang'*Presentase Jumlah Kapal Penumpang High Speed'	Daya ME Kapal Penumpang High Speed



Variabel	Formulasi	Hasil
	Medium Speed+ {faktor CO}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Kapal Penumpang High Speed)*Tier II)	
Emisi VOC Kapal Penumpang MARPOL Realisasi MARPOL Annex VI	'Emisi VOC Kapal Penumpang MARPOL'*Realisasi MARPOL Annex VI'	Realisasi Emisi VOC Kapal Penumpang MARPOL
Emisi NOx Kapal Penumpang MARPOL Realisasi MARPOL Annex VI	'Emisi NOx Kapal Penumpang MARPOL'*Realisasi MARPOL Annex VI'	Realisasi Emisi NOx Kapal Penumpang MARPOL
Emisi PM Kapal Penumpang MARPOL Realisasi MARPOL Annex VI	'Emisi PM Kapal Penumpang MARPOL'*Realisasi MARPOL Annex VI'	Realisasi Emisi PM Kapal Penumpang MARPOL
Emisi SOx Kapal Penumpang MARPOL Realisasi MARPOL Annex VI	'Emisi SOx Kapal Penumpang MARPOL'*Realisasi MARPOL Annex VI'	Realisasi Emisi SOx Kapal Penumpang MARPOL
Emisi CO2 Kapal Penumpang MARPOL Realisasi MARPOL Annex VI	'Emisi CO2 Kapal Penumpang MARPOL'*Realisasi MARPOL Annex VI'	Realisasi Emisi CO2 Kapal Penumpang MARPOL
Emisi CO Kapal Penumpang MARPOL Realisasi MARPOL Annex VI	'Emisi CO Kapal Penumpang MARPOL'*Realisasi MARPOL Annex VI'	Realisasi Emisi CO Kapal Penumpang MARPOL
Emisi VOC ME Kapal Penumpang Per Hari Graph Pengurangan Emisi	'Graph Pengurangan Emisi'*Emisi VOC ME Kapal Penumpang Per Hari'	Pengurangan Emisi VOC Kapal Penumpang
Emisi NOx ME Kapal Penumpang Per Hari Graph Pengurangan Emisi	'Graph Pengurangan Emisi'*Emisi NOx ME Kapal Penumpang Per Hari'	Pengurangan Emisi NOx Kapal Penumpang
Emisi PM ME Kapal Penumpang Per Hari Graph Pengurangan Emisi	'Graph Pengurangan Emisi'*Emisi PM ME Kapal Penumpang Per Hari'	Pengurangan Emisi PM Kapal Penumpang
Emisi SOx ME Kapal Penumpang Per Hari Graph Pengurangan Emisi	'Graph Pengurangan Emisi'*Emisi SOx ME Kapal Penumpang Per Hari'	Pengurangan Emisi SOx Kapal Penumpang
Emisi CO2 ME Kapal Penumpang Per Hari Graph Pengurangan Emisi	'Graph Pengurangan Emisi'*Emisi CO2 ME Kapal Penumpang Per Hari'	Pengurangan Emisi CO2 Kapal Penumpang
Emisi CO ME Kapal Penumpang Per Hari Graph Pengurangan Emisi	'Graph Pengurangan Emisi'*Emisi CO ME Kapal Penumpang Per Hari'	Pengurangan Emisi CO Kapal Penumpang
Realisasi Emisi VOC Kapal Penumpang Pengurangan Emisi VOC Kapal Penumpang	(Pengurangan Emisi VOC Kapal Penumpang)+'Realisasi Emisi VOC Kapal Penumpang MARPOL')	Emisi VOC Kapal Penumpang
Realisasi Emisi NOx Kapal Penumpang Pengurangan Emisi NOx Kapal Penumpang	(Pengurangan Emisi NOx Kapal Penumpang)+'Realisasi Emisi NOx Kapal Penumpang MARPOL')	Emisi NOx Kapal Penumpang
Realisasi Emisi PM Kapal Penumpang Pengurangan Emisi PM Kapal Penumpang	(Pengurangan Emisi PM Kapal Penumpang)+'Realisasi Emisi PM Kapal Penumpang MARPOL')	Emisi PM Kapal Penumpang
Realisasi Emisi SOx Kapal Penumpang Pengurangan Emisi SOx Kapal Penumpang	(Pengurangan Emisi SOx Kapal Penumpang)+'Realisasi Emisi SOx Kapal Penumpang MARPOL')	Emisi SOx Kapal Penumpang
Realisasi Emisi CO2 Kapal Penumpang Pengurangan Emisi CO2 Kapal Penumpang	(Pengurangan Emisi CO2 Kapal Penumpang)+'Realisasi Emisi CO2 Kapal Penumpang MARPOL')	Emisi CO2 Kapal Penumpang
Realisasi Emisi CO Kapal Penumpang Pengurangan Emisi CO Kapal Penumpang	(Pengurangan Emisi CO Kapal Penumpang)+'Realisasi Emisi CO Kapal Penumpang MARPOL')	Emisi CO Kapal Penumpang
Laju GT Kapal Ro-ro GT Awal Kapal Ro-ro	MAX(0<<1/yr>>,laju pertumbuhan<<1/yr>>*GT Awal Kapal Ro-ro'))	Penambahan GT Kapal Ro-ro
Random Input GT Ro-ro GT Awal Kapal Ro-ro Penambahan GT Kapal Ro-ro GT Total Kapal Ro-ro	'GT Awal Kapal Ro-ro' + STEP('Random Input GT Ro-ro'+Penambahan GT Kapal Ro-ro', STARTTIME + 1<<da>>)	GT Total Kapal Ro-ro
Jumlah Kapal Ro-ro	'GT Total Kapal Ro-ro'/Jumlah Kapal Ro-ro'	Rata-rata GT Kapal Ro-ro
Rata-rata GT Kapal Ro-ro Jumlah Kapal Ro-ro Mode Operasional Kapal Ro-ro	(12.8340+0.00156*Rata-rata GT Kapal Ro-ro)*Persentase jumlah kapal Ro-ro Slow Speed)*Mode Operasional Kapal Ro-ro*Jumlah Kapal Ro-ro*Waktu Belayar*/1/24<<ton/da>>	Konsumsi Bahan Bakar Slow Speed

Variabel	Formulasi	Hasil
Persentase Jumlah Kapal Ro-ro Slow Speed Waktu Belayar Kapal Ro-ro		
Rata-rata GT Kapal Ro-ro Jumlah Kapal Ro-ro Mode Operasional Kapal Ro-ro Persentase Jumlah Kapal Ro-ro Medium Speed Waktu Belayar Kapal Ro-ro	$(12.8340+0.00156 \times \text{Rata-rata GT Kapal Ro-ro}) \times \text{Persentase Jumlah Kapal Ro-ro Medium Speed} \times \text{Waktu Belayar Kapal Ro-ro} \times \text{Mode Operasional ME Kapal Ro-ro} \times \text{Jumlah Kapal Ro-ro} \times 1/24 << \text{ton/da} >>$	Konsumsi Bahan Bakar Ro-ro Medium Speed
Rata-rata GT Kapal Ro-ro Jumlah Kapal Ro-ro Mode Operasional Kapal Ro-ro Persentase Jumlah Kapal Ro-ro High Speed Waktu Belayar Kapal Ro-ro	$(12.8340+0.00156 \times \text{Rata-rata GT Kapal Ro-ro}) \times \text{Persentase Jumlah Kapal Ro-ro High Speed} \times \text{Waktu Belayar Kapal Ro-ro} \times \text{Mode Operasional ME Kapal Ro-ro} \times \text{Jumlah Kapal Ro-ro} \times 1/24 << \text{ton/da} >>$	Konsumsi Bahan Bakar Ro-ro High Speed
Persentase Jumlah Kapal Ro-ro Slow Speed Persentase Jumlah Kapal Ro-ro Medium Speed	$1 - (\text{Persentase Jumlah Kapal Ro-ro Slow Speed} + \text{Persentase Jumlah Kapal Ro-ro Medium Speed})$	Persentase Jumlah Kapal Ro-ro High Speed
Laju RO Kapal Ro-ro RO Awal Kapal Ro-ro	$\text{MAX}(0 << 1/\text{yr} >>, \{ \text{laju pertumbuhan} << 1/\text{yr} >> \times \text{RO Awal Kapal Ro-ro} \})$	Penambahan RO Kapal Ro-ro
Penambahan RO Kapal Ro-ro RO Awal Kapal Ro-ro Randum Input RO Ro-ro	$\text{'RO Awal Kapal Ro-ro'} + \text{STEP}(\text{Random Input RO Ro-ro} + \text{Penambahan RO Kapal Ro-ro}, \text{STARTTIME} + 1 << \text{da} >>)$	RO Total Kapal Ro-ro
RO Total Kapal Ro-ro Mode Operasional AE Kapal Ro-ro Persentase AE Kapal Ro-ro Medium Speed Waktu Sandar Kapal Ro-ro	$0.2 \times \text{Mode Operasional AE Kapal Ro-ro} \times \text{RO Total Kapal Ro-ro} \times \text{Persentase AE Kapal Ro-ro Medium Speed} \times \text{Waktu Sandar Kapal Ro-ro} \times 0.001 << \text{ton/da} >>$	Konsumsi Bahan Bakar AE Ro-ro Medium Speed
RO Total Kapal Ro-ro Mode Operasional AE Kapal Ro-ro Persentase AE Kapal Ro-ro High Speed Waktu Sandar Kapal Ro-ro	$0.2 \times \text{Mode Operasional AE Kapal Ro-ro} \times \text{RO Total Kapal Ro-ro} \times \text{Persentase AE Kapal Ro-ro High Speed} \times \text{Waktu Sandar Kapal Ro-ro} \times 0.001 << \text{ton/da} >>$	Konsumsi Bahan Bakar AE Ro-ro High Speed
Persentase AE Kapal Ro-ro Medium Speed	$1 - \text{Persentase AE Kapal Ro-ro High Speed}$	Persentase AE Kapal Ro-ro High Speed
Konsumsi Bahan Bakar Ro-ro Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar AE Ro-ro Medium Speed	$\text{'Konsumsi Bahan Bakar AE Ro-ro Medium Speed'} + \text{'Konsumsi Bahan Bakar Ro-ro Medium Speed'}$	Konsumsi Bahan Bakar Total Ro-ro Medium Speed
Konsumsi Bahan Bakar Ro-ro High Speed Konsumsi Bahan Bakar AE Ro-ro High Speed	$\text{'Konsumsi Bahan Bakar AE Ro-ro High Speed'} + \text{'Konsumsi Bahan Bakar Ro-ro High Speed'}$	Konsumsi Bahan Bakar Total Ro-ro High Speed
Konsumsi Bahan Bakar Ro-ro Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Ro-ro Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Ro-ro High Speed Faktor Emisi VOC Ro-ro Slow Speed Faktor Emisi VOC Ro-ro Medium Speed Faktor Emisi VOC Ro-ro High Speed	$\text{'Konsumsi Bahan Bakar Ro-ro Slow Speed'} \times \text{Faktor Emisi VOC Ro-ro Slow Speed} + \text{'Konsumsi Bahan Bakar Total Ro-ro Medium Speed'} \times \text{Faktor Emisi VOC Ro-ro Medium Speed} + \text{'Konsumsi Bahan Bakar Total Ro-ro High Speed'} \times \text{Faktor Emisi VOC Ro-ro High Speed}$	Emisi VOC Ro-ro Per Hari
Konsumsi Bahan Bakar Ro-ro Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Ro-ro Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Ro-ro High Speed Faktor Emisi PM Ro-ro Slow Speed Faktor Emisi PM Ro-ro Medium Speed	$\text{'Konsumsi Bahan Bakar Ro-ro Slow Speed'} \times \text{Faktor Emisi PM Ro-ro Slow Speed} + \text{'Konsumsi Bahan Bakar Total Ro-ro Medium Speed'} \times \text{Faktor Emisi PM Ro-ro Medium Speed} + \text{'Konsumsi Bahan Bakar Total Ro-ro High Speed'} \times \text{Faktor Emisi PM Ro-ro High Speed}$	Emisi PM Ro-ro Per Hari



Variabel	Formulasi	Hasil
Faktor Emisi PM Ro-ro High Speed Konsumsi Bahan Bakar Ro-ro Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Ro-ro Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Ro-ro High Speed Faktor Emisi CO2 Ro-ro Slow Speed Faktor Emisi CO2 Ro-ro Medium Speed Faktor Emisi CO2 Ro-ro High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar Ro-ro Slow Speed'*Faktor Emisi CO2 Ro-ro Slow Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Ro-ro Medium Speed'*Faktor Emisi CO2 Ro-ro Medium Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Ro-ro High Speed'*Faktor Emisi CO2 Ro-ro High Speed'	Emisi CO2 Ro-ro Per Hari
Konsumsi Bahan Bakar Ro-ro Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Ro-ro Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Ro-ro High Speed Faktor Emisi CO Ro-ro Slow Speed Faktor Emisi CO Ro-ro Medium Speed Faktor Emisi CO Ro-ro High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar Ro-ro Slow Speed'*Faktor Emisi CO Ro-ro Slow Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Ro-ro Medium Speed'*Faktor Emisi CO Ro-ro Medium Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Ro-ro High Speed'*Faktor Emisi CO Ro-ro High Speed'	Emisi CO Ro-ro Per Hari
Konsumsi Bahan Bakar Ro-ro Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Ro-ro Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Ro-ro High Speed Faktor Emisi NOx Ro-ro Slow Speed Faktor Emisi NOx Ro-ro Medium Speed Faktor Emisi NOx Ro-ro High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar Ro-ro Slow Speed'*Faktor Emisi NOx Ro-ro Slow Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Ro-ro Medium Speed'*Faktor Emisi NOx Ro-ro Medium Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Ro-ro High Speed'*Faktor Emisi NOx Ro-ro High Speed'	Emisi NOx Ro-ro Per Hari
Konsumsi Bahan Bakar Ro-ro Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Ro-ro Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Ro-ro High Speed Faktor Emisi SOx Ro-ro Slow Speed Faktor Emisi SOx Ro-ro Medium Speed Faktor Emisi SOx Ro-ro High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar Ro-ro Slow Speed'*Faktor Emisi SOx Ro-ro Slow Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Ro-ro Medium Speed'*Faktor Emisi SOx Ro-ro Medium Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Ro-ro High Speed'*Faktor Emisi SOx Ro-ro High Speed'	Emisi SOx Ro-ro Per Hari
Laju Daya Kapal Ro-ro Penambahan Daya Kapal Ro-ro Daya Awal Kapal Ro-ro	(RANDOM(min,max,seed)+'Daya Awal Kapal Ro-ro'+ 'Penambahan Daya Kapal Ro-ro')	Daya Main Engine Kapal Ro-ro
Daya Main Engine Kapal Ro-ro Waktu Berlayar Kapal Ro-ro	('Daya Main Engine Kapal Ro-ro'*Waktu Belayar Kapal Ro-ro')	Daya Total Kapal Ro-ro
Daya Total Kapal Ro-ro Presentase Jumlah Kapal Ro-ro Slow Speed	'Daya Total Kapal Ro-ro'*Persentase Jumlah Kapal Ro-ro Slow Speed'	Daya ME Kapal Ro-ro Slow Speed
Daya Total Kapal Ro-ro Presentase Jumlah Kapal Ro-ro Medium Speed	'Daya Total Kapal Ro-ro'*Persentase Jumlah Kapal Ro-ro Medium Speed'	Daya ME Kapal Ro-ro Medium Speed
Daya Total Kapal Ro-ro Presentase Jumlah Kapal Ro-ro High Speed	'Daya Total Kapal Ro-ro'*Persentase Jumlah Kapal Ro-ro High Speed'	Daya ME Kapal Ro-ro High Speed
Daya ME Kapal Ro-ro Slow Speed Daya ME Kapal Ro-ro Medium Speed Daya ME Kapal Ro-ro High Speed Tier I Tier II	((({faktor VOC}<<ton/da>>)*Daya ME Kapal Ro-ro Slow Speed+ {faktor VOC}<<ton/da>>)*Daya ME Kapal Ro-ro Medium speed+ {faktor VOC}<<ton/da>>)*Daya ME Kapal Ro-ro High Speed)*Tier I)+ (({faktor VOC}<<ton/da>>)*Daya ME Kapal Ro-ro Slow Speed'+ {faktor VOC}<<ton/da>>)*Daya ME Kapal Ro-ro Medium Speed'+ {faktor VOC}<<ton/da>>)*Daya ME Kapal Ro-ro High Speed')*Tier II)	Emisi VOC Ro-ro MARPOL



Variabel	Formulasi	Hasil
Graph Pengurangan Emisi Emisi PM ME Ro-ro Per Hari Graph Pengurangan Emisi	'Graph Pengurangan Emisi'*Emisi PM ME Ro-ro Per Hari'	Pengurangan Emisi PM Ro-ro
Emisi SOx ME Ro-ro Per Hari Graph Pengurangan Emisi	'Graph Pengurangan Emisi'*Emisi SOx ME Ro-ro Per Hari'	Pengurangan Emisi SOx Ro-ro
Emisi CO2 ME Ro-ro Per Hari Graph Pengurangan Emisi	'Graph Pengurangan Emisi'*Emisi CO2 ME Ro-ro Per Hari'	Pengurangan Emisi CO2 Ro-ro
Emisi CO ME Ro-ro Per Hari Graph Pengurangan Emisi	'Graph Pengurangan Emisi'*Emisi CO ME Ro-ro Per Hari'	Pengurangan Emisi CO Ro-ro
Realisasi Emisi VOC Ro-ro MARPOL Pengurangan Emisi VOC Ro-ro	(Pengurangan Emisi VOC Ro-ro+'Realisasi Emisi VOC Ro-ro MARPOL')	Emisi VOC Kapal Ro-ro
Realisasi Emisi NOx Ro-ro MARPOL Pengurangan Emisi NOx Ro-ro	(Pengurangan Emisi NOx Ro-ro+'Realisasi Emisi NOx Ro-ro MARPOL')	Emisi NOx Kapal Ro-ro
Realisasi Emisi PM Ro-ro MARPOL Pengurangan Emisi PM Ro-ro	(Pengurangan Emisi PM Ro-ro+'Realisasi Emisi PM Ro-ro MARPOL')	Emisi PM Kapal Ro-ro
Realisasi Emisi SOx Ro-ro MARPOL Pengurangan Emisi SOx Ro-ro	(Pengurangan Emisi SOx Ro-ro+'Realisasi Emisi SOx Ro-ro MARPOL')	Emisi SOx Kapal Ro-ro
Realisasi Emisi CO2 Ro-ro MARPOL Pengurangan Emisi CO2 Ro-ro	(Pengurangan Emisi CO2 Ro-ro+'Realisasi Emisi CO2 Ro-ro MARPOL')	Emisi CO2 Kapal Ro-ro
Realisasi Emisi CO Ro-ro MARPOL Pengurangan Emisi CO Ro-ro	(Pengurangan Emisi CO Ro-ro+'Realisasi Emisi CO Ro-ro MARPOL')	Emisi CO Kapal Ro-ro
Laju RO Kapal Tongkang RO Awal Kapal Tongkang	MAX(0<<1/yr>>,{ laju pertumbuhan<<1/yr>>}*RO Awal Kapal Tongkang')	Penambahan RO Kapal Tongkang
Penambahan RO Kapal Tongkang RO Awal Kapal Tongkang Randum Input RO Tongkang	'RO Awal Kapal Tongkang'+ STEP('Random Input RO Tongkang'+Penambahan RO Kapal Tongkang', STARTTIME + 1<<da>>)	RO Total Kapal Tongkang
RO Total Kapal Tongkang Mode Operasional AE Kapal Tongkang Persentase AE Kapal Tongkang Medium Speed Waktu Sandar Kapal Tongkang	0.2*Mode Operasional AE Kapal Tongkang*'RO Total Kapal Tongkang'*Persentase AE Kapal Tongkang Medium Speed*'Waktu Sandar Kapal Tongkang'*0.001<<ton/da>>	Konsumsi Bahan Bakar AE Tongkang Medium Speed
RO Total Kapal Tongkang Mode Operasional AE Kapal Tongkang Persentase AE Kapal Tongkang High Speed Waktu Sandar Kapal Tongkang	0.2*Mode Operasional AE Kapal Tongkang*'RO Total Kapal Tongkang'*Persentase AE Kapal Tongkang High Speed*'Waktu Sandar Kapal Tongkang'*0.001<<ton/da>>	Konsumsi Bahan Bakar AE Tongkang High Speed
Persentase AE Kapal Tongkang Medium Speed	1-'Persentase AE Kapal Tongkang Medium Speed'	Persentase AE Kapal Tongkang High Speed
Konsumsi Bahan Bakar Tongkang Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar AE Tongkang Medium Speed	'Konsumsi Bahan Bakar AE Tongkang Medium Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Tongkang Medium Speed'	Konsumsi Bahan Bakar Total Tongkang Medium Speed
Konsumsi Bahan Bakar Tongkang High Speed Konsumsi Bahan Bakar AE Tongkang High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar AE Tongkang High Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Tongkang High Speed'	Konsumsi Bahan Bakar Total Tongkang High Speed
Konsumsi Bahan Bakar Total Tongkang Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Tongkang High Speed Faktor Emisi VOC Tongkang Medium Speed Faktor Emisi VOC Tongkang High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar Total Tongkang Medium Speed'*Faktor Emisi VOC Tongkang Medium Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Tongkang High Speed'*Faktor Emisi VOC Tongkang High Speed'	Emisi VOC Tongkang Per Hari
Konsumsi Bahan Bakar Total Tongkang Medium Speed	'Konsumsi Bahan Bakar Total Tongkang Medium Speed'*Faktor Emisi PM Tongkang Medium Speed'+	Emisi PM Tongkang Per Hari

Variabel	Formulasi	Hasil
Konsumsi Bahan Bakar Total Tongkang High Speed Faktor Emisi PM Tongkang Medium Speed Faktor Emisi PM Tongkang High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar Total Tongkang High Speed'*Faktor Emisi PM Tongkang High Speed'	
Konsumsi Bahan Bakar Total Tongkang Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Tongkang High Speed Faktor Emisi CO2 Tongkang Medium Speed Faktor Emisi CO2 Tongkang High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar Total Tongkang Medium Speed'*Faktor Emisi CO2 Tongkang Medium Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Tongkang High Speed'*Faktor Emisi CO2 Tongkang High Speed'	Emisi CO2 Tongkang Per Hari
Konsumsi Bahan Bakar Total Tongkang Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Tongkang High Speed Faktor Emisi CO Tongkang Medium Speed Faktor Emisi CO Tongkang High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar Total Tongkang Medium Speed'*Faktor Emisi CO Tongkang Medium Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Tongkang High Speed'*Faktor Emisi CO Tongkang High Speed'	Emisi CO Tongkang Per Hari
Konsumsi Bahan Bakar Total Tongkang Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Tongkang High Speed Faktor Emisi NOx Tongkang Medium Speed Faktor Emisi NOx Tongkang High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar Total Tongkang Medium Speed'*Faktor Emisi NOx Tongkang Medium Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Tongkang High Speed'*Faktor Emisi NOx Tongkang High Speed'	Emisi NOx Tongkang Per Hari
Konsumsi Bahan Bakar Total Tongkang Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Tongkang High Speed Faktor Emisi SOx Tongkang Medium Speed Faktor Emisi SOx Tongkang High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar Total Tongkang Medium Speed'*Faktor Emisi SOx Tongkang Medium Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Tongkang High Speed'*Faktor Emisi SOx Tongkang High Speed'	Emisi SOx Tongkang Per Hari
Laju GT Kapal Tug Boat GT Awal Kapal Tug Boat	MAX(0<<<1/yr>>,(laju pertumbuhan<<1/yr>>)*GT Awal Kapal Tug Boat')	Penambahan GT Kapal Tug Boat
Random Input GT Tug Boat GT Awal Kapal Tug Boat Penambahan GT Kapal Tug Boat	'GT Awal Kapal Tug Boat' + STEP(Random Input GT Tug Boat+'Penambahan GT Kapal Tug Boat', STARTTIME + 1<<<da>>)	GT Total Kapal Tug Boat
GT Total Kapal Tug Boat Jumlah Kapal Tug Boat	'GT Total Kapal Tug Boat'/Jumlah Kapal Tug Boat'	Rata-rata GT Kapal Tug Boat
Rata-rata GT Kapal Tug Boat Jumlah Kapal Tug Boat Mode Operasional Kapal Tug Boat Persentase Jumlah Kapal Tug Boat Slow Speed Waktu Belayar Kapal Tug Boat	(5.6511+0.01048*Rata-rata GT Kapal Tug Boat)*Persentase jumlah kapal Tug Boat Slow Speed*Mode Operasional Kapal Tug Boat*Jumlah Kapal Tug Boat*Waktu Belayar*1/24<<<ton/da>>	Konsumsi Bahan Bakar Slow Speed
Rata-rata GT Kapal Tug Boat Jumlah Kapal Tug Boat Mode Operasional Kapal Tug Boat Persentase Jumlah Kapal Tug Boat Medium Speed Waktu Belayar Kapal Tug Boat	(5.6511+0.01048*Rata-rata GT Kapal Tug Boat)*Persentase Jumlah Kapal Tug Boat Medium Speed*Waktu Belayar Kapal Tug Boat*Mode Operasional ME Kapal Tug Boat*Jumlah Kapal Tug Boat*1/24<<<ton/da>>	Konsumsi Bahan Bakar Tug Boat Medium Speed
Rata-rata GT Kapal Tug Boat Jumlah Kapal Tug Boat Mode Operasional Kapal Tug Boat Persentase Jumlah Kapal Tug Boat High Speed Waktu Belayar Kapal Tug Boat	(5.6511+0.01048*Rata-rata GT Kapal Tug Boat)*Persentase Jumlah Kapal Tug Boat High Speed*Waktu Belayar Kapal Tug Boat*Mode Operasional ME Kapal Tug Boat*Jumlah Kapal Tug Boat*1/24<<<ton/da>>	Konsumsi Bahan Bakar Tug Boat High Speed

Variabel	Formulasi	Hasil
Persentase Jumlah Kapal Tug Boat Slow Speed Persentase Jumlah Kapal Tug Boat Medium Speed	1- (Persentase Jumlah Kapal Tug Boat Slow Speed'+ Persentase Jumlah Kapal Tug Boat Medium Speed')	Persentase Jumlah Kapal Tug Boat High Speed
Laju RO Kapal Tug Boat RO Awal Kapal Tug Boat	MAX(0<<1/yr>>,{ laju pertumbuhan <<1/yr>>*RO Awal Kapal Tug Boat'})	Penambahan RO Kapal Tug Boat
Penambahan RO Kapal Tug Boat RO Awal Kapal Tug Boat Randum Input RO Tug Boat	'RO Awal Kapal Tug Boat' + STEP'(Random Input RO Tug Boat'+Penambahan RO Kapal Tug Boat', STARTTIME + 1<<da>>)	RO Total Kapal Tug Boat
RO Total Kapal Tug Boat Mode Operasional AE Kapal Tug Boat Persentase AE Kapal Tug Boat Medium Speed Waktu Sandar Kapal Tug Boat	0.2*Mode Operasional AE Kapal Tug Boat'*RO Total Kapal Tug Boat*Persentase AE Kapal Tug Boat Medium Speed*Waktu Sandar Kapal Tug Boat*0.001<<ton/da>>	Konsumsi Bahan Bakar AE Tug Boat Medium Speed
RO Total Kapal Tug Boat Mode Operasional AE Kapal Tug Boat Persentase AE Kapal Tug Boat High Speed Waktu Sandar Kapal Tug Boat	0.2*Mode Operasional AE Kapal Tug Boat'*RO Total Kapal Tug Boat*Persentase AE Kapal Tug Boat High Speed*Waktu Sandar Kapal Tug Boat*0.001<<ton/da>>	Konsumsi Bahan Bakar AE Tug Boat High Speed
Persentase AE Kapal Tug Boat Medium Speed	1-'Persentase AE Kapal Tug Boat Medium Speed'	Persentase AE Kapal Tug Boat High Speed
Konsumsi Bahan Bakar Tug Boat Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar AE Tug Boat Medium Speed	'Konsumsi Bahan Bakar AE Tug Boat Medium Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Tug Boat Medium Speed'	Konsumsi Bahan Bakar Total Tug Boat Medium Speed
Konsumsi Bahan Bakar Tug Boat High Speed Konsumsi Bahan Bakar AE Tug Boat High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar AE Tug Boat High Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Tug Boat High Speed'	Konsumsi Bahan Bakar Total Tug Boat High Speed
Konsumsi Bahan Bakar Tug Boat Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Tug Boat Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Tug Boat High Speed Faktor Emisi VOC Tug Boat Slow Speed Faktor Emisi VOC Tug Boat Medium Speed Faktor Emisi VOC Tug Boat High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar Tug Boat Slow Speed'*Faktor Emisi VOC Tug Boat Slow Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Tug Boat Medium Speed'*Faktor Emisi VOC Tug Boat Medium Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Tug Boat High Speed'*Faktor Emisi VOC Tug Boat High Speed'	Emisi VOC Tug Boat Per Hari
Konsumsi Bahan Bakar Tug Boat Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Tug Boat Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Tug Boat High Speed Faktor Emisi PM Tug Boat Slow Speed Faktor Emisi PM Tug Boat Medium Speed Faktor Emisi PM Tug Boat High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar Tug Boat Slow Speed'*Faktor Emisi PM Tug Boat Slow Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Tug Boat Medium Speed'*Faktor Emisi PM Tug Boat Medium Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Tug Boat High Speed'*Faktor Emisi PM Tug Boat High Speed'	Emisi PM Tug Boat Per Hari
Konsumsi Bahan Bakar Tug Boat Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Tug Boat Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Tug Boat High Speed Faktor Emisi CO2 Tug Boat Slow Speed Faktor Emisi CO2 Tug Boat Medium Speed	'Konsumsi Bahan Bakar Tug Boat Slow Speed'*Faktor Emisi CO2 Tug Boat Slow Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Tug Boat Medium Speed'*Faktor Emisi CO2 Tug Boat Medium Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Tug Boat High Speed'*Faktor Emisi CO2 Tug Boat High Speed'	Emisi CO2 Tug Boat Per Hari

Variabel	Formulasi	Hasil
Faktor Emisi CO <sub>2</sub> Tug Boat High Speed Konsumsi Bahan Bakar Tug Boat Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Tug Boat Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Tug Boat High Speed Faktor Emisi CO Tug Boat Slow Speed Faktor Emisi CO Tug Boat Medium Speed Faktor Emisi CO Tug Boat High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar Tug Boat Slow Speed'*Faktor Emisi CO Tug Boat Slow Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Tug Boat Medium Speed'*Faktor Emisi CO Tug Boat Medium Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Tug Boat High Speed'*Faktor Emisi CO Tug Boat High Speed'	Emisi CO Tug Boat Per Hari
Konsumsi Bahan Bakar Tug Boat Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Tug Boat Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Tug Boat High Speed Faktor Emisi NO <sub>x</sub> Tug Boat Slow Speed Faktor Emisi NO <sub>x</sub> Tug Boat Medium Speed Faktor Emisi NO <sub>x</sub> Tug Boat High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar Tug Boat Slow Speed'*Faktor Emisi NO <sub>x</sub> Tug Boat Slow Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Tug Boat Medium Speed'*Faktor Emisi NO <sub>x</sub> Tug Boat Medium Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Tug Boat High Speed'*Faktor Emisi NO <sub>x</sub> Tug Boat High Speed'	Emisi NO <sub>x</sub> Tug Boat Per Hari
Konsumsi Bahan Bakar Tug Boat Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Tug Boat Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Tug Boat High Speed Faktor Emisi SO <sub>x</sub> Tug Boat Slow Speed Faktor Emisi SO <sub>x</sub> Tug Boat Medium Speed Faktor Emisi SO <sub>x</sub> Tug Boat High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar Tug Boat Slow Speed'*Faktor Emisi SO <sub>x</sub> Tug Boat Slow Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Tug Boat Medium Speed'*Faktor Emisi SO <sub>x</sub> Tug Boat Medium Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Tug Boat High Speed'*Faktor Emisi SO <sub>x</sub> Tug Boat High Speed'	Emisi SO <sub>x</sub> Tug Boat Per Hari
Laju Daya Kapal Tug Boat Penambahan Daya Kapal Tug Boat Daya Awal Kapal Tug Boat	(RANDOM(min,max,seed)+Daya Awal Kapal Tug Boat'+Penambahan Daya Kapal Tug Boat')	Daya Main Engine Kapal Tug Boat
Daya Main Engine Kapal Tug Boat Waktu Berlayar Kapal Tug Boat	('Daya Main Engine Kapal Tug Boat'*Waktu Berlayar Kapal Tug Boat')	Daya Total Kapal Tug Boat
Daya Total Kapal Tug Boat Presentase Jumlah Kapal Tug Boat Slow Speed	'Daya Total Kapal Tug Boat'*Presentase Jumlah Kapal Tug Boat Slow Speed'	Daya ME Kapal Tug Boat Slow Speed
Daya Total Kapal Tug Boat Presentase Jumlah Kapal Tug Boat Medium Speed	'Daya Total Kapal Tug Boat'*Presentase Jumlah Kapal Tug Boat Medium Speed'	Daya ME Kapal Tug Boat Medium Speed
Daya Total Kapal Tug Boat Presentase Jumlah Kapal Tug Boat High Speed	'Daya Total Kapal Tug Boat'*Presentase Jumlah Kapal Tug Boat High Speed'	Daya ME Kapal Tug Boat High Speed
Daya ME Kapal Tug Boat Slow Speed Daya ME Kapal Tug Boat Medium Speed Daya ME Kapal Tug Boat High Speed Tier I Tier II	(( {faktor VOC} <<ton/da>>*Daya ME Kapal Tug Boat Slow Speed'+ {faktor VOC} <<ton/da>>*Daya ME Kapal Tug Boat Medium speed'+ {faktor VOC} <<ton/da>>*Daya ME Kapal Tug Boat High Speed')*Tier I)+ (( {faktor VOC} <<ton/da>>*Daya ME Kapal Tug Boat Slow Speed'+ {faktor VOC} <<ton/da>>*Daya ME Kapal Tug Boat Medium Speed'+ {faktor VOC} <<ton/da>>*Daya ME Kapal Tug Boat High Speed')*Tier II)	Emisi VOC Tug Boat MARPOL
Daya ME Kapal Tug Boat Slow Speed Daya ME Kapal Tug Boat Medium Speed Daya ME Kapal Tug Boat High Speed Tier I	(( {faktor NO <sub>x</sub> } <<ton/da>>*Daya ME Kapal Tug Boat Slow Speed'+ {faktor NO <sub>x</sub> } <<ton/da>>*Daya ME Kapal Tug Boat Medium Speed'+ {faktor NO <sub>x</sub> } <<ton/da>>*Daya ME Kapal Tug Boat High Speed')*Tier I)+(( {faktor NO <sub>x</sub> } <<ton/da>>*Daya	Emisi NO <sub>x</sub> Tug Boat MARPOL

Variabel	Formulasi	Hasil
Tier II	ME Kapal Tug Boat Slow Speed+{faktor NOx}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tug Boat Medium Speed+{faktor NOx}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tug Boat High Speed)*Tier II)	
Daya ME Kapal Tug Boat Slow Speed Daya ME Kapal Tug Boat Medium Speed Daya ME Kapal Tug Boat High Speed Tier I Tier II	((({faktor PM}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tug Boat Slow Speed+{faktor PM}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tug Boat Medium Speed+{faktor PM}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tug Boat High Speed)*Tier I)+(( {faktor PM}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tug Boat Slow Speed+{faktor PM}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tug Boat Medium Speed+{faktor PM}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tug Boat High Speed)*Tier II)	Emisi PM Tug Boat MARPOL
Daya ME Kapal Tug Boat Slow Speed Daya ME Kapal Tug Boat Medium Speed Daya ME Kapal Tug Boat High Speed Tier I Tier II	((({faktor SOx}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tug Boat Slow Speed+{faktor SOx}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tug Boat Medium Speed+{faktor SOx}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tug Boat High Speed)*Tier I)+ (({faktor SOx}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tug Boat Slow Speed+{faktor SOx}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tug Boat Medium Speed+{faktor SOx}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tug Boat High Speed)*Tier II)	Emisi SOx Tug Boat MARPOL
Daya ME Kapal Tug Boat Slow Speed Daya ME Kapal Tug Boat Medium Speed Daya ME Kapal Tug Boat High Speed Tier I Tier II	((({faktor CO2}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tug Boat Slow Speed+{faktor CO2}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tug Boat Medium Speed+ {faktor CO2}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tug Boat High Speed)*Tier I)+(( {faktor CO2}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tug Boat Slow Speed+{faktor CO2}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tug Boat Medium Speed+{faktor CO2}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tug Boat High Speed)*Tier II)	Emisi CO2 Tug Boat MARPOL
Daya ME Kapal Tug Boat Slow Speed Daya ME Kapal Tug Boat Medium Speed Daya ME Kapal Tug Boat High Speed Tier I Tier II	((({faktor CO}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tug Boat Slow Speed+{faktor CO}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tug Boat Medium Speed+ {faktor CO}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tug Boat High Speed)*Tier I)+ (({faktor CO}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tug Boat Slow Speed+{faktor CO}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tug Boat Medium Speed+{faktor CO}<<ton/da>>*Daya ME Kapal Tug Boat High Speed)*Tier II)	Emisi CO Tug Boat MARPOL
Emisi VOC Tug Boat MARPOL Realisasi MARPOL Annex VI	'Emisi VOC Tug Boat MARPOL'*Realisasi MARPOL Annex VI'	Realisasi Emisi VOC Tug Boat MARPOL
Emisi NOx Tug Boat MARPOL Realisasi MARPOL Annex VI	'Emisi NOx Tug Boat MARPOL'*Realisasi MARPOL Annex VI'	Realisasi Emisi NOx Tug Boat MARPOL
Emisi PM Tug Boat MARPOL Realisasi MARPOL Annex VI	'Emisi PM Tug Boat MARPOL'*Realisasi MARPOL Annex VI'	Realisasi Emisi PM Tug Boat MARPOL
Emisi SOx Tug Boat MARPOL Realisasi MARPOL Annex VI	'Emisi SOx Tug Boat MARPOL'*Realisasi MARPOL Annex VI'	Realisasi Emisi SOx Tug Boat MARPOL
Emisi CO2 Tug Boat MARPOL Realisasi MARPOL Annex VI	'Emisi CO2 Tug Boat MARPOL'*Realisasi MARPOL Annex VI'	Realisasi Emisi CO2 Tug Boat MARPOL
Emisi CO Tug Boat MARPOL Realisasi MARPOL Annex VI	'Emisi CO Tug Boat MARPOL'*Realisasi MARPOL Annex VI'	Realisasi Emisi CO Tug Boat MARPOL
Emisi VOC ME Tug Boat Per Hari Graph Pengurangan Emisi	'Graph Pengurangan Emisi'*Emisi VOC ME Tug Boat Per Hari'	Pengurangan Emisi VOC Tug Boat
Emisi NOx ME Tug Boat Per Hari Graph Pengurangan Emisi	'Graph Pengurangan Emisi'*Emisi NOx ME Tug Boat Per Hari'	Pengurangan Emisi NOx Tug Boat
Emisi PM ME Tug Boat Per Hari Graph Pengurangan Emisi	'Graph Pengurangan Emisi'*Emisi PM ME Tug Boat Per Hari'	Pengurangan Emisi PM Tug Boat
Emisi SOx ME Tug Boat Per Hari Graph Pengurangan Emisi	'Graph Pengurangan Emisi'*Emisi SOx ME Tug Boat Per Hari'	Pengurangan Emisi SOx Tug Boat

Variabel	Formulasi	Hasil
Emisi CO2 ME Tug Boat Per Hari Graph Pengurangan Emisi	'Graph Pengurangan Emisi'*Emisi CO2 ME Tug Boat Per Hari'	Pengurangan Emisi CO2 Tug Boat
Emisi CO ME Tug Boat Per Hari Graph Pengurangan Emisi	'Graph Pengurangan Emisi'*Emisi CO ME Tug Boat Per Hari'	Pengurangan Emisi CO Tug Boat
Realisasi Emisi VOC Tug Boat MARPOL Pengurangan Emisi VOC Tug Boat	('Pengurangan Emisi VOC Tug Boat'+Realisasi Emisi VOC Tug Boat MARPOL')	Emisi VOC Kapal Tug Boat
Realisasi Emisi NOx Tug Boat MARPOL Pengurangan Emisi NOx Tug Boat	('Pengurangan Emisi NOx Tug Boat'+Realisasi Emisi NOx Tug Boat MARPOL')	Emisi NOx Kapal Tug Boat
Realisasi Emisi PM Tug Boat MARPOL Pengurangan Emisi PM Tug Boat	('Pengurangan Emisi PM Tug Boat'+Realisasi Emisi PM Tug Boat MARPOL')	Emisi PM Kapal Tug Boat
Realisasi Emisi SOx Tug Boat MARPOL Pengurangan Emisi SOx Tug Boat	('Pengurangan Emisi SOx Tug Boat'+Realisasi Emisi SOx Tug Boat MARPOL')	Emisi SOx Kapal Tug Boat
Realisasi Emisi CO2 Tug Boat MARPOL Pengurangan Emisi CO2 Tug Boat	('Pengurangan Emisi CO2 Tug Boat'+Realisasi Emisi CO2 Tug Boat MARPOL')	Emisi CO2 Kapal Tug Boat
Realisasi Emisi CO Tug Boat MARPOL Pengurangan Emisi CO Tug Boat	('Pengurangan Emisi CO Tug Boat'+Realisasi Emisi CO Tug Boat MARPOL')	Emisi CO Kapal Tug Boat
Laju GT Kapal Lain GT Awal Kapal Lain	MAX(0<<<1/yr>>, (laju pertumbuhan<<1/yr>>*GT Awal Kapal Lain')	Penambahan GT Kapal Lain
Random Input GT Kapal Lain GT Awal Kapal Lain Penambahan GT Kapal Lain GT Total Kapal Lain	'GT Awal Kapal Lain' + STEP('Random Input GT Kapal Lain'+Penambahan GT Kapal Lain', STARTTIME + 1<<<da>>)	GT Total Kapal Lain
Jumlah Kapal Lain	'GT Total Kapal Lain'/'Jumlah Kapal Lain'	Rata-rata GT Kapal Lain
Rata-rata GT Kapal Lain Jumlah Kapal Lain Mode Operasional Kapal Lain Persentase Jumlah Kapal Lain Slow Speed Waktu Belayar Kapal Lain	(9.7126+0.00091*'Rata-rata GT Kapal Lain')*Persentase jumlah Kapal Lain Slow Speed*'Mode Operasional Kapal Lain'*Jumlah Kapal Lain*'Waktu Belayar'*1/24<<<ton/da>>	Konsumsi Bahan Bakar Slow Speed
Rata-rata GT Kapal Lain Jumlah Kapal Lain Mode Operasional Kapal Lain Persentase Jumlah Kapal Lain Medium Speed Waktu Belayar Kapal Lain	(9.7126+0.00091*'Rata-rata GT Kapal Lain')*Persentase Jumlah Kapal Lain Medium Speed*'Waktu Belayar Kapal Lain'*Mode Operasional ME Kapal Lain*'Jumlah Kapal Lain'*1/24<<<ton/da>>	Konsumsi Bahan Bakar Kapal Lain Medium Speed
Rata-rata GT Kapal Lain Jumlah Kapal Lain Mode Operasional Kapal Lain Persentase Jumlah Kapal Lain High Speed Waktu Belayar Kapal Lain	(9.7126+0.00091*'Rata-rata GT Kapal Lain')*Persentase Jumlah Kapal Lain High Speed*'Waktu Belayar Kapal Lain'*Mode Operasional ME Kapal Lain*'Jumlah Kapal Lain'*1/24<<<ton/da>>	Konsumsi Bahan Bakar Kapal Lain High Speed
Persentase Jumlah Kapal Lain Slow Speed Persentase Jumlah Kapal Lain Medium Speed	1- (Persentase Jumlah Kapal Lain Slow Speed'+Persentase Jumlah Kapal Lain Medium Speed')	Persentase Jumlah Kapal Lain High Speed
Laju RO Kapal Lain RO Awal Kapal Lain	MAX(0<<<1/yr>>,( laju pertumbuhan <<1/yr>>*RO Awal Kapal Lain')	Penambahan RO Kapal Lain
Penambahan RO Kapal Lain RO Awal Kapal Lain Random Input RO Kapal Lain RO Total Kapal Lain	'RO Awal Kapal Lain' + STEP('Random Input RO Kapal Lain'+Penambahan RO Kapal Lain', STARTTIME + 1<<<da>>)	RO Total Kapal Lain
Mode Operasional AE Kapal Lain Persentase AE Kapal Lain Medium Speed Waktu Sandar Kapal Lain	0.2*'Mode Operasional AE Kapal Lain'*RO Total Kapal Lain*'Persentase AE Kapal Lain Medium Speed'*Waktu Sandar Kapal Lain'*0.001<<<ton/da>>	Konsumsi Bahan Bakar AE Kapal Lain Medium Speed



Variabel	Formulasi	Hasil
RO Total Kapal Lain Mode Operasional AE Kapal Lain Persentase AE Kapal Lain High Speed Waktu Sandar Kapal Lain	$0.2 * \text{Mode Operasional AE Kapal Lain} * \text{RO Total Kapal Lain} * \text{Persentase AE Kapal Lain High Speed} * \text{Waktu Sandar Kapal Lain} * 0.001 << \text{ton/da} >>$	Konsumsi Bahan Bakar AE Kapal Lain High Speed
Persentase AE Kapal Lain Medium Speed	$1 - \text{Persentase AE Kapal Lain Medium Speed}$	Persentase AE Kapal Lain High Speed
Konsumsi Bahan Bakar Kapal Lain Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar AE Kapal Lain Medium Speed	$\text{Konsumsi Bahan Bakar AE Kapal Lain Medium Speed} + \text{Konsumsi Bahan Bakar Kapal Lain Medium Speed}$	Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Lain Medium Speed
Konsumsi Bahan Bakar Kapal Lain High Speed Konsumsi Bahan Bakar AE Kapal Lain High Speed	$\text{Konsumsi Bahan Bakar AE Kapal Lain High Speed} + \text{Konsumsi Bahan Bakar Kapal Lain High Speed}$	Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Lain High Speed
Konsumsi Bahan Bakar Kapal Lain Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Lain Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Lain High Speed Faktor Emisi VOC Kapal Lain Slow Speed Faktor Emisi VOC Kapal Lain Medium Speed Faktor Emisi VOC Kapal Lain High Speed	$\text{Konsumsi Bahan Bakar Kapal Lain Slow Speed} * \text{Faktor Emisi VOC Kapal Lain Slow Speed} + \text{Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Lain Medium Speed} * \text{Faktor Emisi VOC Kapal Lain Medium Speed} + \text{Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Lain High Speed} * \text{Faktor Emisi VOC Kapal Lain High Speed}$	Emisi VOC Kapal Lain Per Hari
Konsumsi Bahan Bakar Kapal Lain Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Lain Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Lain High Speed Faktor Emisi PM Kapal Lain Slow Speed Faktor Emisi PM Kapal Lain Medium Speed Faktor Emisi PM Kapal Lain High Speed	$\text{Konsumsi Bahan Bakar Kapal Lain Slow Speed} * \text{Faktor Emisi PM Kapal Lain Slow Speed} + \text{Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Lain Medium Speed} * \text{Faktor Emisi PM Kapal Lain Medium Speed} + \text{Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Lain High Speed} * \text{Faktor Emisi PM Kapal Lain High Speed}$	Emisi PM Kapal Lain Per Hari
Konsumsi Bahan Bakar Kapal Lain Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Lain Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Lain High Speed Faktor Emisi CO2 Kapal Lain Slow Speed Faktor Emisi CO2 Kapal Lain Medium Speed Faktor Emisi CO2 Kapal Lain High Speed	$\text{Konsumsi Bahan Bakar Kapal Lain Slow Speed} * \text{Faktor Emisi CO2 Kapal Lain Slow Speed} + \text{Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Lain Medium Speed} * \text{Faktor Emisi CO2 Kapal Lain Medium Speed} + \text{Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Lain High Speed} * \text{Faktor Emisi CO2 Kapal Lain High Speed}$	Emisi CO2 Kapal Lain Per Hari
Konsumsi Bahan Bakar Kapal Lain Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Lain Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Lain High Speed Faktor Emisi CO Kapal Lain Slow Speed Faktor Emisi CO Kapal Lain Medium Speed Faktor Emisi CO Kapal Lain High Speed	$\text{Konsumsi Bahan Bakar Kapal Lain Slow Speed} * \text{Faktor Emisi CO Kapal Lain Slow Speed} + \text{Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Lain Medium Speed} * \text{Faktor Emisi CO Kapal Lain Medium Speed} + \text{Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Lain High Speed} * \text{Faktor Emisi CO Kapal Lain High Speed}$	Emisi CO Kapal Lain Per Hari
Konsumsi Bahan Bakar Kapal Lain Slow Speed	$\text{Konsumsi Bahan Bakar Kapal Lain Slow Speed} * \text{Faktor Emisi NOx Kapal Lain Slow Speed} +$	Emisi NOx Kapal Lain Per Hari

Variabel	Formulasi	Hasil
Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Lain Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Lain High Speed Faktor Emisi NOx Kapal Lain Slow Speed Faktor Emisi NOx Kapal Lain Medium Speed Faktor Emisi NOx Kapal Lain High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Lain Medium Speed'*Faktor Emisi NOx Kapal Lain Medium Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Lain High Speed'*Faktor Emisi NOx Kapal Lain High Speed'	
Konsumsi Bahan Bakar Kapal Lain Slow Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Lain Medium Speed Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Lain High Speed Faktor Emisi SOx Kapal Lain Slow Speed Faktor Emisi SOx Kapal Lain Medium Speed Faktor Emisi SOx Kapal Lain High Speed	'Konsumsi Bahan Bakar Kapal Lain Slow Speed'*Faktor Emisi SOx Kapal Lain Slow Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Lain Medium Speed'*Faktor Emisi SOx Kapal Lain Medium Speed'+ 'Konsumsi Bahan Bakar Total Kapal Lain High Speed'*Faktor Emisi SOx Kapal Lain High Speed'	Emisi SOx Kapal Lain Per Hari
Laju Daya Kapal Lain Penambahan Daya Kapal Lain Daya Awal Kapal Lain	(RANDOM(min,max,seed)+Daya Awal Kapal Lain'+Penambahan Daya Kapal Lain')	Daya Main Engine Kapal Lain
Daya Main Engine Kapal Lain Waktu Berlayar Kapal Lain	('Daya Main Engine Kapal Lain'*Waktu Belayar Kapal Lain')	Daya Total Kapal Lain
Daya Total Kapal Lain Presentase Jumlah Kapal Lain Slow Speed	'Daya Total Kapal Lain'*Persentase Jumlah Kapal Lain Slow Speed'	Daya ME Kapal Lain Slow Speed
Daya Total Kapal Lain Presentase Jumlah Kapal Lain Medium Speed	'Daya Total Kapal Lain'*Persentase Jumlah Kapal Lain Medium Speed'	Daya ME Kapal Lain Medium Speed
Daya Total Kapal Lain Presentase Jumlah Kapal Lain High Speed	'Daya Total Kapal Lain'*Persentase Jumlah Kapal Lain High Speed'	Daya ME Kapal Lain High Speed
Daya ME Kapal Kapal Lain Slow Speed Daya ME Kapal Kapal Lain Medium Speed Daya ME Kapal Kapal Lain High Speed Tier I Tier II	(( {faktor VOC} <<ton/da>> *Daya ME Kapal Kapal Lain Slow Speed'+ {faktor VOC} <<ton/da>> *Daya ME Kapal Kapal Lain Medium Speed'+ {faktor VOC} <<ton/da>> *Daya ME Kapal Kapal Lain High Speed') *Tier I)+ (( {faktor VOC} <<ton/da>> *Daya ME Kapal Kapal Lain Slow Speed'+ {faktor VOC} <<ton/da>> *Daya ME Kapal Kapal Lain Medium Speed'+ {faktor VOC} <<ton/da>> *Daya ME Kapal Kapal Lain High Speed') *Tier II)	Emisi VOC Kapal Lain MARPOL
Daya ME Kapal Kapal Lain Slow Speed Daya ME Kapal Kapal Lain Medium Speed Daya ME Kapal Kapal Lain High Speed Tier I Tier II	(( {faktor NOx} <<ton/da>> *Daya ME Kapal Kapal Lain Slow Speed'+ {faktor NOx} <<ton/da>> *Daya ME Kapal Kapal Lain Medium Speed'+ {faktor NOx} <<ton/da>> *Daya ME Kapal Kapal Lain High Speed') *Tier I)+ (( {faktor NOx} <<ton/da>> *Daya ME Kapal Kapal Lain Slow Speed'+ {faktor NOx} <<ton/da>> *Daya ME Kapal Kapal Lain Medium Speed'+ {faktor NOx} <<ton/da>> *Daya ME Kapal Kapal Lain High Speed') *Tier II)	Emisi NOx Kapal Lain MARPOL
Daya ME Kapal Kapal Lain Slow Speed Daya ME Kapal Kapal Lain Medium Speed Daya ME Kapal Kapal Lain High Speed Tier I Tier II	(( {faktor PM} <<ton/da>> *Daya ME Kapal Kapal Lain Slow Speed'+ {faktor PM} <<ton/da>> *Daya ME Kapal Kapal Lain Medium Speed'+ {faktor PM} <<ton/da>> *Daya ME Kapal Kapal Lain High Speed') *Tier I)+ (( {faktor PM} <<ton/da>> *Daya ME Kapal Kapal Lain Slow Speed'+ {faktor PM} <<ton/da>> *Daya ME Kapal Kapal Lain Medium Speed'+ {faktor PM} <<ton/da>> *Daya ME Kapal Kapal Lain High Speed') *Tier II)	Emisi PM Kapal Lain MARPOL
Daya ME Kapal Kapal Lain Slow Speed Daya ME Kapal Kapal Lain Medium Speed	(( {faktor SOx} <<ton/da>> *Daya ME Kapal Kapal Lain Slow Speed'+ {faktor SOx} <<ton/da>> *Daya	Emisi SOx Kapal Lain MARPOL

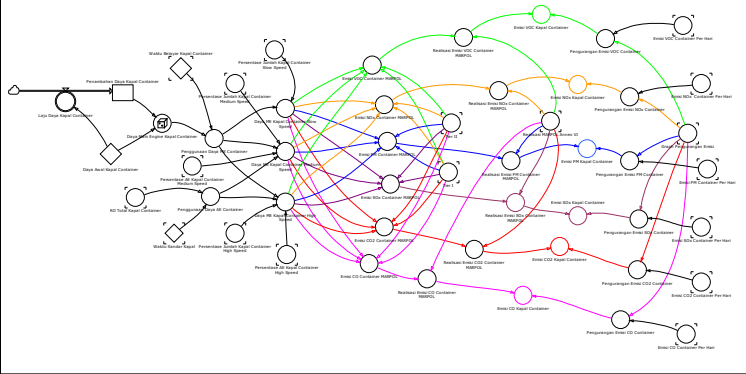
Variabel	Formulasi	Hasil
Daya ME Kapal Kapal Lain High Speed Tier I Tier II	ME Kapal Kapal Lain Medium Speed'+{faktor SOx}<<ton/da>>*'Daya ME Kapal Kapal Lain High Speed')*Tier I)+ (((faktor SOx)<<ton/da>>*'Daya ME Kapal Kapal Lain Slow Speed'+{faktor SOx}<<ton/da>>*'Daya ME Kapal Kapal Lain Medium Speed'+{faktor SOx}<<ton/da>>*'Daya ME Kapal Kapal Lain High Speed')*Tier II)	
Daya ME Kapal Kapal Lain Slow Speed Daya ME Kapal Kapal Lain Medium Speed Daya ME Kapal Kapal Lain High Speed Tier I Tier II	((({faktor CO2}<<ton/da>>*'Daya ME Kapal Kapal Lain Slow Speed'+{faktor CO2}<<ton/da>>*'Daya ME Kapal Kapal Lain Medium Speed'+ {faktor CO2}<<ton/da>>*'Daya ME Kapal Kapal Lain High Speed')*Tier I)+(( {faktor CO2}<<ton/da>>*'Daya ME Kapal Kapal Lain Slow Speed'+{faktor CO2}<<ton/da>>*'Daya ME Kapal Kapal Lain Medium Speed'+{faktor CO2}<<ton/da>>*'Daya ME Kapal Kapal Lain High Speed')*Tier II)	Emisi CO2 Kapal Lain MARPOL
Daya ME Kapal Kapal Lain Slow Speed Daya ME Kapal Kapal Lain Medium Speed Daya ME Kapal Kapal Lain High Speed Tier I Tier II	((({faktor CO}<<ton/da>>*'Daya ME Kapal Kapal Lain Slow Speed'+{faktor CO}<<ton/da>>*'Daya ME Kapal Kapal Lain Medium Speed'+ {faktor CO}<<ton/da>>*'Daya ME Kapal Kapal Lain High Speed')*Tier I)+ (((faktor CO)<<ton/da>>*'Daya ME Kapal Kapal Lain Slow Speed'+{faktor CO}<<ton/da>>*'Daya ME Kapal Kapal Lain Medium Speed'+{faktor CO}<<ton/da>>*'Daya ME Kapal Kapal Lain High Speed')*Tier II)	Emisi CO Kapal Lain MARPOL
Emisi VOC Kapal Lain MARPOL Realisasi MARPOL Annex VI	'Emisi VOC Kapal Lain MARPOL'*Realisasi MARPOL Annex VI'	Realisasi Emisi VOC Kapal Lain MARPOL
Emisi NOx Kapal Lain MARPOL Realisasi MARPOL Annex VI	'Emisi NOx Kapal Lain MARPOL'*Realisasi MARPOL Annex VI'	Realisasi Emisi NOx Kapal Lain MARPOL
Emisi PM Kapal Lain MARPOL Realisasi MARPOL Annex VI	'Emisi PM Kapal Lain MARPOL'*Realisasi MARPOL Annex VI'	Realisasi Emisi PM Kapal Lain MARPOL
Emisi SOx Kapal Lain MARPOL Realisasi MARPOL Annex VI	'Emisi SOx Kapal Lain MARPOL'*Realisasi MARPOL Annex VI'	Realisasi Emisi SOx Kapal Lain MARPOL
Emisi CO2 Kapal Lain MARPOL Realisasi MARPOL Annex VI	'Emisi CO2 Kapal Lain MARPOL'*Realisasi MARPOL Annex VI'	Realisasi Emisi CO2 Kapal Lain MARPOL
Emisi CO Kapal Lain MARPOL Realisasi MARPOL Annex VI	'Emisi CO Kapal Lain MARPOL'*Realisasi MARPOL Annex VI'	Realisasi Emisi CO Kapal Lain MARPOL
Emisi VOC ME Kapal Lain Per Hari Graph Pengurangan Emisi	'Graph Pengurangan Emisi'*Emisi VOC ME Kapal Lain Per Hari'	Pengurangan Emisi VOC Kapal Lain
Emisi NOx ME Kapal Lain Per Hari Graph Pengurangan Emisi	'Graph Pengurangan Emisi'*Emisi NOx ME Kapal Lain Per Hari'	Pengurangan Emisi NOx Kapal Lain
Emisi PM ME Kapal Lain Per Hari Graph Pengurangan Emisi	'Graph Pengurangan Emisi'*Emisi PM ME Kapal Lain Per Hari'	Pengurangan Emisi PM Kapal Lain
Emisi SOx ME Kapal Lain Per Hari Graph Pengurangan Emisi	'Graph Pengurangan Emisi'*Emisi SOx ME Kapal Lain Per Hari'	Pengurangan Emisi SOx Kapal Lain
Emisi CO2 ME Kapal Lain Per Hari Graph Pengurangan Emisi	'Graph Pengurangan Emisi'*Emisi CO2 ME Kapal Lain Per Hari'	Pengurangan Emisi CO2 Kapal Lain
Emisi CO ME Kapal Lain Per Hari Graph Pengurangan Emisi	'Graph Pengurangan Emisi'*Emisi CO ME Kapal Lain Per Hari'	Pengurangan Emisi CO Kapal Lain
Realisasi Emisi VOC Kapal Lain MARPOL Pengurangan Emisi VOC Kapal Lain	('Pengurangan Emisi VOC Kapal Lain'+Realisasi Emisi VOC Kapal Lain MARPOL')	Emisi VOC Kapal Lain
Realisasi Emisi NOx Kapal Lain MARPOL Pengurangan Emisi NOx Kapal Lain	('Pengurangan Emisi NOx Kapal Lain'+Realisasi Emisi NOx Kapal Lain MARPOL')	Emisi NOx Kapal Lain
Realisasi Emisi PM Kapal Lain MARPOL Pengurangan Emisi PM Kapal Lain	('Pengurangan Emisi PM Kapal Lain'+Realisasi Emisi PM Kapal Lain MARPOL')	Emisi PM Kapal Lain
Realisasi Emisi SOx Kapal Lain MARPOL Pengurangan Emisi SOx Kapal Lain	('Pengurangan Emisi SOx Kapal Lain'+Realisasi Emisi SOx Kapal Lain MARPOL')	Emisi SOx Kapal Lain

Variabel	Formulasi	Hasil
Realisasi Emisi CO2 Kapal Lain MARPOL Pengurangan Emisi CO2 Kapal Lain	(Pengurangan Emisi CO2 Kapal Lain'+Realisasi Emisi CO2 Kapal Lain MARPOL')	Emisi CO2 Kapal Lain
Realisasi Emisi CO Kapal Lain MARPOL Pengurangan Emisi CO Kapal Lain	(Pengurangan Emisi CO Kapal Lain'+Realisasi Emisi CO Kapal Lain MARPOL')	Emisi CO Kapal Lain

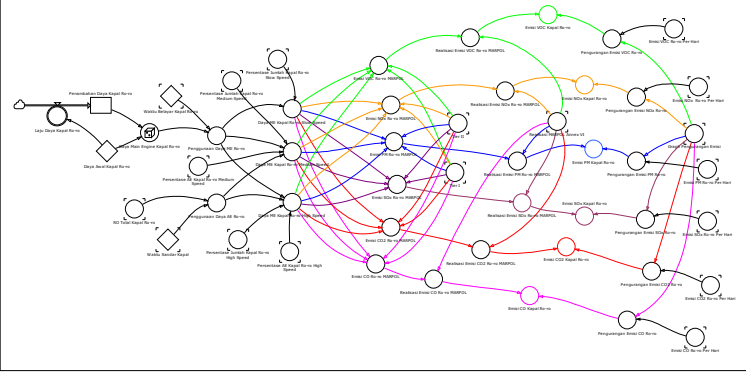
**LAMPIRAN D**  
**MODEL SKENARIO DINAMIKA**  
**SISTEM**



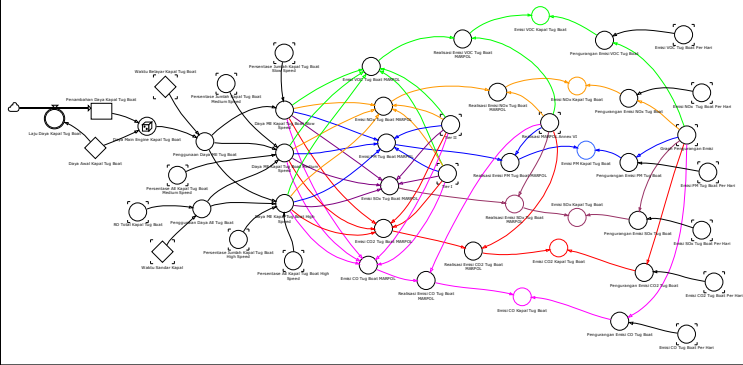
### Submodel Skenario Kapal Container



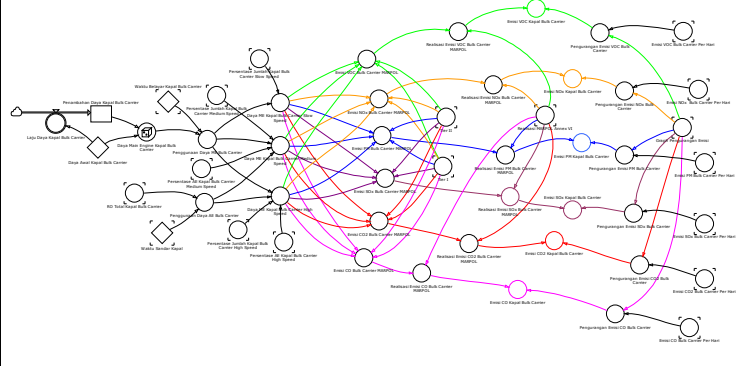
### Submodel Skenario Kapal Ro-ro



### Submodel Skenario Kapal Tug Boat



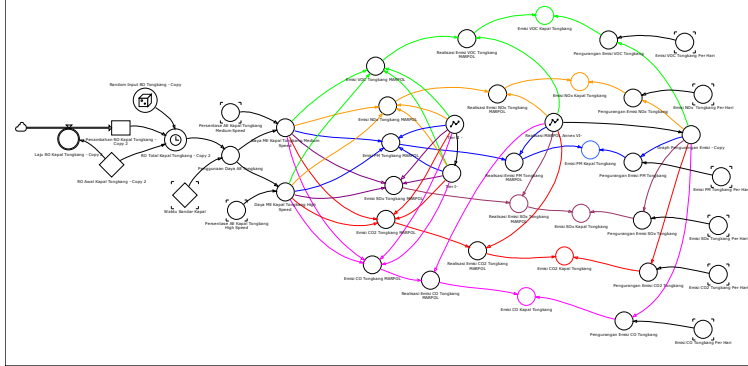
### Submodel Skenario Kapal Bulk Carrier



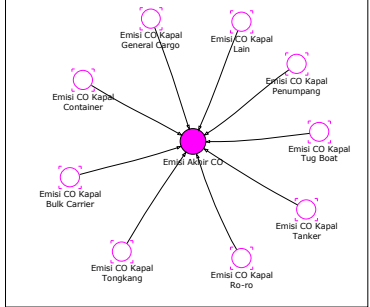




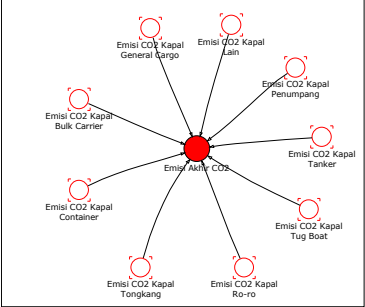
### Submodel Skenario Kapal Tongkang



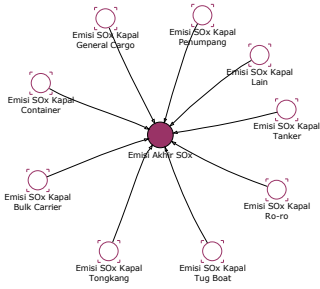
### Submodel Emisi Akhir CO



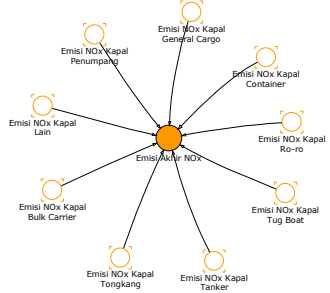
### Submodel Emisi Akhir CO2



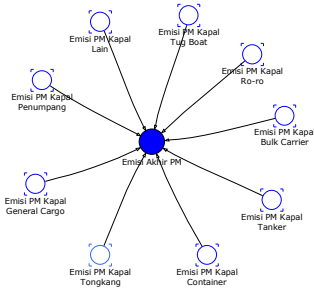
### Submodel Emisi Akhir SOx



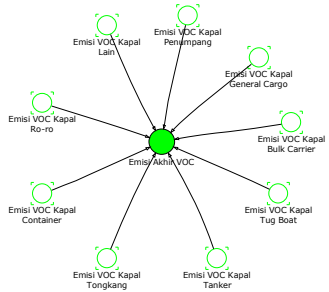
### Submodel Emisi Akhir NOx



### Submodel Emisi Akhir PM



### Submodel Emisi Akhir VOC



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

Berdasarkan hasil simulasi emisi gas buang kapal di area pelabuhan Tanjung Perak Surabaya dengan metode dinamika sistem yang telah dilakukan, berikut adalah beberapa kesimpulan dan saran yang dapat diberikan.

#### **5.1 Kesimpulan**

Berikut adalah kesimpulan dari hasil analisis gas buang kapal dengan metode dinamika sistem:

1. Pemodelan emisi di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya dapat dilakukan dengan menggunakan metode dinamika sistem dengan *output* berupa jumlah emisi yang dihasilkan per hari.
2. Analisa hasil emisi di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya sebelum dan sesudah dibangun Terminal Teluk Lamong adalah sebagai berikut:
  - a. Emisi yang dihasilkan oleh gas buang kapal sebelum dibangun Terminal Teluk Lamong adalah emisi CO sebesar 33,795 ton/hari, CO<sub>2</sub> sebesar 990,926 ton/hari, PM sebesar 0,416 ton/hari, SO<sub>x</sub> sebesar 9,290 ton/hari, NO<sub>x</sub> sebesar 8,081 ton/hari, dan VOC sebesar 1,313 ton/hari.
  - b. Emisi yang dihasilkan oleh gas buang kapal setelah dibangun Terminal Teluk Lamong adalah emisi CO sebesar 30,328 ton/hari, CO<sub>2</sub> sebesar 890,354 ton/hari, PM sebesar 0,374 ton/hari, SO<sub>x</sub> sebesar 8,347 ton/hari, NO<sub>x</sub> sebesar 7,270 ton/hari, dan VOC sebesar 0,789 ton/hari.
  - c. Dibangunnya Terminal Teluk Lamong membuat jumlah emisi yang dihasilkan di Pelabuhan Tanjung

menjadi berkurang. Hal ini disebabkan karena waktu tunggu kapal di pelabuhan semakin singkat meskipun dengan jumlah kapal yang lebih banyak dari sebelum dibangun Terminal Teluk Lamong.

3. Penerapan MARPOL Annex VI dilakukan dengan memberikan batas maksimal emisi yang boleh dikeluarkan oleh kapal. Dengan dilakukannya penerapan MARPOL Annex VI di Indonesia dapat mengurangi emisi sekitar 16% - 29%. Jumlah emisi CO dapat dikurangi sampai dengan 16%, CO<sub>2</sub> dapat dikurangi sampai 18%, PM dapat dikurangi sampai 22%, emisi SO<sub>x</sub> dapat dikurangi 24%, emisi NO<sub>x</sub> dapat dikurangi sampai dengan 29% sedangkan jumlah emisi VOC dapat dikurangi sampai dengan 20%.

## **5.2 Saran**

Berikut adalah saran yang dapat diberikan dari hasil analisa gas buang kapal dengan metode dinamika sistem:

1. Perlu adanya analisa lebih jauh mengenai penerapan MARPOL Annex VI dari segi ekonomi.
2. Perlu memprediksi bagaimana hasil penyebaran emisi yang dihasilkan oleh gas buang kapal di area Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya.

## **Daftar Pustaka**

- Altwicker, E.R. (2000). *“Air Pollution”*. Lewis Publisher.
- Ariana M, Pitana T, Artana KB, Masroeri AA. (2013). *“Gaussian plume and puff model to estimate ship emission dispersion by combining automatic identification system (AIS) and geographic information system (GIS)”*. Journal of maritime researches.
- Brito D, Hino C, Goncalves P, Andrade L, Moreira C, Costa G, Nardin L, Yoshizaki H Y, Magalhaes D J. (2011). *“Reducing CO2 Emissions due to a shift from Road to Cabotage Transport of Cargo in Brazil”*.
- Eriyatno, (1998). *“Ilmu Sistem : Meningkatkan Mutu dan Efektifitas Manajemen”*. Bogor: IPB Press
- Flang, Richard. C and Seinfeld J.H (1998). *“Fundamental of Air Pollution Engineering”*. New Jersey : Prentice Halls.
- Godish T. (1985). *“Air Quality”*. Ball State University, Muncie, Indiana : Lewis Publisher, Inc.
- Goldworthy L, Goldworthy B. (2015). *“Modelling of ship engine exhaust emissions in ports and extensive coastal waters based on terrestrial AIS data-An Australian case study.*
- Handani D W., Uchida M. 2014. *“Modelling Optimum Operation of Ship Machinery by Using Sistem Dinamic”*. Journal of the JIME (Japan Institute of Marine Engineering). 132-141
- Han J, Hayashi Y. (2008). *“A sistem Dinamic Model of CO2 Mitigation in China’s Inter-City Passanger Transport”*. Graduate School Environment Studies, Nagoya University, Japan.

- Imamura, H dan Scheurs, M.A (2005). *“Environmental Policy In Japan”*, United States Of America : Edward Elgar Publishing, Inc.
- Indrawati P O. (2010). “Analisa Risiko lingkungan Sistem Reuse Cartride Dengan Pendekatan Sistem Dinamis”. Surabaya. Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya
- Ishida T. (2003). *“Estimation of Estimate Methods of Air Pollution and Green House Gases from Ship (Journal)”*. Japan: Japan Institute Marine Engineering
- Kim U, Hopke PK. (2008). *“Characteriztic of Ambient Fine Particles in the Northwestern Area and Anchorage, Alaska”*. Journal of the Air & Waste Management Association, 58:10, 1328-1340.
- Latif, M Z. 2013. “Penjadwalan Perawatan Mesin Pendingin dengan menggunakan Pemodelan Dinamika Sistem”. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 tahun 1999 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara Sumber
- Pitana T, Kobayashi E and Wakabayashi N. *“Estimate of Exhaust Emission of Marine Traffic Using Automatic Identification Sistem Data (Case Study: Madura Strait Area, Indonesia) [Journal]”*.
- Schrooten L, Vlinger I D, Panis L I, Chiffi C, Pastori E. (2009). *“Emission of maritime transport: A European reference sistem”*.
- Seinfeld J H. (1995). *“Air Pollotion; Physical and Chemical Fundamental”*. McGraw Hill, inc.
- Simatupang, Togar M. (1995). *Teori Sistem Suatu Perspektif Industri*”. Edisi Pertama. Yogyakarta. Andi offset.
- Trozy C, Vaccaro R. (1998). *“Methodologies For Estimating Future Air Pollutant Emission From Ships”* .



## BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Bayu Agastiya, lahir di Blitar, 20 Agustus 1993. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dan berasal dari keluarga sederhana di lingkungan pedesaan. Penulis menempuh pendidikan di SD Negeri Ngadirejo I kemudian melanjutkan ke SMP Negeri 1 Blitar dan SMA Negeri 2 Blitar. Penulis selanjutnya melanjutkan studi ke jenjang yang lebih tinggi di jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Di jurusan Teknik Sistem Perkapalan penulis mengambil bidang keahlian *Reliability, Availability, Maintainability, and Safety (RAMS)* dan mengambil skripsi dengan judul “Pemodelan dan Estimasi Emisi Gas Buang Kapal Dengan Metode Dinamika Sistem Studi Kasus Area Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya” dengan masa studi 8 semester. Penulis juga aktif di berbagai kegiatan organisasi kemahasiswaan diantaranya Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknologi Kelautan, Badan Eksekutif Mahasiswa ITS, Unit Kegiatan Mahasiswa Catur ITS, dan organisasi keagamaan Lembaga Dakwah Jurusan Al-Mi’raj. Kegiatan penulis di luar kegiatan intra kampus adalah ikut serta dalam pengerjaan project yang dibimbing oleh Ir. Dwi Priyanta, M.SE. Beberapa project yang pernah dikerjakan oleh penulis diantaranya *Equipment Criticality Analysis, Remaining Life Assesment*, dan *Pipeline Risk Assesment*.