



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

SKRIPSI – ME141501

**PEMODELAN DAN ESTIMASI EMISI GAS BUANG TERHADAP
KUALITAS UDARA AKIBAT PERTAMBAHAN *FREIGHT* DENGAN
METODE DINAMIKA SISTEM**

Alif Yudha Ashari
NRP 04211440000057

Dosen Pembimbing
Dr. Dhimas Widhi H, ST., M.Sc.
A.A.B. Dinariyana Dwi .P. S.T., MES., Ph.D.

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**



SKRIPSI - ME 141501

PEMODELAN DAN ESTIMASI EMISI GAS BUANG TERHADAP KUALITAS UDARA AKIBAT PERTAMBAHAN *FREIGHT* DENGAN METODE DINAMIKA SISTEM

Alif Yudha Ashari
NRP 0421144000057

Dosen Pembimbing
Dr. Dhimas Widhi H, ST., M.Sc.
A.A.B. Dinariyana Dwi .P. S.T., MES., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



SKRIPSI - ME 141501

Modelling and Estimation of Exhaust Gas Emissions To Air Quality Due To Freight Growth Using System Dynamic Method

Alif Yudha Ashari
NRP 04211440000057

Supervisors
Dr. Dhimas Widhi H, ST., M.Sc.
A.A.B. Dinariyana Dwi .P. S.T., MES., Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

**PEMODELAN DAN ESTIMASI EMISI GAS BUANG TERHADAP
KUALITAS UDARA AKIBAT PERTAMBAHAN *FREIGHT*
DENGAN METODE DINAMIKA SISTEM**

TUGAS AKHIR

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

Oleh :

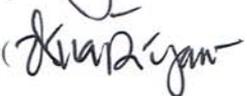
Alif Yudha Ashari
NRP. 0421144000057

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Dr. Dhimas Widhi H, ST., M.Sc.

()

A.A.B. Dinariyana Dwi P. S.T., MES., Ph.D.

()

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

PEMODELAN DAN ESTIMASI EMISI GAS BUANG TERHADAP KUALITAS UDARA AKIBAT PERTAMBAHAN *FREIGHT* DENGAN METODE DINAMIKA SISTEM

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi *Reliability, Availability, Management
and Safety (RAMS)*

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

Oleh :

Alif Yudha Ashari
NRP. 0421144000057

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan :



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PEMODELAN DAN ESTIMASI EMISI GAS BUANG TERHADAP KUALITAS UDARA AKIBAT PERTAMBAHAN *FREIGHT* DENGAN METODE DINAMIKA SISTEM.

Nama Mahasiswa : Alif Yudha Ashari
NRP : 0421144000057
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan ITS
Dosen Pembimbing 1: Dr. Eng. Dhimas Widhi Handani, S.T., M.Sc.
Dosen Pembimbing 2: A.A.B Dinariyana DP, S.T., MES, Ph.D

Abstrak

Pelabuhan Tanjung Perak adalah salah satu pelabuhan terbesar kedua dan terpadat di Indonesia, dimana aktifitas bongkar muat terjadi di pelabuhan tersebut. Berdasarkan keterangan dari humas pelindo 3 bahwa kapasitas dari terminal kontainer di pelabuhan tanjung perak surabaya diperkirakan sudah tidak dapat menampung kapasitas kontainer dimana kapasitas kontainer pelabuhan tanjung perak hanya 2,1 juta TEUs (*Twenty-Foot Equivalent Unit*) namun pada tahun 2014 sudah mencapai 3,6 juta TEUs. Tingginya aktifitas pelabuhan serta bertambahnya lalu lintas peti kemas dan juga *freight* pada setiap tahunnya menyebabkan terjadinya pencemaran polusi yang semakin meningkat, dimana emisi yang dihasilkan dari gas buang kapal maupun peralatan bongkar muat dapat menurunkan kualitas udara. Dimana emisi yang dihasilkan antara lain CO (Karbon Monoksida), CO₂ (Karbon Dioksida), NO_x (Nitrogen Oksida), SO_x (Sulfur Dioksida), PM₁₀ dan PM_{2.5} untuk perhitungan emisi gas buang menggunakan metode US EPA (*United State Environmental Protection Agency*). Untuk mempermudah perhitungan digunakan *software* Powersim Studio 7 yang menggunakan metode *System Dynamic*. Emisi-emisi tersebut apabila berada diatas ambang batas yang telah ditentukan oleh BMUAN (Baku Mutu Udara Ambien Nasional) dapat menyebabkan ISPA. Metode *Gaussian-plume* digunakan untuk persebaran emisi. Pada penelitian ini didapatkan bahwa pada tahun 2021, beberapa area pelabuhan tanjung perak akan melebihi batas yang ditentukan. Diantaranya area terminal Mirah dan Berlian, namun berdasarkan peraturan dari kementerian kesehatan masih tidak mempengaruhi kesehatan pekerja. Daerah yang terdampak antara lain daerah Pabean Cantikan NO_x 4.15 x 10² µg/m³, Wonokusumo NO_x 2.67 x 10² µg/m³ dan Kedungcowek NO_x 1.64 x 10² µg/m³. Sebaran emisi diatas masih dalam tahap tidak berdampak apa-apa terhadap kesehatan manusia

Kata kunci : Bongkar Muat, Dinamika Sistem, Emisi, Gas Dispersi, *Gaussian Plume*, Tanjung Perak, US. EPA.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Modelling and Estimation of Exhaust Gas Emissions to Air Quality Due To Freight Growth Using System Dynamic Method

Name of Student : Alif Yudha Ashari
NRP : 0421144000057
Department : Marine Engineering
Supervisor 1 : Dr. Eng. Dhimas Widhi Handani, S.T., M.Sc.
Supervisor 2 : A.A.B Dinariyana DP, S.T., MES, Ph.D

Abstract

The Port of Tanjung Perak is one of the largest and busiest ports in Indonesia, loading and unloading activities occur in this port. Based on information from Pelindo 3 public relations, the container capacity terminal at Tanjung Perak Surabaya port is estimated to be unable to accommodate higher container capacity. Container capacity of Tanjung Perak port only 2.1 million TEUs (tbut in 2014 it has reached 3.6 million TEUs. The high activity of port, increase of container traffic and also the freight in each year will increase pollution produced by exhaust gas of auxiliary engine and loading-unloading equipment. The emissions consists of CO (Carbon Monoxide), CO₂ (Carbon Dioxide), NO_x (Nitrogen Oxide), SO_x (Sulfur Dioxide), PM 10 and PM 2.5. US EPA (United State Environmental Protection Agency) is used to calculate emission estimation. In calculation software Powersim Studio 7 is used to calculate all aspect with system dynamic method. If the emissions exceed standard that has been determined by BMUAN (Baku Mutu Udara Ambien Nasional) it would cause various breathing complications. Gaussian-Plume method use to calculate emission dispersion. This study found that in 2021 some areas of the port of Tanjung Perak will exceed the specified limits. Mirah and Berlian terminal areas, however, based on regulations from the Ministry of Health still does not affect the health of workers. Affected area by pollution are pabean cantikan district NO_x 4.15 x 10² μg/m³, Wonokusumo district NO_x 2.67 x 10² μg/m³, and Kedungcowek district NO_x 1.64 x 10² μg/m³. This dispersion emission isn't affect to human health.

Keywords: Emissions, Gas Dispersions, Gaussian-Plume, Loading-Unloading, System Dynamics, Tanjung Perak, US. EPA.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah Azza Wa Jalla, yang telah memberikan rahmat dan anugerah-Nya, sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **Pemodelan Dan Estimasi Emisi Gas Buang Terhadap Kualitas Udara Akibat Pertambahan *Freight* Dengan Metode Dinamika Sistem** dengan baik dan tepat waktu. Tugas akhir tersebut diajukan sebagai salah satu persyaratan kelulusan program studi sarjana Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam proses penyelesaian Tugas Akhir dan keberhasilan menempuh program studi sarjana, tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak-pihak di bawah ini, yaitu :

1. Kedua orang tua penulis, Ibu Ana Ermawati dan Bapak Yayok Triyono yang selalu memberikan dukungan, memberikan semangat serta doa kepada penulis disetiap kegiatan dan aktivitas hingga saat ini serta mengingatkan untuk taat beribadah seraya berdoa memohon yang terbaik.
2. Seluruh keluarga besar penulis yang selalu memberikan dukungan, semangat serta doa kepada penulis.
3. Bapak Raja Oloan Saut Gurning, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku dosen wali yang telah banyak memberikan bimbingan dan pendidikan baik akademik maupun non akademik sehingga kami sebagai mahasiswa wali dapat belajar bekerja keras, pantang menyerah, dan bekerjasama.
4. Bapak Dr. Dhimas Widhi H, ST., M.Sc., selaku dosen pembimbing penulis dan dosen pengampu Laboratorium RAMS yang telah membimbing penulis dalam menyelesaikan penelitian Tugas Akhir dan memberikan motivasi untuk terus belajar dan mengembangkan diri.
5. Bapak A.A.B. Dinariyana D. P., S.T., MES., Ph.D., selaku dosen pembimbing kedua sekaligus Kepala Laboratorium RAMS.
6. Bapak Dr. Dhimas Widhi H, ST., M.Sc., Raja Oloan Saut Gurning, S.T., M.Sc., Ph.D., Bapak Ir. Agoes Achmad Masroeri, M.Eng., D.Eng., yang telah membimbing penulis dalam mata kuliah Desain II, III, dan IV serta seluruh dosen, tenaga kependidikan serta manajemen Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK – ITS.
7. Kawan seperjuangan angkatan MERCUSUAR '14 yang telah menjadi teman dan bagian dari pengalaman penulis.
8. Seluruh member RAMS serta Bu Dila, Mbak Emmy, Mbak Uchi, Mbak Putri, Mas Thariq, dan Mas Manik yang telah menjadi rekan dan tempat belajar bagi penulis selama menjadi member RAMS.
9. Kepada adek Nurkhairana Aryanti Trikurnia yang selalu memiliki waktu untuk memberikan semangat serta menjadi pendengar saat latihan presentasi dan pengecekan laporan, apakah sudah dapat dimengerti atau tidak oleh orang awam.

10. Kepada pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu, terima kasih atas segala bantuan dan dukungan yang telah diberikan kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa penelitian yang dilakukan dalam tugas akhir ini jauh dari sebuah kesempurnaan, oleh karenanya kritik dan saran sangat terbuka untuk menjadikan karya yang lebih baik dan memberikan kebermanfaatan.

Penulis berharap bahwa karya tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan bagi seluruh pembaca di kemudian hari.

Surabaya, Juli 2018

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL.....	xxi
1. BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
2 BAB II TINJUAN PUSTAKA	5
2.1. Polusi Udara	5
2.2. Sumber Polusi Udara	6
2.2.1. Sumber Polusi Udara Tetap	6
2.2.2. Sumber emisi gas buang tidak tetap	7
2.3. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Emisi	8
2.3.1. Curah Hujan	8
2.3.2. Topografi.....	8
2.3.3. Kecepatan dan arah angin	8
2.4. Perhitungan Emisi Gas Buang	9
2.4.1. <i>Ocean – going vessel (OGV)</i>	9
2.4.2. <i>Harbour vessel</i>	12
2.4.3. Peralatan bongkar muat	13
2.4.4. <i>Locomotive</i>	14
2.4.5. <i>Heavy duty vehicle</i>	16
2.5. Standar Emisi Gas Buang	18
2.5.1. Standar Emisi Gas Buang Kapal	18
2.5.2. Standar Emisi Gas Buang Peralatan Bongkar Muat Pelabuhan	19
2.5.3. Standar Emisi Gas Buang <i>locomotive</i>	20

2.5.4.	Standar Emisi Gas Buang <i>Heavy Duty Vehicle</i> (HDV)	21
2.5.5.	Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU)	21
2.6.	Dinamika Sistem	23
2.7.	Proses Pemodelan Dinamika Sistem	24
2.8.	Pengenalan <i>Software</i> Pengolah Data (<i>Powersim Studio</i>)	27
2.9.	Gaussian Plume Model dan <i>Software Screen View 4.0.1</i>	29
2.9.1.	Sebaran Polutan dari Sumber Polutan	30
2.9.2.	Tinggi Kepulan dan Pergerakan <i>Plume</i>	30
2.9.3.	Pengaruh Lingkungan Sekitar	31
2.9.4.	Karakteristik dari <i>Plume</i>	32
2.9.5.	Pengenalan <i>Lakes Environmental Screen View 4.0.1</i>	33
3.	BAB III METODOLOGI PENELITIAN	35
3.1.	Identifikasi dan Perumusan Masalah	36
3.2.	Studi Pustaka	36
3.3.	Pengumpulan Data	36
3.4.	Perhitungan Emisi Gas Buang	36
3.5.	Pembuatan Model Dinamika Sistem	36
3.6.	Formulasi Model	37
3.7.	Validasi	37
3.8.	Dispersi Emisi Gas Buang	37
3.9.	Analisa Hasil	37
3.10.	Kesimpulan dan Saran	37
4.	BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	39
4.1.	Analisa Data Kedatangan Kapal	39
4.1.1.	Analisa Data Kedatangan Kapal di TPS	39
4.1.2.	Analisa Data Kedatangan Kapal di Terminal Mirah	40
4.1.3.	Analisa Data Kedatangan Kapal di Terminal BJTI	42
4.2.	Analisa Data Kapal	43
4.3.	Analisa Data Peralatan Bongkar Muat	46
4.3.1.	Analisa Data Peralatan Bongkar Muat di TPS	46
4.3.2.	Analisa Data Peralatan Bongkar Muat di Terminal Mirah	46
4.3.3.	Analisa Data Peralatan Bongkar Muat di Terminal Berlian	46
4.4.	Pengembangan Model Dinamika	47

4.4.1.	Kondisi <i>Existing</i>	47
4.4.2.	Identifikasi Variabel.....	48
4.4.3.	Pembuatan <i>Causal Loop Diagram</i>	49
4.5.	Pembuatan Model Dinamika.....	50
4.6.	Formulasi Model	51
4.7.	Hasil Simulasi Dinamika Sistem dan Dispersi	53
4.7.1.	Hasil Simulasi Model Dinamika Sistem.....	53
4.7.2.	Hasil Validasi Model Dinamika Sistem.....	54
4.7.3.	Hasil Simulasi Dispersi	56
4.8.	Analisa Hasil Simulasi	63
4.8.1.	Analisa Hasil Simulasi Pada Tahun 2017.....	63
4.8.2.	Analisa Hasil Simulasi Sampai Dengan Tahun 2021	67
5.	BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	71
5.1.	Kesimpulan	71
5.2.	Saran.....	73
	Daftar Pustaka	75

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Ilustrasi Bongkar Muat di Pelabuhan	1
Gambar 1.2 Causal Loop Emisi Gas Buang di Pelabuhan	2
Gambar 2.1 Contoh cerobong asap	7
Gambar 2.2 Hubungan Hidrokarbon dengan air fuel ratio	7
Gambar 2.3 Port of Los Angeles Inventory of Air Emissions.....	9
Gambar 2.4 Ocean Going Vessel	10
Gambar 2.5 Harbour Tug	12
Gambar 2.6 RTG Crane.....	13
Gambar 2.7 Locomotive.....	15
Gambar 2.8 Heavy Duty Vehicle	16
Gambar 2.9. Batas NOx yang diperbolehkan MARPOL 73/78 Annex VI	19
Gambar 2.10. <i>Reinforcing Loop</i> (a); <i>Balancing Loop and Delay</i> (b).....	24
Gambar 2.11. Dasar Pemodelan Dinamika Sistem	25
Gambar 2.12. Notasi Pemodelan Dinamika Sistem	26
Gambar 2.13. Tampilan Muka Powersim Studio	27
Gambar 2.14. Stock/Level.....	28
Gambar 2.15. Auxiliary.....	28
Gambar 2.16. Constant.....	29
Gambar 2.17. Flowrate.....	29
Gambar 2.18. Contoh Diagram Simulasi Jumlah Emisi NOx.....	29
Gambar 2.19. Model Gaussian Plume.....	30
Gambar 2.20 Hubungan tinggi kepulan plume dengan kecepatan horizontal angin	31
Gambar 2.21 Pengaruh lingkungan dan konfigurasi sumber polutan terhadap plume	31
Gambar 2.22. Geometri dari plume dengan ERL yang berbeda	32
Gambar 2.23. Interface Screen View 4.0.1	33
Gambar 3.1 Metodologi Penelitian	35
Gambar 4.1 Data Kedatangan Kapal 2013 - 2017 di TPS.....	39
Gambar 4.2 Data Kedatangan Kapal Tahun 2017.....	40
Gambar 4.3 Data Kedatangan Kapal 2015 - 2017 di Terminal Mirah	41
Gambar 4.4 Data Kedatangan Kapal Tahun 2017.....	42
Gambar 4.5. Data Kedatangan Kapal di Terminal Berlian.....	43
Gambar 4.6. Mencari Data Kapal dari Nama Kapal di Vessel Tracker	44
Gambar 4.7. Pencarian Identitas Kapal pada Website BKI.....	45
Gambar 4.8. Detail Kapal pada Website BKI	45
Gambar 4.9. Causal Loop Diagram Tiap Terminal.....	49
Gambar 4.10. Model Sistem <i>Power Aux</i>	50
Gambar 4.11. Model Emisi Tiap <i>Power</i>	51
Gambar 4.12 Hasil Perhitungan Dinamika Sistem.....	54
Gambar 4.13. Hasil perhitungan emisi dengan Microsoft Excel.....	55
Gambar 4.14. Masukkan Data Sumber Emisi	58
Gambar 4.15. Masukkan Data Meteorologi dari Selat Madura.....	58
Gambar 4.16. Masukkan jarak dari sumber emisi	59
Gambar 4.17. Hasil Sebaran Emisi CO	60
Gambar 4.18. Hasil Sebaran Emisi CO ₂	60

Gambar 4.19. Hasil Sebaran Emisi NO _x	61
Gambar 4.20. Hasil Sebaran Emisi SO _x	61
Gambar 4.21. Hasil Sebaran Emisi PM ₁₀	62
Gambar 4.22. Hasil Sebaran Emisi PM _{2.5}	62
Gambar 4.23. Statistik Arah Angin	64
Gambar 4.24. Hasil Sebaran Emisi Untuk Satu Kapal	64
Gambar 4.25 Hasil Sebaran Emisi di Masing-Masing Terminal.....	65
Gambar 4.26. Grafik Perbandingan Hasil Sebaran Emisi Pada 13 April 2017	66
Gambar 4.27. Grafik Perbandingan Hasil Sebaran Emisi Pada April 2021	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Load Factor Auxiliary Engine Kapal	11
Tabel 2.2 Faktor Emisi Mesin Induk (gr/kWh)	11
Tabel 2.3 Faktor Emisi Mesin Bantu berbahan Bakar MGO 0,1% Sulfur (gr/kWh)	11
Tabel 2.4 Faktor Koreksi Bahan Bakar	12
Tabel 2.5 Faktor Beban Peralatan Bongkar Muat	14
Tabel 2.6 Faktor Emisi Peralatan Bongkar Muat	14
Tabel 2.7 Faktor Emisi Berdasarkan Tier.....	15
Tabel 2.8 Heavy Duty Highway Compression Ignition Engine.....	17
Tabel 2.9 Ambang Batas Kendaraan Bermotor Kategori M, N, dan O.....	17
Tabel 2.10. Batas NO _x berdasarkan MARPOL 73/78 Annex VI	18
Tabel 2.11. Batas SO _x dan PM berdasarkan MARPOL Annex VI Regulasi 14.....	19
Tabel 2.12. Batas Emisi Peralatan Bongkar Muat di Pelabuhan	20
Tabel 2.13. Batas Emisi Lokomotif.....	20
Tabel 2.14. Batas Emisi Pada Heavy Duty Vehicle (HDV).....	21
Tabel 2.15. Kriteria Kualitas Udara	21
Tabel 2.16. Baku Mutu Udara Ambien Nasional	22
Tabel 4.1. Website Ship Register	44
Tabel 4.2. Data Peralatan Bongkar Muat di Terminal Petikemas Surabaya	46
Tabel 4.3. Data Peralatan Bongkar Muat di Terminal Berlian	47
Tabel 4.4. Variabel pada Tiap Terminal.....	48
Tabel 4.5. Variabel untuk Aux Kapal.....	52
Tabel 4.6. Jumlah Emisi Gas Buang Pada Tahun 2017.....	63
Tabel 4.7 Detail Emisi NO _x di Terminal Berlian Pada 13 April 2017	65
Tabel 4.8. Dampak Polutan NO _x Hasil Penelitian.....	67
Tabel 4.9. Hasil Emisi Sampai Tahun 2021	67
Tabel 4.10. Sebaran Emisi April 2021	68
Tabel 4.11. Dampak Polutan NO _x Hasil Penelitian.....	69

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pelabuhan Tanjung Perak adalah salah satu pelabuhan besar di Jawa Timur yang cukup padat. Kapasitas peti kemas di Tanjung Perak dapat menampung sekitar 2,1 juta TEUs angka yang cukup besar. Namun pada tahun 2012, lalu lintas peti kemas sudah mencapai 2,6 juta TEUs. PT. Pelabuhan Indonesia III memproyeksikan arus peti kemas Pelabuhan Tanjung Perak akan melebihi daya tampung karena kapasitas peti kemas ini diperkirakan meningkat menjadi 3,2 juta TEUs pada tahun 2014 (Wedo, 2013).

Besarnya kapasitas yang dimiliki oleh pelabuhan Tanjung Perak Surabaya berbanding lurus dengan emisi yang dihasilkan oleh kapal sehingga meningkatkan pencemaran udara di area pelabuhan seperti peningkatan SO_x, NO_x, dan fraksi kimia lainnya (Kim dan Hopke, 2008). Selain gas buang dari kapal, gas buang yang dihasilkan *crane*, truk, generator pelabuhan untuk operasional bongkar muat juga turut berkontribusi terhadap pencemaran udara di daerah pelabuhan seperti diilustrasikan pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Ilustrasi Bongkar Muat di Pelabuhan

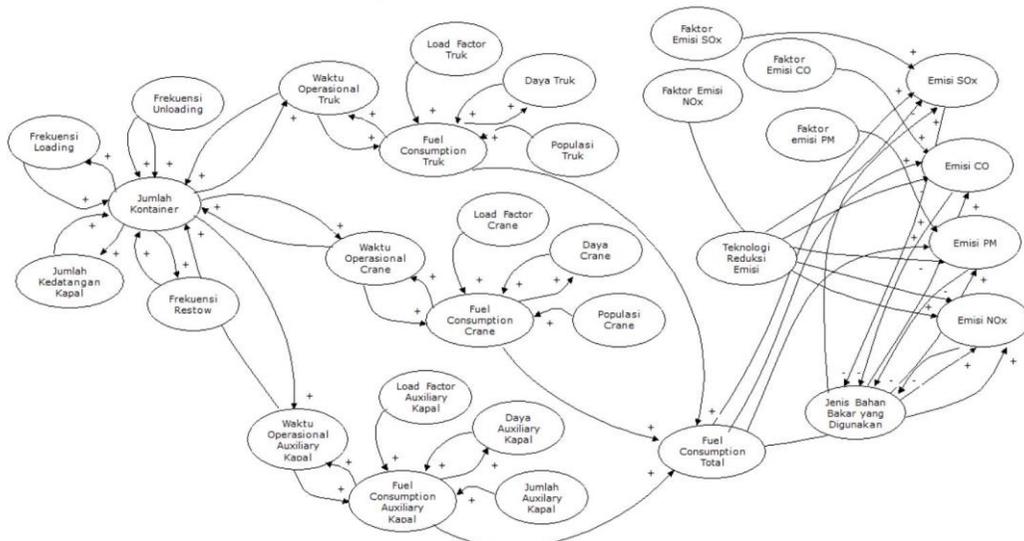
Emisi gas buang dengan kandungan Nitrogen Oksida (NO_x), Sulfur Oksida (SO_x), Karbon Monoksida (CO), Hidrokarbon (HC) dan substansi lainnya dapat menyebabkan masalah bagi kesehatan pekerja, masyarakat dan lingkungan sekitar pelabuhan. Hal ini akan berdampak besar khususnya bagi manusia, dimana substansi tersebut dapat masuk ke dalam tubuh melalui sistem pernafasan. Beda jenis pencemar maka berbeda pula jauh penetrasinya ke dalam tubuh. (Godish, 1985). Semakin kecil ukuran partikulat maka penetrasinya dapat mencapai paru-paru namun partikulat yang berukuran besar akan terhambat di saluran pernafasan bagian atas (Colls, 2002).

Zat pencemar dapat diserap oleh sistem peredaran darah dalam paru-paru dan menyebar ke seluruh tubuh. Penyakit umum yang dapat diderita adalah ISPA (Infeksi Saluran Pernafasan Akut), diantaranya terdiri dari asma, bronkitis, dan gangguan pernafasan lainnya. Fenomena ini diperparah dengan belum diratifikasinya MARPOL 73/78 Annex VI oleh pemerintah Indonesia (Pitana et al, 2010), minimnya penggunaan bahan bakar ramah lingkungan serta bahan bakar *low grade* yang masih menjadi idaman karena harga yang lebih murah (Karan, 2016).

Berkaca pada latar belakang diatas, pada tugas akhir ini akan dilakukan analisa emisi gas buang pada area Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. Analisa dilakukan dengan melihat jumlah kapal yang melakukan bongkar muat di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. Perhitungan emisi melibatkan emisi yang dihasilkan oleh *auxiliary engine* kapal serta alat pendukung bongkar muat. Analisa dilakukan menggunakan dinamika sistem untuk mengetahui besarnya emisi gas buang akibat adanya penambahan entitas (*ocean going vessel, harbour tug, crane, dan truk*).

Dinamika sistem juga digunakan untuk memprediksi pada tahun ke berapa kondisi udara didaerah pelabuhan tersebut sudah melebihi ambang batas yang telah ditetapkan oleh Baku Mutu Udara Ambien Nasional (PERMENLH, 2010). Analisa ini mempertimbangkan *freight trade* dan alat pendukung bongkar muat yang disediakan oleh pihak pelabuhan meningkat. Keunggulan dinamika sistem ini adalah dapat diterapkan pada banyak kasus, tidak hanya terbatas pada kasus teknik saja namun juga bersifat sosial, ekonomi dan lain-lain.

Causal loop untuk perhitungan emisi gas buang di pelabuhan dapat dilihat pada Gambar 1.2 dimana jumlah *container* mempengaruhi lama waktu operasional baik itu *crane*, truk, maupun *auxiliary* pada kapal. Sehingga konsumsi bahan bakar (*crane*, truk dan *auxiliary* kapal) yang meningkat dapat mengakibatkan semakin besar emisi gas buang yang dihasilkan baik untuk SO_x , NO_x , CO, maupun PM. Jenis bahan bakar juga berpengaruh dalam meningkatkan emisi gas buang yang dihasilkan, apabila bahan bakar yang digunakan dengan kualitas tinggi maka emisi yang dihasilkan lebih sedikit begitupun sebaliknya. Teknologi reduksi emisi juga dapat mengurangi 10-20% emisi, contoh teknologi reduksi emisi adalah *scrubber*.



Gambar 1.2 Causal Loop Emisi Gas Buang di Pelabuhan

1.2. Rumusan Masalah

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

1. Berapa emisi gas buang di Pelabuhan Kontainer (Terminal Petikemas Surabaya Terminal Mirah, Terminal Berlian) akibat aktifitas bongkar muat beserta alat pendukungnya?
2. Pada tahun ke berapa kualitas udara di daerah tersebut sudah tidak layak berdasarkan Baku Mutu Udara Ambien Nasional dengan adanya pertumbuhan barang?

1.3. Batasan Masalah

Dalam pengerjaan tugas akhir ini terdapat batasan penelitian yakni lokasi pengambilan data penelitian berada di Pelabuhan Kontainer (Terminal Mirah, Terminal Berlian, Terminal Petikemas Surabaya).

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Memprediksi emisi gas buang di Pelabuhan Kontainer (Terminal Mirah, Terminal Berlian, Terminal Petikemas Surabaya).
2. Memprediksi pada tahun ke berapa kualitas udara di daerah tersebut sudah tidak layak berdasarkan Baku Mutu Ambien Nasional.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Memprediksi emisi gas buang akibat bertambahnya *freight trade* di Pelabuhan Kontainer (Terminal Mirah, Terminal Berlian, Terminal Petikemas Surabaya).
2. Menetapkan pada tahun tersebut untuk mulai meratifikasi ECA (*Emission Control Area*) agar kualitas udara menjadi layak berdasarkan Baku Mutu Udara Ambien Nasional.

Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Polusi Udara

Berbagai macam zat kimia yang menjadi polusi udara dapat berdampak pada kesehatan manusia, hewan, serta tumbuhan baik itu secara langsung (instan) maupun tidak langsung. Berbagai bentuk pulusi udara seperti partikulat padat yang berterbangan. Tidak hanya bebentuk partikulat padat melainkan dapat berupa cairan seperti air hujan maupun bahan kimia lainnya yang dominan (Rahmawaty, 2002).

Polusi udara merupakan kondisi atmosfer yang kedatangan zat dengan konsentrasi melebihi batas normal *ambient* dimana efeknya dapat berdampak pada manusia, hewan dan vegetasi (Seinfeld, 1975). Seperti penjelasan dibawah, komponen kimia didalamnya mempengaruhi kategori dari masing-masing polusi udara (Visscher, 2014).

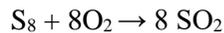
- Sulfur (SO₂)

Sulfur terdapat di bahan bakar yang digunakan dimana semakin banyak kandungan sulfur dibahan bakar tersebut maka mesin akan semakin bertenaga. Sulfur dioksida didapatkan dari proses pembakaran dan terbentuk pada suhu yang tinggi. Dimana reaksi kimianya adalah sebagai berikut:

SO₂ dalam kandungan bahan bakar.



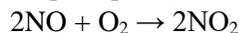
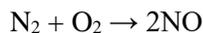
SO₂ hasil dari pembakaran



Sulfur dioksida (SO₂) dapat mengganggu sistem pernafasan, gangguan jantung, serta sifatnya korosif terhadap bahan *metal*.

- Komponen Nitrogen (NO_x)

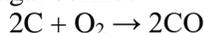
NO_x dapat berupa nitrogen monoksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO_x). Dimana sifat dari NO adalah tidak berbau dan tidak berwarna sedangkan NO₂ memiliki bau menyengat dan berwarna merah kecoklatan. Nitrogen ini didapatkan dari udara sekitar yang mana 79% adalah Nitrogen (N) dan akan terbentuk NO_x diruang bakar pada suhu tinggi. Berikut adalah reaksi kimianya.



NO_x dapat mengakibatkan iritasi mata, gangguan pernafasan, gangguan jantung, serta memicu kanker paru-paru.

- Karbon (CO_x)

CO_x dapat berupa karbon monoksida (CO) maupun karbon dioksida (CO₂), namun karbon monoksida (CO) sangat berbahaya bagi kesehatan manusia. Dan karbon monoksida hasil dari pembakaran yang tidak sempurna, dimana reaksi kimianya sebagai berikut.



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



- *Particulate Matter* (PM)

Particulate Matter adalah partikel emisi padat yang sangat berbahaya dimana tingkat bahaya dari PM bergantung pada diameternya, misalnya PM₁₀ yang memiliki diameter 10 µm yang dihasilkan oleh mesin diesel dimana PM dapat menyebabkan penyakit *cardiovascular*.

2.2. Sumber Polusi Udara

Berdasarkan peraturan pemerintah republik Indonesia nomor 41 tahun 1999 tentang pengendalian pencemaran udara, definisi dari polusi udara adalah usaha memproduksi bahan pencemar ke udara. Sumber polusi udara dapat dibedakan menjadi beberapa seperti pembakaran dan bukan pembakaran, sumber tetap dan sumber bergerak, serta langsung dan tidak langsung (Godish, 1985).

Letusan gunung berapi juga salah satu fenomena yang menghasilkan polusi udara dengan konsentrasi tinggi (Imamura, et al, 2005). Walaupun kejadian ini menghasilkan emisi yang sangat tinggi namun fenomena ini jarang terjadi serta belum tentu terjadi ditiap 10 tahun sekali. Namun polusi yang menghasilkan sedikit emisi dari kegiatan manusia seperti kendaraan bermotor, aktifitas industri, boiler, insenerator dan lain-alin. Aktifitas tersebut bisa membuat lingkungan tercemar secara perlahan hingga pada tingkat yang berbahaya bagi kesehatan manusia dan alam itu sendiri (Seinfeld, 1975).

2.2.1. Sumber Polusi Udara Tetap

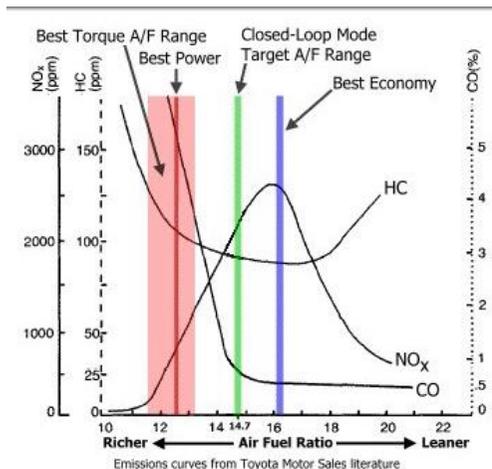
Sumber tetap adalah sumber emisi yang berada pada posisi tetap dari waktu ke waktu, contohnya adalah cerobong asap industri, emisi SO₂ dari cerobong PLTU seperti pada gambar 2.1. Beberapa standar dibelakukan untuk mengurangi laju emisi dari sumber tetap seperti pada cerobong asap. Oleh sebab itu diperlukan tindakan yang tepat dalam pengendalian emisi yang harus dilakukan oleh lembaga atau pemerintah seperti dimensi cerobong asap yang sesuai, mengubah praktik operasi pabrik, tinggi serta perangkat yang layak (Godish, 1985).



Gambar 2.1 Contoh cerobong asap
(pxhere, 2017)

2.2.2. Sumber emisi gas buang tidak tetap

Polusi yang dihasilkan dari kendaraan bermotor menjadi salah satu isu utama dalam hal emisi, dikarenakan peningkatan jumlah kendaraan bermotor dan kurun waktu penggunaannya yang tinggi pada setiap tahunnya. Sumber emisi gas buang tidak tetap dihasilkan dari kendaraan yang dapat berpindah-pindah dari satu kota ke kota lainnya serta dipengaruhi oleh faktor lain seperti arah angin dan cuaca (Altwicker, 2000). Dimana penggunaan kendaraan bermotor yang menghasilkan polusi mengandung hidrokarbon yang dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Hubungan Hidrokarbon dengan air fuel ratio
(Pengetahuan mesin, 2012)

Sebagian besar kendaraan didunia menggunakan motor bakar dalam, baik itu bensin maupun diesel. Polutan yang berasal dari kendaraan tergantung pada faktor-faktor seperti rasio udara-bahan bakar, waktu pengapian, rasio kompresi, geometri ruang bakar, kecepatan putaran mesin,

serta tipe bahan bakar itu sendiri. Hal yang paling berpengaruh adalah jenis bahan bakar yang digunakan semakin tinggi kualitas bahan bakar maka hasil emsinya semakin rendah begitupun sebaliknya.

2.3. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Emisi

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi emisi. Pada daerah yang berbeda kandungan polusi udara juga berbeda, hal ini disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya hujan, topografi, kecepatan serta arah angin.

2.3.1. Curah Hujan

Curah hujan belum efektif dalam membersihkan udara terlebih lagi pada partikel yang lebih kecil dari 2 pm namun apabila hujan terjadi secara terus menerus dalam kurun waktu 15 menit dengan kecepatan 1 mm/jam dapat menghapus polutan diudara sekitar 28% untuk partikel yang lebih besar dari 10 μm (Flang *et al*, 1998). Pembersih udara yang dapat membantu menurunkan konsentrasi polutan dibagi menjadi dua jenis yaitu,

- Pembilasan dibawah awan, proses ini terjadi ketika hujan turun ke bumi membawa polutan ke tanah. Sehingga polutan tidak berada di atmosfer.
- Pembilasan didalam awan, dalam proses ini polutan di atmosfer akan bereaksi serta direduksi oleh partikel air.

2.3.2. Topografi

Dalam menentukan dan mengendalikan tingkat polusi, jenis dan kondisi wilayah tertentu merupakan faktor penting. Gunung, lembah dan area *shore line* dapat mempengaruhi arah angin dan besarnya serta parameter meteorologi lainnya. Selama malam, tanah didinginkan oleh radiasi karena itu lapisan udara akan menjadi lebih padat daripada udara di atasnya. Untuk daerah datar yang sempurna, lapisan ini akan sempurna datar dan gravitasi tidak dapat memindahkannya. Namun ketika tanah tidak datar, lapisan padat akan cenderung menuruni bukit. Selama siang hari situasi sebaliknya terjadi. Oleh karena itu polutan akan tetap didaerah tersebut dan terjebak disana.

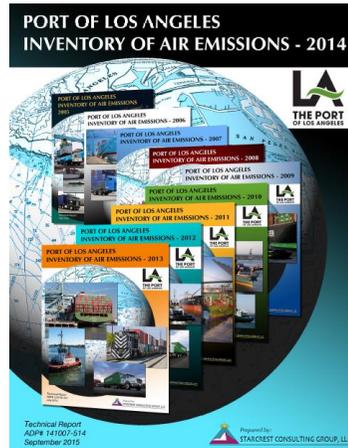
2.3.3. Kecepatan dan arah angin

Angin merupakan salah satu unsur meteorologi yang memiliki peranan penting dalam menentukan kondisi cuaca dan iklim disuatu tempat. Angin dapat dibatasi sebagai gerakan horizontal udara relatif terhadap permukaan bumi. Batasan ini berasumsi bahwa seluruh gerakan udara secara vertikal, kecepatannya dapat diabaikan karena relatif rendah yaitu $< 1 \text{ ms}^{-1}$ (June, 1993).

Angin dihasilkan karena adanya pergerakan udara dari satu tempat ke tempat lainnya. Sedangkan tekanan atmosfer didaerah satu dan lainnya tidak sama. Angin adalah agen utama dalam mentransfer polutan dari suatu tempat ke tempat lain. Konsentrasi polutan dapat menurun ataupun dipindah menuju tempat lain oleh angin namun hanya angin dengan kecepatan tinggi saja sehingga polutan terjebak di atmosfer tersebut (Altwicker, 2000).

2.4. Perhitungan Emisi Gas Buang

Pada saat ini banyak penelitian mengenai estimasi emisi gas buang dimana pada umumnya pelabuhan internasional memiliki laporan emisi yang dipublikasi setiap tahunnya. Pada tugas akhir ini saya menggunakan metode perhitungan yang berasal dari Port of Los Angeles Inventory of Air Emissions yang dipublikasi pada tahun 2014 seperti pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Port of Los Angeles Inventory of Air Emissions
(Port of Los Angeles Inventory of Air Emissions, 2014)

Inventory ini dikembangkan oleh Starcrest Consulting Group, LLC yang bekerjasama dengan organisasi maritim, pelabuhan, organisasi yang terkait lingkungan hidup, organisasi yang berhubungan dengan kesehatan masyarakat hingga organisasi yang bertanggung jawab terhadap regulasi di dunia industri maritim. Konsultan ini mengestimasi emisi secara akurat dan bekerjasama dengan pihak terkait transportasi maritim untuk mengurangi emisi udara. Pada publikasi ini menghitung estimasi emisi pada pelabuhan Los Angeles yang mencakup beberapa bagian yaitu:

2.4.1. Ocean – going vessel (OGV)

Ocean – going vessel (OGV) yaitu kapal kontainer, kapal kargo, kapal pesiar, *roll on – roll off (Ro-Ro)*, kapal muatan curah padat, kapal muatan curah cair, dan lain-lain seperti halnya pada gambar 2.4. Kapal tersebut digunakan untuk mengirimkan barang baik itu antar pulau di satu negara maupun antar pulau yang berbeda negara. Apabila kapal tersebut berlayar mengirimkan barang menuju perairan ataupun negara yang meratifikasi ECA (*Emission Control Area*). Maka kapal tersebut wajib memenuhi aturan emisi ketat dipelabuhan tersebut.

Sehingga umumnya kapal yang memasuki perairan yang menerapkan ECA menggunakan bahan bakar dengan kualitas baik seperti halnya LNG dimana bahan bakar tersebut dapat memenuhi emisi yang diterapkan dipelabuhan tersebut. Namun apabila kapal tersebut keluar dari ECA maka bahan bakar dengan kualitas rendah kembali digunakan untuk menekan biaya operasional dari kapal tersebut.



Gambar 2.4 *Ocean Going Vessel*
(arb, 2017)

Untuk menghitung estimasi emisi gas buang pada permesinan bantu dikapal, maka digunakan metodologi pada *ocean going vessel* (OGV). Emisi pada OGV diestimasi menggunakan persamaan yang digunakan oleh US. EPA yang tertera pada laporan tahunan pelabuhan Los Angeles atau POLA (*Port of Los Angeles Inventory of Air Emission*) seperti berikut.

$$E_i = MCR (kW) \times Load Engine (\%) \times EF (gr/kWh) \times EFA \times FCF \quad (1)$$

Dimana,

E_i	= Emisi yang dihasilkan (gr)
MCR	= Daya maksimum mesin (kW)
Load Engine (%)	= Berapa daya yang digunakan (%)
EF	= Hasil emisi (g/kWh)
EFA	= Pengukuran faktor emisi
FCF	= Koreksi bahan bakar

Terdapat tiga fase kapal dalam menentukan *load factor* kapal yakni *cruising*, *manouvering*, dan *hotelling* (Trozzi et al, 1998). Jika melihat persamaan 2, apabila kapal sedang *hotelling* maka *load factor* mesin adalah nol sehingga *load factor* tidak ada namun dilapangan permesinan bantu masih dalam tahap bekerja sehingga menghasilkan emisi gas buang.

$$LF = (Kecepatan aktual) / (Kecepatan maksimum) \quad (2)$$

Dimana,

LF	= <i>Load Factor</i>
Kecepatan aktual	= Kecepatan aktual (Knots)
Kecepatan maksimum	= Kecepatan maksimum (Knots)

Namun umumnya kapal yang sedang *hotelling* menggunakan hanya *auxiliary engine* dimana faktor beban 0, maka dari itu perhitungan estimasi emisi dari *auxiliary engine* seperti yang terdapat pada tabel 2.1. Untuk menghasilkan estimasi emisi yang mendekati realita yang terjadi dilapangan agar tidak menjadi 0 atau tidak ada beban dan mesin bantu kapal pun tidak bekerja, namun pada kondisi realitanya tetap bekerja dengan faktor beban rendah.

Tabel 2.1 *Load Factor Auxiliary Engine Kapal*

Fase Kapal	<i>Load Factor Auxiliary Engine</i>
<i>Cruise</i>	30
<i>Manouvering</i>	50
<i>Hotelling (except tankers)</i>	40
<i>Hotelling (tankers)</i>	60

(Trozzi, 1998)

Untuk faktor emisi (EF) masing-masing polutan dipengaruhi oleh kecepatan putaran mesin, model tahun mesin dan juga konstanta polutan itu sendiri. Untuk jenis mesin dibedakan menjadi *slow speed diesel engine*, *medium speed diesel engine*, gas turbin, dan mesin yang menggunakan mesin uap. Dimana faktor emisi dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Faktor Emisi Mesin Induk (gr/kWh)

Mesin	Tier	Tahun	PM ₁₀	PM _{2.5}	DPM	NO _x	SO _x	CO	CO ₂	N ₂ O
LS	0	<1999	0.26	0.24	0.26	17.0	0.39	1.4	389	0.029
MS	0	<1999	0.26	0.24	0.26	13.2	0.43	1.4	649	0.029
LS	1	2000 -2001	0.26	0.24	0.26	16.0	0.39	1.4	589	0.029
MS	1	2000 -2001	0.26	0.24	0.26	12.2	0.43	1.1	649	0.029
LS	2	2011 - 2015	0.26	0.24	0.26	14.4	0.39	1.4	589	0.029
MS	2	2011 - 2015	0.26	0.24	0.26	10.5	0.43	1.1	649	0.029
LS	3	≥ 2016	0.26	0.24	0.26	3.4	0.39	1.4	589	0.029
MS	3	≥ 2016	0.26	0.24	0.26	2.6	0.43	1.1	649	0.029
GT	na	semua	0.01	0.01	0.00	5.7	0.61	0.2	922	0.075
ST	na	semua	0.14	0.13	0.00	2.0	0.61	0.2	922	0.075

(Port of Los Angeles Inventory of Air Emissions, 2014)

*) LS =Low Speed
MS =Medium Speed

GT = Gas Turbine
ST = Steam Turbine

Pada tabel 2.2 diatas menunjukkan faktor emisi mesin induk dengan bahan bakar *marine gas oil* (MGO) yang memiliki konten sulfur sebesar 0,1%. Sedangkan untuk faktor emisi mesin bantu dengan menggunakan bahan bakar lainnya dapat dilihat pada tabel 2.3 dibawah ini. Kapal di Indonesia yang beroperasi umumnya dibuat seelum tahun 2000 sehingga dapat diasumsikan semua kapal yang beroperasi masih dalam tahap sebelum Euro berlaku.

Tabel 2.3 Faktor Emisi Mesin Bantu berbahan Bakar MGO 0,1% Sulfur (gr/kWh)

Mesin	Tier	Tahun	PM ₁₀	PM _{2.5}	DPM	NO _x	SO _x	CO	CO ₂	N ₂ O
HS	0	≥ 1999	0.26	0.24	0.26	10.9	0.46	0.9	656	0.029
MS	0	≥ 1999	0.26	0.24	0.26	13.8	0.46	1.1	686	0.029
HS	1	2011 - 2015	0.26	0.24	0.26	9.8	0.46	0.9	656	0.029
MS	1	≥ 2016	0.26	0.24	0.26	12.2	0.46	1.1	686	0.029
HS	2	≥ 2016	0.26	0.24	0.26	7.7	0.46	0.9	656	0.029
MS	2	2011 - 2015	0.26	0.24	0.26	10.5	0.46	1.1	686	0.029
HS	3	≥ 2016	0.26	0.24	0.26	2.0	0.46	0.9	656	0.029
MS	3	≥ 2016	0.26	0.24	0.26	2.6	0.46	1.1	686	0.029

(Port of Los Angeles Inventory of Air Emissions, 2014)

*) HS = *High Speed*

MS = *Medium Speed*

Namun jika bahan bakar yang digunakan berbeda dari yang tertera pada tabel 2.3 diatas maka digunakan rumus *fuel correction factor* (FCF) yang terdapat pada rumus 1. *Fuel correction factor* (FCF) dapat dilihat pada Tabel 2.4. Hal ini digunakan untuk meminimalisir terjadinya kesalahan perhitungan emisi akibat data emisi akibat bahan bakar yang berbeda sehingga dibuat faktor koreksi bahan bakar.

Tabel 2.4 Faktor Koreksi Bahan Bakar

Bahan Bakar	NO _x	VOC	CO	SO _x	PM ₁₀	PM _{2.5}	DPM	CO ₂	N ₂ O
HFO (2,7% S)	1.00	1.00	1.00	1000	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
HFO (1.5% S)	1.00	1.00	1.00	0.555	0.82	0.82	0.82	1.00	1.00
MDO (1.5% S)	0.94	1.00	1.00	0.555	0.47	0.47	0.47	1.00	0.94
MGO (0.1% S)	0.94	1.00	1.00	0.037	0.17	0.17	0.17	1.00	0.94
MGO (0.3% S)	0.94	1.00	1.00	0.111	0.21	0.21	0.21	1.00	0.94
MGO (0.4% S)	0.94	1.00	1.00	0.148	0.21	0.23	0.23	1.00	0.94
MGO (0.5% S)	0.94	1.00	1.00	0.185	0.25	0.25	0.25	1.00	0.94

(Port of Los Angeles Inventory of Air Emissions, 2014)

*) HFO = *Heavy Fuel Oil*

MGO = *Marine Gas Oil*

MDO = *Marine Diesel Oil*

2.4.2. Harbour vessel

Harbour vessel adalah kapal yang melayani di pelabuhan tersebut yaitu kapal tunda, kapal komersil, kapal kru, kapal pemerintahan, kapal *harbour tug*, kapal *Anchor Handling Tug and Supply* (AHTS) dan lain-lain seperti pada gambar 2.5. Sebagai contoh kapal tunda digunakan untuk membantu kapal-kapal bersandar ke pelabuhan dengan mudah sehingga aktifitas kapal tunda juga menghasilkan emisi gas buang.



Gambar 2.5 Harbour Tug
(Remontowa, 2011)

Dimana perhitungan emisi untuk *harbour vessel* dapat menggunakan persamaan 1 dan 2 dengan menggunakan parameter untuk *load factor* (Tabel 2.1), faktor emisi mesin induk (Tabel 2.2), faktor emisi mesin bantu (Tabel 2.3), serta faktor koreksi bahan bakar yang digunakan (Tabel 2.4). Karena

sama-sama kapal maka digunakan tabel seperti pada sub bab OGV (*Ocean Going Vessel*).

2.4.3. Peralatan bongkar muat

Peralatan bongkar muat yakni peralatan yang membantu pengerjaan bongkar maupun muat barang seperti *crane*, *forklift*, dan lain-lain seperti pada gambar 2.6. Peralatan bongkar muat digunakan untuk memindahkan *container* yang pada awalnya berada didalam kapal kemudian dipindahkan menuju *container yard* sebagai tempat penumpukan sementara. *Container* yang berada di *container yard* dipindahkan menuju tempat penumpukan masing-masing perusahaan pelayaran.



Gambar 2.6 RTG Crane
(Alibaba, 2017)

Perhitungan emisi gas buang untuk *cargo handling equipment* akibat adanya aktifitas bongkar muat yang terjadi di masing-masing pelabuhan dengan berbagai jenis *cargo handling equipment* seperti RTG crane, *Straddle Carriers*, dan lain-lain. Masing-masing peralatan tersebut menghasilkan emisi pula. Perhitungan estimasi emisi pada *cargo handling equipment* dipelabuhan menggunakan persamaan US EPA, 2004.

$$CHE \text{ emission} = Pop \times Power \times LF \times EF \times Act \times CF \quad (3)$$

Dimana,

- Pop = Jumlah peralatan bongkar muat
- Power = Daya keluaran *Cargo Handling Equipment* (kW)
- LF = Faktor beban CHE
- EF = Faktor Emisi (gr/kWh)
- Act = Waktu operasional
- CF = Koefisien teknologi reduksi emisi

Faktor beban pada peralatan bongkar muat bervariasi seperti RTGC (*Rubber Tyre Gantry Crane*), *forklift*, *container handler*, *reach stalker*, dan lain-lain dapat dilihat pada tabel 2.5 dibawah ini. Hal ini dikarenakan lama waktu operasional masing-masing peralatan bongkar muat tidak sama sehingga terdapat faktor beban ditiap peralatan. Faktor beban ini juga terdapat pada POLA (*Port of Los Angeles Inventory of Air Emission*).

Tabel 2.5 Faktor Beban Peralatan Bongkar Muat

Peralatan Bongkar Muat	Faktor Beban
RTGC	0.20
Forklift	0.30
Container Handler	0.59
Reach Stalker	0.51
Contaoner Trailer	0.39

(Port of Los Angeles Inventory of Air Emissions, 2014)

*) RTGC = Rubber Tyre Gantry Crane

Faktor emisi dari peralatan bongkar muat sangat bervariasi seperti halnya *forklift*, *crane*, dan lain-lain. Ini menyebabkan perbedaan emisi yang dihasilkan, sehingga dibutuhkan faktor emisi untuk setiap peralatan bongkar muat dipelabuhan yang ada agar hasil yang didapatkan lebih akurat. Dimana faktor emisi peralatan bongkar muat dapat dilihat pada tabel 2.6 yang terdapat pada POLA (Port of Los Angeles Inventory of Air Emission).

Tabel 2.6 Faktor Emisi Peralatan Bongkar Muat

Peralatan	Faktor Emisi (gr/kWh)				
	HC	CO	NO _x	PM ₁₀	SO ₂
RTGC	0.5170	2.9807	6.4076	0.2559	0.0154
Forklift	0.4360	1.5514	5.0992	0.1132	0.0132
Crane	0.2264	1.1699	5.8297	0.0913	0.0131
Loader	0.4386	1.5787	5.1074	0.1313	0.0132
Excavator	0.4411	1.6048	5.1151	0.1586	0.0132
Sweeper	0.4149	1.0118	5.3666	0.0697	0.0131

(Port of Los Angeles Inventory of Air Emissions, 2014)

*) RTGC = Rubber Tyre Gantry Crane

2.4.4. Locomotive

Locomotive yakni kereta api yang digunakan untuk mengangkut kontainer menuju ke tempat tujuan yang jaraknya jauh sehingga membutuhkan kereta untuk mengangkutnya seperti pada gambar 2.7. Dengan adanya *locomotive* membuat entitas penghasil emisi bertambah sehingga emisi semakin tinggi, namun tidak ada penggunaan *locomotive* di pelabuhan Tanjung Perak.



Gambar 2.7 Locomotive
(Dreamstime, 2017)

Perhitungan emisi gas buang *locomotive* akibat adanya aktifitas transportasi pada saat bongkar muat yang terjadi dipelabuhan dihasilkan oleh lokomotif yang mengangkut kontainer menuju tempat tujuan. Persamaan yang digunakan dari POLA (*Port of Los Angeles Inventory of Air Emission*) untuk menghitung emisi terdapat beberapa yakni yang pertama perhitungan faktor emisi.

$$EF_{iRR} = EF_{iT} \times f_{RR} \quad (4)$$

Dimana,

EF_{iRR} = Faktor emisi (gm/gal) f_{iRR} = Fraksi lokomotif

EF_{iT} = Faktor emisi (gm/gal) pada tabel 2.7

Tabel 2.7 Faktor Emisi Berdasarkan Tier

Tahun	Satuan dalam gm/gal			
	PM ₁₀	HC	NO _x	CO
<1973	6.656	9.984	270.4	26.624
Tier 0 (1973 – 2001)	6.656	9.984	178.88	26.624
Tier 1 (2002 - 2004)	6.656	9.776	139.36	26.624
Tier 2 (>2005)	3.744	5.408	102.96	26.624

(US. EPA, 2016)

Selanjutnya yakni perhitungan konsumsi bahan bakar yang digunakan oleh lokomotif tersebut menggunakan persamaan,

$$RFCI = \frac{GTM}{FC} \quad (5)$$

Dimana,

$RFCI$ = *Railroad Fuel Consumption Index* GTM = *Gross Ton-Miles*

FC = *Fuel Consumption*

Terakhir adalah perhitungan emisi lokomotif berdasarkan gandingan (*link*) dengan cara membagi banyaknya muatan dengan indeks konsumsi bahan bakar dikali dengan faktor emisi seperti persamaan 6.

$$E = \frac{\left(\frac{MGT \times 10^6}{N}\right) \times l}{RFCI} \times EF \quad (6)$$

Dimana,

- E = Polusi Emisi (ton/tahun)
- N = Jumlah gandengan
- MGT = *Million Gross Tons* per link per year
- l = Panjang gandengan
- RFCI = Indeks Konsumsi Bahan Bakar RR
- EF = Faktor Emisi

2.4.5. Heavy duty vehicle

Heavy duty vehicle digunakan untuk memindahkan *cargo* menuju dari tempat *container yard* milik perusahaan ekspedisi ke *container yard* terminal dimana contohnya seperti *truck* yang menarik kontainer dimana dapat dilihat pada gambar 2.8. Umumnya *heavy duty* yang digunakan menggunakan mesin diesel dimana torsi yang dihasilkan lebih besar dibandingkan mesin bensin.



Gambar 2.8 *Heavy Duty Vehicle*
(Port of Los Angeles, 2014)

Perhitungan emisi gas buang *heavy duty vehicle* akibat aktifitas transportasi pada saat bongkar muat yang terjadi dipelabuhan yang dihasilkan dari truk yang mengangkut kontainer menuju ke tempat penyimpanan petikemas. Persamaan yang digunakan dari US. EPA (*United State Enviromental Protection Agency*) yang terdapat pada POLA (*Port of Los Angeles Inventory of Air Emission*) untuk menghitung emisi.

$$\text{Transportation emission} = \text{Pop} \times \text{Power} \times \text{LF} \times \text{EF} \times \text{Act} \times \text{CF} \quad (7)$$

Dimana,

- Pop = Jumlah truk (HDV)
- Power = Daya keluaran HDV (kW)
- LF = Faktor beban HDV
- EF = Faktor Emisi (gr/kWh)

Act = Waktu operasional
 CF = Koefisien teknologi reduksi emisi

Untuk faktor emisi di Indonesia hanya sampai berstandar EURO 2 yang telah dilaksanakan pada awal tahun 2005 melalui Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 141 Tahun 2003, sehingga dapat disimpulkan kendaraan di Indonesia secara umum saat ini mulai dari mobil pra-EURO sampai dengan EURO 2. Semakin tinggi EURO-nya maka semakin ramah lingkungan dimana daftar faktor emisi di Indonesia dapat dilihat pada tabel 2.8 (Novianti, 2009).

Tabel 2.8 *Heavy Duty Highway Compression Ignition Engine*

Tahun	HC	NMHC +NO _x	NO _x	PM	CO
	(g/kWh)	(g/kWh)	(g/kWh)	(g/kWh)	(g/kWh)
1994 - 97	1,3	-	5,0	0,1	15,5
1998 - 2003	1,3	-	5,0	0.1	15,5
2004 - 2006	-	2,4	-	0.1	15,5
>2007	-	2,4	0,2	0,1	15,5

(US. EPA, 2016)

Sedangkan berdasarkan Peraturan yang berlaku di Indonesia dikeluarkan oleh Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 04. Tahun 2009 Tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Tipe Baru untuk *Heavy Duty Vehicle* berpengerak mesin penyalaan kompresi dapat dilihat pada tabel 2.9 dibawah ini.

Tabel 2.9 Ambang Batas Kendaraan Bermotor Kategori M, N, dan O

Kategori	Parameter	Nilai Ambang Batas
		Metode Uji ECE R49 - 02
M2, M3, N2, N3, O3, dan O4, GVW > 3.5 Ton	CO	4.0 gr/kWh
	HC	1.1 gr/kWh
	NO _x	7.0 gr/kWh
	PM	0.25 gr/kWh

(Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup, 2009)

*) GVW: *Gross Vehicle Weight* adalah jumlah berat yang diperbolehkan

M2 : Kendaraan bermotor yang digunakan untuk angkutan orang dan mempunyai lebih dari delapan tempat duduk tidak termasuk tempat duduk pengemudi dan mempunyai jumlah berat yang diperbolehkan (GVW) sampai dengan 5 ton

M3 : Kendaraan bermotor yang digunakan untuk angkutan orang dan mempunyai lebih dari delapan tempat duduk tidak termasuk tempat duduk pengemudi dan mempunyai jumlah berat yang diperbolehkan (GVW) lebih dari 5 ton

- N3 : Kendaraan bermotor yang digunakan untuk angkutan barang dan mempunyai jumlah berat yang diperbolehkan (GVW) lebih dari 3.5 ton tetapi tidak lebih dari 12 ton
- O : Kendaraan bermotor penarik untuk gandengan atau tempel
- O3 : Kendaraan bermotor penarik dengan jumlah berat kombinasi diperbolehkan (GVW) lebih dari 3.5 ton tetapi tidak lebih dari 10 ton
- O4 : kendaraan bermotor penarik dengan jumlah berat kombinasi yang diperbolehkan (GVW) lebih dari 10 ton

2.5. Standar Emisi Gas Buang

Standar emisi gas buang bermacam-macam mulai dari emisi gas buang kendaraan bermotor baik yang berbahan bakar bensin maupun solar. Dimana diatur pada Peraturan Pemerintah yang berlaku. Tidak hanya gas buang dari kendaraan bermotor saja melainkan dari peralatan bongkar-muat serta permesinan dari kapal yang sedang bersandar di tiap Terminal yang ada di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya.

2.5.1. Standar Emisi Gas Buang Kapal

Berdasarkan peraturan *international Maritime Organization* (IMO) mengadopsi MARPOL 73/78 (*Marine Pollution*) Annex VI tentang Pencegahan Polusi Udara dari Kapal. Pada MARPOL 73/78 (*Marine Pollution*) Annex VI Regulasi 13 Tentang Nitrogen Oksida (NO_x) memperhatikan hasil emisi NO_x mesin diesel yang digunakan, dimana setiap mesin diesel dengan daya keluaran lebih dari 130 kW yang diaplikasikan pada kapal yang dibangun pada atau setelah 1 Januari 2000.

Regulasi ini tidak diaplikasikan pada mesin diesel darurat pada *lifeboats* atau peralatan yang berhubungan dengan keadaan darurat. Pembatasan kandungan NO_x bergantung pada tahun pembuatan mesin ataupun kapal tersebut dan terbagi menjadi Tier 1, Tier 2, Tier 3 seperti pada tabel 2.10 yang diatur berdasarkan tahun pembuatan mesin maka semakin baru mesin tersebut maka emisi yang dihasilkan harus semakin sedikit.

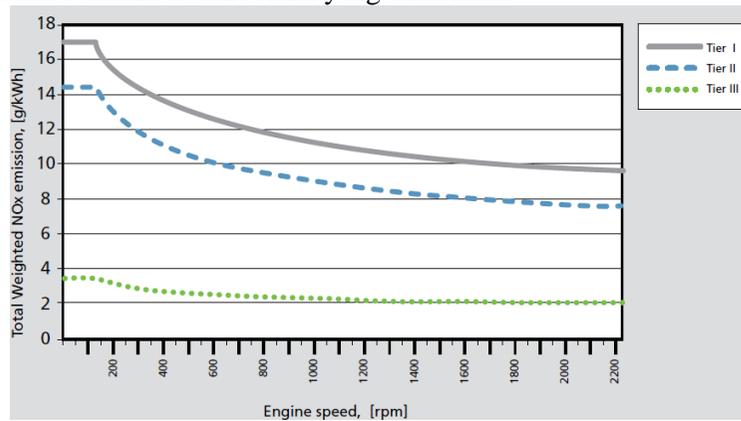
Tabel 2.10. Batas NO_x berdasarkan MARPOL 73/78 Annex VI

Batas NO _x untuk mesin baru berdasarkan Tier	Tanggal Berlaku	gr/kWh (Emisi NO _x)
Tier 1	1 Januari 2000	17
Tier 2	1 Januari 2011	14.4
Tier 3	1 Januari 2016 (digunakan ECA / Emission Control Area)	3.4

(MARPOL 73/78 Annex VI, 2010)

Dari tabel 2.10 diatas dapat dilihat bahwa pada tahun 2000 itu merupakan batas kandungan NO_x tertinggi, lalu pada tahun 2011 berkurang sebesar 8% dari tahun 2000, serta kandungan NO_x pada tahun 2016 sangat berkurang sangat pesat sebesar 23% dari tahun sebelumnya. Pada gambar 2.9 dapat dilihat ilustrasi NO_x yang diperbolehkan oleh IMO dari tier 1, tier 2,

tier 3. Pada setiap Tier memiliki batas emisi yang dihasilkan semakin tinggi Tier maka semakin sedikit emisi yang dihasilkan.



Gambar 2.9. Batas NOx yang diperbolehkan MARPOL 73/78 Annex VI (MARPOL 73/78 Annex VI Regulasi 13, 2010)

Berdasarkan MARPOL 73/78 Annex VI Regulasi 14 tentang kandungan sulfur oksida (SO_x) dan *particulate matter* (PM) yang diadopsi oleh IMO pada 10 oktober 2008 (DNV, 2009). Secara global kandungan sulfur lebih tinggi dibandingkan dengan pelabuhan yang meratifikasi ECA (*Emission Control Area*). Dimana perbedaan emisi sulfur oksida (SO_x) dapat dibedakan menjadi dua yakni secara global dan ECA seperti pada 2.11 dibawah ini.

Tabel 2.11. Batas SO_x dan PM berdasarkan MARPOL Annex VI Regulasi 14

SO _x secara global	
Tanggal berlaku	Kandungan SO _x
1 Januari 2012	4.5% Sulfur
1 Januari 2020	0.5% Sulfur
SO _x yang berlaku di ECA	
Tanggal berlaku	Kandungan SO _x
1 Maret 2010	1% Sulfur
1 Maret 2015	0.1% Sulfur

(MARPOL Annex VI Regulasi 14, 2010)

2.5.2. Standar Emisi Gas Buang Peralatan Bongkar Muat Pelabuhan

Berdasarkan US. EPA (*United State Environmental Protection Agency*) tentang *nonroad compression-ignition engine: exhaust emission standards* tahun 2016 terdapat batasan emisi gas buang baik itu HC (*Hydrocarbon*), NO_x (*Nitrogen Oksida*), SO_x (*Sulfur Oksida*), PM (*Particulate Matter*), maupun CO_x (*Karbon Oksida*) yang telah diatur berdasarkan daya keluaran mesin tersebut seperti pada tabel 2.12.

Tabel 2.12. Batas Emisi Peralatan Bongkar Muat di Pelabuhan

Daya Mesin (kW)	Tier	Tahun Pembuatan	NMHC + NO _x (gr.kWh)	PM (gr/kWh)	CO (gr/kWh)
kW < 8	1	2000 – 2004	10.5	1.0	8.0
	2	2005 – 2007	7.5	0.8	8.0
8 ≤ kW < 19	1	2000 – 2004	10.5	0.8	6.6
	2	2005 – 2007	7.5	0.8	6.6
	3	2008 +	7.5	0.4	6.6
19 ≤ kW < 37	1	1999 – 2003	9.5	0.8	5.5
	2	2004 – 2007	7.5	0.6	5.5
	3	2008 – 2012	7.5	0.3	5.5
		2013 +	4.7	0.03	5.5
19 ≤ kW < 37	1	1998 – 2003	9.5	0.8	5.5
	2	2004 – 2007	7.5	0.6	5.5
	3	2008 – 2012	7.5	0.3	5.5
		2013 +	4.7	0.03	5.5

(US. EPA, 2016)

2.5.3. Standar Emisi Gas Buang *locomotive*

Berdasarkan US. EPA (*United State Environmental Protection Agency*) tentang *locomotive: exhaust emission standards* tahun 2016 terdapat batasan emisi gas buang lokomotif baik itu HC (*Unburn Carbon*), NO_x (*Nitrogen Oksida*), SO_x (*Sulfur Oksida*), PM (*Particulate Matter*), maupun CO_x (*Karbon Oksida*) yang telah diatur berdasarkan tahun pembuatan seperti pada tabel 2.13.

Tabel 2.13. Batas Emisi Lokomotif

Siklus Kerja	Tier	Tahun	HC (gr/kWh)	NO _x (gr/kWh)	PM (gr/kWh)	CO (gr/kWh)
Line-Haul	0	1973 - 1992	1.00	9.5	0.22	5.0
Line-Haul	1	1993 - 2004	0.55	7.4	0.22	2.2
	2	2005 - 2011	0.30	5.5	0.10	1.5
	3	2012 - 2014	0.03	5.5	0.10	1.5
	4	>2015	0.14	1.3	0.03	1.5
Switch	0	1973 – 2001	2.10	11.8	0.26	8.0
	1	2002 – 2004	1.20	11.0	0.26	2.5
	2	2005 – 2010	0.60	8.1	0.13	2.4
	3	2011 – 2014	0.60	5.0	0.10	2.4
	4	>2015	0.14	1.3	0.03	2.4

(US. EPA, 2016)

*) *Line-Haul* = Lokomotif yang digunakan menarik muatan dengan presentase waktu dan daya yang besar

Switch = Lokomotif yang digunakan menarik muatan dengan presentase waktu dan daya rendah yang lebih banyak pada kondisi *idle*

2.5.4. Standar Emisi Gas Buang *Heavy Duty Vehicle* (HDV)

Berdasarkan US. EPA (*United State Environmental Protection Agency*) tentang *heavy-duty highway compression-ignition engine and urban buses: exhaust emission standards* tahun 2016 terdapat batasan emisi gas buang baik itu HC (*Unburn Carbon*), NO_x (Nitrogen Oksida), SO_x (Sulfur Oksida), PM (*Particulate Matter*), maupun CO_x (Karbon Oksida) yang telah diatur berdasarkan daya keluaran mesin tersebut seperti pada tabel 2.14.

Tabel 2.14. Batas Emisi Pada *Heavy Duty Vehicle* (HDV)

Tahun Pembuatan	HC (gr/kWh)	NMHC (gr/kWh)	NMHC + NO _x (gr/kWh)	NO _x (gr/kWh)	PM (gr/kWh)	CO (gr/kWh)
1998 - 2003	1.3	-	2.4	-	0.1	15.5
2004 - 2006	-	-	2.4	-	0.1	15.5
2007 +	-	0.14	2.4	0.2	0.01	15.5

(US. EPA, 2016)

2.5.5. Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU)

ISPU atau Indeks Standar Pencemaran Udara adalah pengukuran emisi gas buang di Indonesia. Berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup nomor: KEP-45/MENLH/10/1997 kriteria kualitas udara dapat dibedakan menjadi 5 yakni baik, sedang, tidak sehat, sangat tidak sehat, dan berbahaya seperti yang dijelaskan pada tabel 2.15.

Tabel 2.15. Kriteria Kualitas Udara

Kategori	Rentang	Penjelasan
Baik	0 - 51	Tingkat kualitas udara yang tidak memberikan efek bagi kesehatan manusia atau hewan dan tidak berpengaruh pada tumbuhan, bangunan, ataupun nilai estetika
Sedang	51 - 101	Tingkat kualitas udara yang tidak memberikan efek bagi kesehatan manusia atau hewan tetapi berpengaruh pada tumbuhan yang sensitif dan nilai estetika
Tidak Sehat	101 - 199	Tingkat kualitas udara yang bersifat merugikan pada manusia ataupun kelompok hewan yang sensitif atau bisa menimbulkan kerusakan pada tumbuhan ataupun nilai estetika
Sangat Tidak Sehat	200 - 299	Tingkat kualitas udara yang dapat merugikan kesehatan pada sejumlah segmen populasi yang terpapar
Berbahaya	300 - 3000	Tingkat kualitas udara berbahaya yang secara umum dapat merugikan kesehatan yang serius pada populasi

(Kementrian Lingkungan Hidup, 2010)

Berdasarkan pasal 5 PP. 41 Tahun 1999 dinyatakan bahwa daerah dapat menetapkan BMUA daerah berdasarkan status mutu udara ambien di daerah yang bersangkutan melalui keputusan gubernur. BMUAN daerah ditetapkan

sebagai batas maksimum kualitas udara ambien daerah yang diperbolehkan dan berlaku diseluruh wilayah udara di atas batas administrasi daerah, dengan ketentuan sama dengan atau lebih ketat dari baku mutu udara ambien nasional. Tabel 2.16 ini menunjukkan BMUAN sebagaimana tercantum dalam Lampiran PP. No. 41 Tahun 1999.

Tabel 2.16. Baku Mutu Udara Ambien Nasional

No	Parameter	Waktu Pengukuran	Baku Mutu
1	Sulfur Dioksida (SO ₂)	1 jam	900 ug/Nm ³
		24 jam	365 ug/Nm ³
		1 tahun	60 ug/Nm ³
2	Karbon Monoksida (CO)	1 jam	30000 ug/Nm ³
		24 jam	10000 ug/Nm ³
		1 tahun	-
3	Nitrogen Dioksida (NO ₂)	1 jam	400 ug/Nm ³
		24 jam	150 ug/Nm ³
		1 tahun	100 ug/Nm ³
4	Oksida (O ₃)	1 jam	235 ug/Nm ³
		24 jam	-
		1 tahun	50 ug/Nm ³
5	Hidrokarbon	3 jam	160 ug/Nm ³
6	Partikulat < 10 um (PM ₁₀)	1 jam	-
		24 jam	150 ug/Nm ³
		1 tahun	-
	Partikulat < 2.5)PM 2.5)	1 jam	-
		24 jam	66 ug/Nm ³
		1 tahun	15 ug/Nm ³
7	Debu	1 jam	-
		24 jam	230 ug/Nm ³
		1 tahun	90 ug/Nm ³
8	Timah Hitam (Pb)	1 jam	-
		24 jam	2 ug/Nm ³
		1 tahun	1 ug/Nm ³
9	<i>Dustfall</i> (Debu Jatuh)	1 jam	235 ug/Nm ³
		24 jam	-
		1 tahun	50 ug/Nm ³

Lanjutan Tabel 2.16

No	Parameter	Waktu Pengukuran	Baku Mutu
10	Total <i>Flourides</i> (Sebagai F)	24 jam	3 ug/Nm ³
		90 hari	10 Ton/km ² /bulan
11	<i>Flour</i> Indeks	30 hari	440 ug/100cm ² dari kertas lime filter
12	Klorin dan Klorin Dioksida	24 jam	150 ug/Nm ³

(Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup, 2010)

*) Nomor 10 sampai dengan 12 hanya diberlakukan untuk daerah/lawasan industri kimia dasar, seperti industri petrokimia dan industri pembuatan asam sulfat.

2.6. Dinamika Sistem

Dinamika Sistem (*System Dynamic*) adalah sistem yang dipengaruhi oleh waktu dengan pendekatan sistem konvensional untuk kompleksitas masalah skala besar. Dinamika sistem ini saling berkaitan antara interaksi dari berbagai elemen sistem dalam rentang waktu serta aspek dinamis dengan memasukan konsep seperti arus, ketersediaan, umpan baik ataupun penundaan. Hal ini yang memberikan wawasan tentang perilaku dinamis suatu sistem dari waktu ke waktu (Victor Tang & Samudra Vijay, 2001).

Dinamika sistem dapat diumpamakan sebagai perluasan rekayasa sistem (*System Engineering*) serta analisa sistem (*System Analysis*). Pada umumnya dinamika sistem memperhitungkan perilaku dinamis yang dihasilkan karena adanya penundaan ataupun masukan dalam sistem. Jay W Forrester dari Massachusetts Institute Of Technology (MIT) USA *Sloan School of Management* adalah penemu metode dinamika sistem tepatnya pada tahun 1950.

Pada awalnya metode ini digunakan untuk ruang lingkup ilmu manajemen industri dan akhirnya dikembangkan serta diaplikasikan pada bidang ekonomi, teknik, dan sosial. Dinamika sistem merupakan sudut pandang dari konsep yang memudahkan kita dalam memahami maupun mengenali struktur dinamika sistem yang kompleks. Dinamika sistem adalah sebuah metode pemodelan yang memudahkan kita dalam membuat simulasi komputer formal dari sistem yang sangat kompleks serta menggunakannya untuk mengambil ataupun membuat kebijakan yang lebih efektif (Serman, 2000).

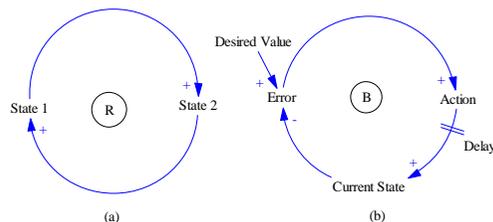
Dinamika sistem dasarnya adalah teori dinamika non linear serta kontrol umpan balik, namun dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kognitif, psikologi sosial, ekonomi maupun ilmu sosial lainnya untuk mempertimbangkan sebuah perilaku sistem yang kompleks (Serman, 2000). Pada bidang *safety system*, dinamika sistem digunakan pada hal yang penting untuk menganalisa suatu kecelakaan serta juga bisa digunakan sebagai masukan ataupun usulan untuk mengambil kebijakan sistem keselamatan (Marais et al. (2006).

Mudahnya, dinamika sistem merupakan metode. Metode yang memudahkan analisa dijabarkan menjadi sistem sosial maupun perilaku, ke komponen yang kemudian diintegrasikan menjadi keseluruhan yang utuh serta dapat digambarkan ataupun disimulasikan. Unsur – unsur dasar dalam model dinamika sistem antara lain memperkuat *Loop (Reinforcing Loop)*, Menyeimbangkan *Loop (Balancing Loop)* dan keterlambatan (*Delay*) :

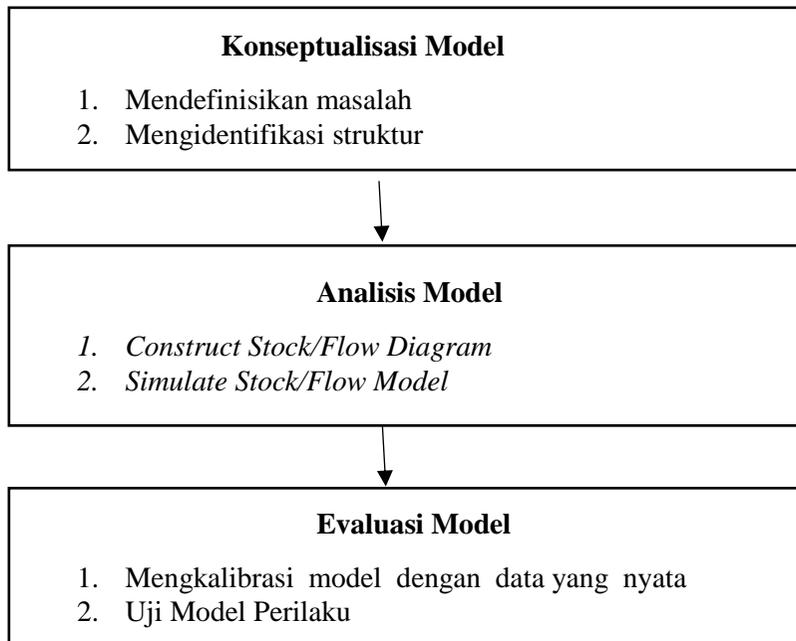
- Memperkuat *Loop (Reinforcing Loop)* adalah suatu perilaku yang membuat penambahan perilaku yang menjadikan keuntungan. Sebagai contoh pada gambar 2.10 (a) menggambarkan kenaikan *state 1* yang mengakibatkan konsekuensi positif pada *state 2* dimana disimbolkan oleh “+” yang menjadikan kenaikan pada *state 1*. Contohnya adalah peningkatan investasi dalam bentuk pelatihan para karyawan agar dapat meningkatkan kinerja karyawan sehingga dapat menguntungkan perusahaan ditempatnya bekerja. Memperkuat *Loop (Reinforcing Loop)* bisa diaplikasikan pada konsekuensi negatif yang dapat mengakibatkan penurunan, seperti kebalikan dari contoh yang dijelaskan diatas.
- Menyeimbangkan *Loop (Balancing Loop)* diaplikasikan ketika perilaku tersebut ingin dirubah melalui beberapa tindakan agar tercapai perubahan yang diinginkan dimasa depan. Seperti pada gambar 2.10 (b), *Loop* umpan balik negatif dalam teori kontrol. Kekuatan mendorong agar terjadi perubahan dalam lingkaran adalah besarnya kesenjangan antara tujuan dan keadaan saat ini.
- Keterlambatan (*Delay*) diaplikasikan pada model waktu yang mengakibatkan efek akibat dari perubahan tersebut. Kejadian ini divisualisasikan pada gambar 2.10 (b) dengan tanda garis ganda yang diakibatkan oleh penundaan akibat dari tindakan yang dianggap gagal atau salah sebelum mencapai hasil yang diinginkan.

2.7. Proses Pemodelan Dinamika Sistem

Proses pemodelan dinamika sistem digunakan untuk memudahkan pemetaan entitas yang dapat mempengaruhi hasil ataupun tujuan sehingga dapat mengetahui entitas yang mempengaruhinya. Pada tahun 1961, J.W. Forrester mengenalkan konsep dinamika sistem dan metodologi yang digunakan untuk membuat model dinamika sistem adalah,



Gambar 2.10. *Reinforcing Loop (a); Balancing Loop and Delay (b)*
(Y. Lu et al, 2016)



Gambar 2.11. Dasar Pemodelan Dinamika Sistem
(Cooke,2006)

Terdapat beberapa literatur yang telah menjelaskan serta menjabarkan mengenai model dinamika sistem seperti halnya (Forrester, 1961; Moizer, 1999; Stermann, 2000; Cooke and Rohleder, 2006; Bouloiz et al., 2013). Dasar dari proses pemodelan dapat dijabarkan dari tiga langkah utama seperti pada gambar 2.11 yang dijelaskan sebagai berikut:

a. Konseptualisasi Model

Ini merupakan tahap awal dimana dasar dari definisi masalah keselamatan serta mengidentifikasi hal-hal yang mungkin menyebabkan serta memberikan kontribusi pada masalah. Dimana dibutuhkan data seperti berikut:

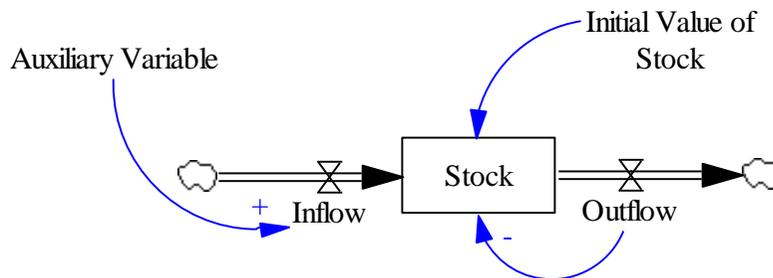
1. Asumsi pribadi berdasarkan pengalaman praktis, seperti temuan – temuan pada penyelidikan di lapangan.
2. Studi akademis, seperti data dari penelitian yang sudah pernah dilakukan
3. Data numerik, seperti faktor statistik ataupun hasil percobaan yang sudah pernah dilakukan.

Berikutnya dilakukan pengembangan *Causal Loop Diagram* (CLD) yang berguna untuk memvisualisasikan hubungan antara penyebab maupun akibat dari struktur masalah. Siklus umpan balik (*Feedback*) dan penundaan (*Delay*) tersebut dapat diaplikasikan pada diagram siklus penyebab (*Causal Loop Diagram*).

b. Analisa Model

Pada Tahap kedua yaitu analisa model (*Model Analysis*), *Causal Loop Diagram* diubah menjadi *stockflow diagram* (SFD) yang dapat menggambarkan struktur penyebab (*causal structure*). Pada konseptualisasi model, dimana modelnya diubah menjadi persamaan dinamika sistem. Pada *stockflow diagram* (SFD), seluruh *variable* didefinisikan secara jelas untuk membuat model kuantitatif dengan *variable* waktu serta mempertimbangkan *variable* dari waktu ke waktu. Keempat unsur dasar *variable* dapat digunakan dan pada gambar 2.12 menggambarkan notasi pemodelan dinamika sistem.

- *Variabel stock* (Integrasi) menggambarkan sistem *state* yang menyediakan dasar untuk mengambil tindakan, inersia maupun teori memori, contohnya kemampuan dari nahkoda kapal.



Gambar 2.12. Notasi Pemodelan Dinamika Sistem
(Y. Lu et al, 2016)

- *Aliran Variabel (Derivatives)* menggambarkan tingkat perubahan *variable* stock, contohnya tingkat belajar nahkoda kapal untuk meningkatkan keahlian nahkoda dalam pelatihan. Stock mengumpulkan ataupun mengintegrasikan arus.

$$\text{Stock}(t) = \int_{t_0}^t [\text{inflow}(s) - \text{outflow}(s)] ds + \text{Stock}(t_0) \quad (9)$$

- *Variabel Bantu (Auxiliary Variables)* digunakan untuk menjadi eksogen *variable* maupun bentuk fungsi, contohnya kurva belajar dari nahkoda kapal.
- *Konstanta* menggambarkan *variable* eksogen yang akan berubah secara perlahan – lahan sehingga dapat dianggap konstan dari waktu ke waktu, misalnya kemampuan yang diinginkan seorang nahkoda.

c. Evaluasi Model

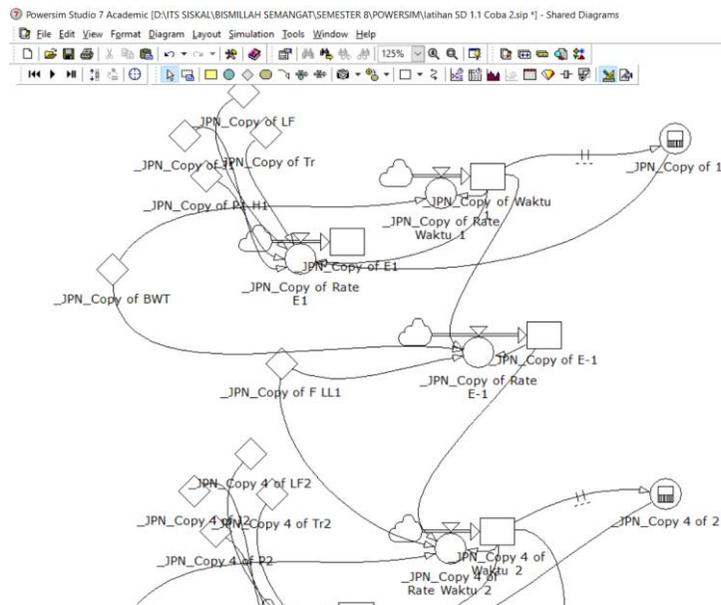
Stockflow Diagram (SFD) digunakan untuk validasi agar dapat mengetahui apakah itu dapat menggambarkan perilaku masa lalu didunia nyata dalam waktu yang telah ditetapkan pada langkah a (pertama). Tes parameter sensitivitas dibutuhkan pada tahap awal. Untuk mengetahui variabel yang dibutuhkan dalam sebuah pembuatan analisa permasalahan atau beberapa hal – hal yang belum diketahui. Perlu diketahui bahwa

mengevaluasi kinerja *safety* atas kerangka waktu yang telah ditetapkan dapat menimbulkan ketidaktepatan prediksi dari model (Y. Lu et al, 2016).

2.8. Pengenalan *Software Pengolah Data (Powersim Studio)*

Pada tahun 1950 *Massachusetts Institute Of Technology (MIT)* mengembangkan simulasi pemodelan dinamika sistem dengan menggunakan komputer. Dimana pada awalnya alat pengolah data dinamika sistem digunakan sebagai alat untuk seorang *manager* untuk melakukan analisa yang kompleks. Penggunaan pemodelan pada *software* dinamika sistem memudahkan dalam membuat pola yang terjadi dari waktu ke waktu.

Software pengolahan data untuk model dinamika sistem ada beberapa diantaranya seperti *Stella Software, PowerSim Studio, Vensim* dan beberapa *software* pengolahan lain. *Powersim Studio* digunakan dalam memudahkan pemodelan serta dengan *licensed* memudahkan dalam pembuatan dinamika sistem dimana *Powersim Studio 7* memiliki kelengkapan sehingga dapat membuat dinamika sistem secara kompleks (Malczynski, 2011).



Gambar 2.13. Tampilan Muka Powersim Studio

Pada *software powersim studio 7* terdapat *symbol, level* dan *auxiliary*. *Symbol* digunakan pada pembuatan model yang merepresentasikan *variable* bantu, *level* dan *flow*. *Level* adalah penjumlahan maupun akumulasi dari *flow* sehingga menyebabkan perubahan *level* tersebut. *Auxiliary* berperan sebagai bentuk kombinasi informasi dalam model. Pada *software powersim studio 7* terdapat diagram – diagram yang sebagai wujud pemodelan dari sebuah sistem yang akan dijalankan. Diagram tersebut antara lain yaitu :

- *Constructor*

Diagram yang digunakan untuk membuat model dan user interface pada setiap komponen dalam melakukan sebuah simulasi untuk pemodelan.

- *Interaction*

Diagram yang digunakan untuk membuat model dan *user* tetapi tidak dapat membuat *variable*, *flow* dan *links*.

Pada *software powersim studio 7* terdapat beberapa *variable* yang saling berhubungan satu-sama lain. *Variable – variable* tersebut terdiri atas submodel yang merupakan *hierarchical*, *level* sebagai akumulasi dari sistem yang dimodelkan, *auxiliary* sebagai pengolah informasi – informasi yang ada dan *constant* sebagai perhitungan yang hanya pada tahap awal simulasi yang bernilai konstan (*PowerSim Users Guide*, 2011).

Stock and flow diagram adalah model dinamika sistem yang menggambarkan hubungan yang terjadi antara beberapa variabel pada suatu sistem yang sedang beroperasi (Handani, et al., 2004). Dalam tugas akhir ini digunakan *software Powersim Studio 7* untuk memodelkan emisi dari gas buang kapal yang sedang melakukan bongkar muat di terminal berlian, mirah dan tps. *Powersim* adalah *software* simulasi dinamika sistem yang menggunakan pemodelan berbasis komputer. Pada *Powersim Studio 7* terdapat empat *item* utama yaitu *stock/level*, *auxiliary*, *constant*, dan *flowrate*.

- *Stock/Level*

Stock atau *level* menggambarkan variabel yang dicari nilainya. Selain itu berguna untuk mengakumulasi nilai dari hasil masukan yang ditentukan oleh *rate* (Priharanto, 2015). Gambar 2.14 menunjukkan simbol *level* yang terdapat pada Powersim Studio 7.



Level_1

Gambar 2.14. *Stock/Level*

- *Auxiliary*

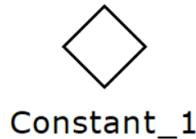
Auxiliary berguna sebagai memasukkan informasi berupa rumus. Gambar 2.15 menunjukkan symbol *Auxiliary* yang terdapat pada Powersim Studio 7.



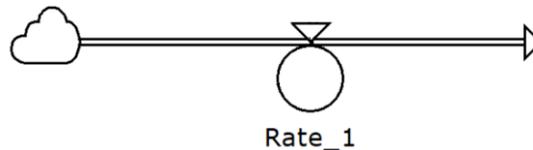
Auxiliary_1

Gambar 2.15. *Auxiliary*

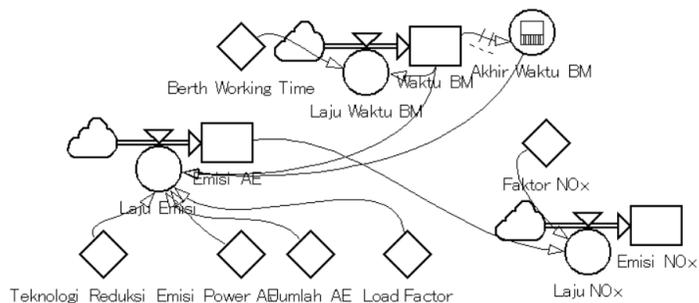
- *Constant*
Constant berguna sebagai inputan untuk memberikan informasi hasil yang dicari nilainya. Gambar 2.16 menunjukkan symbol *Constant* yang terdapat pada Powersim Studio 7.

Gambar 2.16. *Constant*

- *Flowrate*
Flowrate menunjukkan arah kerja dari suatu sistem. Gambar 2.17 menunjukkan symbol *Flowrate* yang terdapat pada powersim studio 7.

Gambar 2.17. *Flowrate*

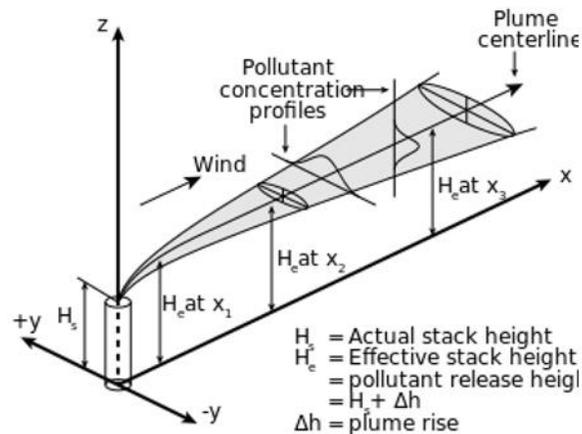
Setelah mengetahui item-item dalam *powersim studio 7*, selanjutnya diagram dari simulasi emisi gas buang kapal yang sedang melakukan bongkar muat di terminal berlian, mirah dan tps dibuat. Gambar 2.18 dibawah merupakan contoh dari model simulasi jumlah emisi NO_x yang dihasilkan dari aktifitas bongkar muat. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat di lampiran.

Gambar 2.18. Contoh Diagram Simulasi Jumlah Emisi NO_x

2.9. Gaussian Plume Model dan Software Screen View 4.0.1

Terdapat beberapa jenis model yang digunakan untuk memperkirakan konsentrasi polutan dari sumber polusi. Salah satunya adalah Model Gaussian Plume yang dapat digunakan untuk menghitung sebaran dan konsentrasi polutan dari suatu ketinggian hingga dipermukaan tanah dari sumber polusi (Colls, 2002). Model ini sering digunakan dalam penelitian yang berhubungan dengan sebaran polusi udara. Selain mudah dimengerti dan mudah diaplikasikan, saat ini model gaussian plume telah mendapatkan persetujuan

internasional (Altwicker, 2000). Skema dari model Gaussian plume dapat dilihat pada gambar 2.19 dibawah ini.



Gambar 2.19. Model Gaussian Plume
(Seinfeld, 1975)

Pertimbangan dari model ini adalah titik sumber polutan yang digambarkan diatas melalui sebuah cerobong dari sebuah pabrik. Dari sumber tersebut dapat dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai konsentrasi polutan di beberapa titik penerima (reseptor). Pada gambar diatas dapat dilihat sumbu x berada sejajar dengan arah angin. Polutan dalam model ini disebut *plume* yang bergerak ke arah sumbu x dan menyebar ke arah sumbu x dan y. Saat hal itu terjadi maka terjadi pula *lavelling* atau penurunan konsentrasi dari polutan.

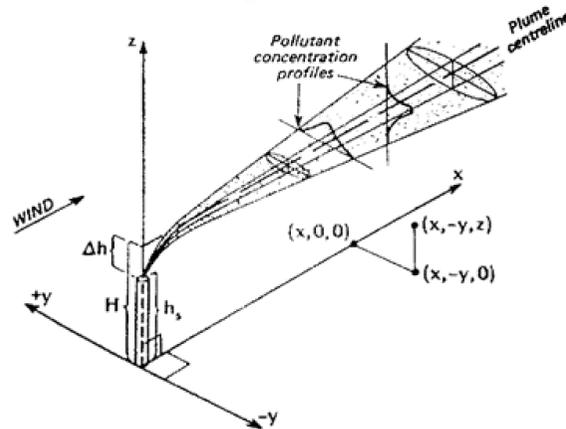
2.9.1. Sebaran Polutan dari Sumber Polutan

Plume adalah polutan yang keluar dari cerobong menuju atmosfer. Plume dipengaruhi beberapa faktor antara lain sifat fisik maupun kimia yang dimiliki polutan tersebut, parameter meteorologi yang terjadi pada beberapa periode maupun topografi daerah disekitar sumber. Secara umum, tinggi konsentrasi polutan dipengaruhi oleh jarak dari sekitar sumber dan beberapa kilometer searah dengan arah angin bertiup (Colls, 2002).

2.9.2. Tinggi Kepulan dan Pergerakan *Plume*

Ketinggian dari *plume* sangat penting karena ketinggian keputan menentukan konsentrasi polutan yang berada dipermukaan tanah, semakin tinggi *plume* yang keluar dari cerobong maka semakin besar pula jumlah polutan yang terbawa oleh angin sehingga konsentrasi polutan semakin menurun. Ketinggian dari keputan *plume* mempengaruhi temperatur emisi, kecepatan emisi, dan kecepatan horizontal angin. Pada gambar 2.20 tinggi efektif cerobong merupakan hasil penjumlahan dari tinggi cerobong dengan tinggi keputan *plume* (Δh).

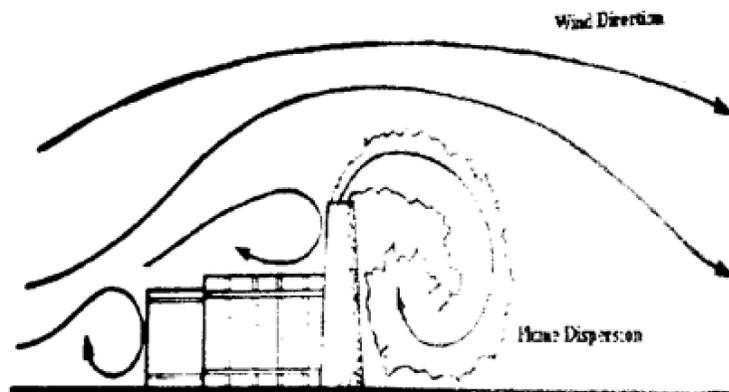
Kecepatan horizontal angin dapat mempengaruhi keputan *plume* semakin tinggi kecepatan angin maka semakin rendah *plume*. Walaupun semakin tinggi kecepatan angin menurunkan keputan *plume*, dispersi mungkin tidak terkena dampak buruk karena volume yang lebih besar dari udara yang bergerak melewati sumber dapat meningkatkan proses dispersi (Vesilind, et al., 1985). Sebaran *plume* juga sangat dipengaruhi oleh stabilitas atmosfer. Saat atmosfer dalam kondisi stabil, maka keputan *plume* mengalami penurunan konsentrasi.



Gambar 2.20 Hubungan tinggi keputan plume dengan kecepatan horizontal angin (Bracken et al, 2007)

2.9.3. Pengaruh Lingkungan Sekitar

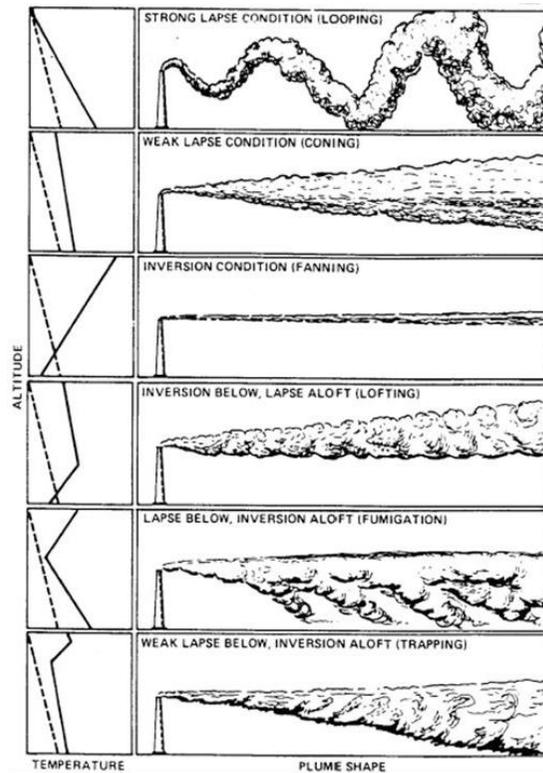
Kondisi lingkungan disekitar sumber polutan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap perilaku *plume*. Pada kasus sumber polutan dengan cerobong yang pendek, karakteristik aliran udara yang bergerak diatas bangunan mengakibatkan aliran udara turbulen pada sisi bangunan sehingga pergerakan *plume* ditunjukkan seperti pada gambar 2.21 dibawah ini.



Gambar 2.21 Pengaruh lingkungan dan konfigurasi sumber polutan terhadap plume (Cimorelli et al, 2004)

2.9.4. Karakteristik dari *Plume*

Pada gambar 2.22 menunjukkan efek ideal dari perbedaan *Environment Lapse Rates* (ELRs) pada perilaku *plume*. Setiap diagram menunjukkan profil temperature di atmosfer, bersama dengan perilaku *plume* yang diharapkan. Kondisi yang paling tidak dapat mengakibatkan konsentrasi yang sangat tinggi sekali dari *plume* yang tereduksi dekat dengan cerobong (*looping*).



Gambar 2.22. Geometri dari plume dengan ERL yang berbeda (Colls, 2002)

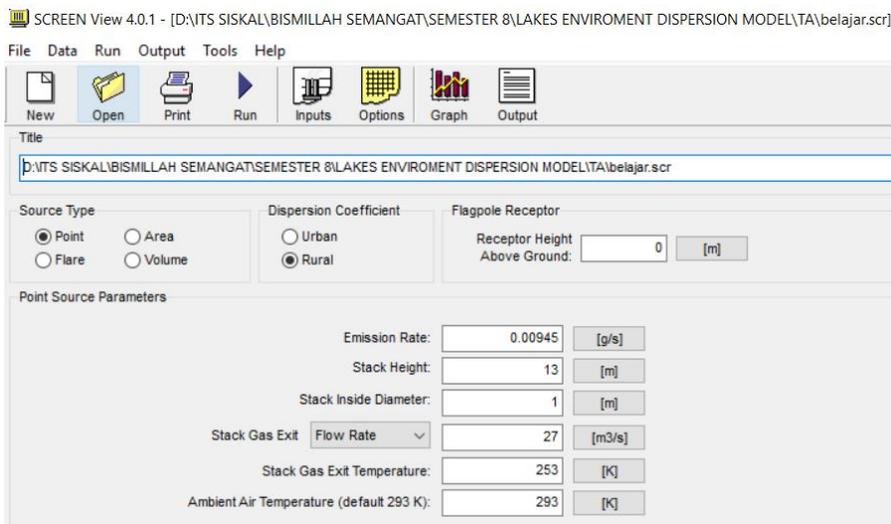
Looping plume diperlihatkan pada gambar 2.22 (gambar pertama) terjadi ketika kondisi atmosfer tidak stabil dengan *lapse rate* adiabatik super serta pencampuran konvektif yang cukup umumnya terjadi dihari yang cerah dengan angin ringan. *Coning cone* diperlihatkan pada gambar 2.22 (gambar kedua) terjadi ketika *lapse rate* netral menuju isothermal serta suasana tidak stabil umumnya terjadi pada saat mendung atau malam hari. *A fanning cone* diperlihatkan pada gambar 2.22 (gambar ketiga) terjadi ketika *lapse rate* bernilai terbalik didekat permukaan dan kondisi atmosfer pada kondisi stabil.

Lofting plume diperlihatkan pada gambar 2.22 (gambar keempat) terjadi ketika *lapse rate* super adiabatik diatas inversi menjorok ke cerobong umumnya terjadi ketika matahari tenggelam di sore yang cerah. *Fumigation plume* diperlihatkan pada gambar 2.22 (gambar kelima) terjadi ketika *plume* bergerak stabil namun dikacaukan oleh turbulensi termal dari termal udara

dengan pemanasan permukaan tanah akibat sinar matahari umumnya terjadi disiang hari dengan angin rendah. *Trapping plume* diperlihatkan pada gambar 2.22 (gambar keenam) terjadi pada hari-hari cerah dan malam cerah dengan angin ringan dan *anti-cyclone* mengalami stagnasi. (Godish, 1985 ; Nevers, 2000 ; Colls, 2002)

2.9.5. Pengenalan *Lakes Environmental Screen View 4.0.1*

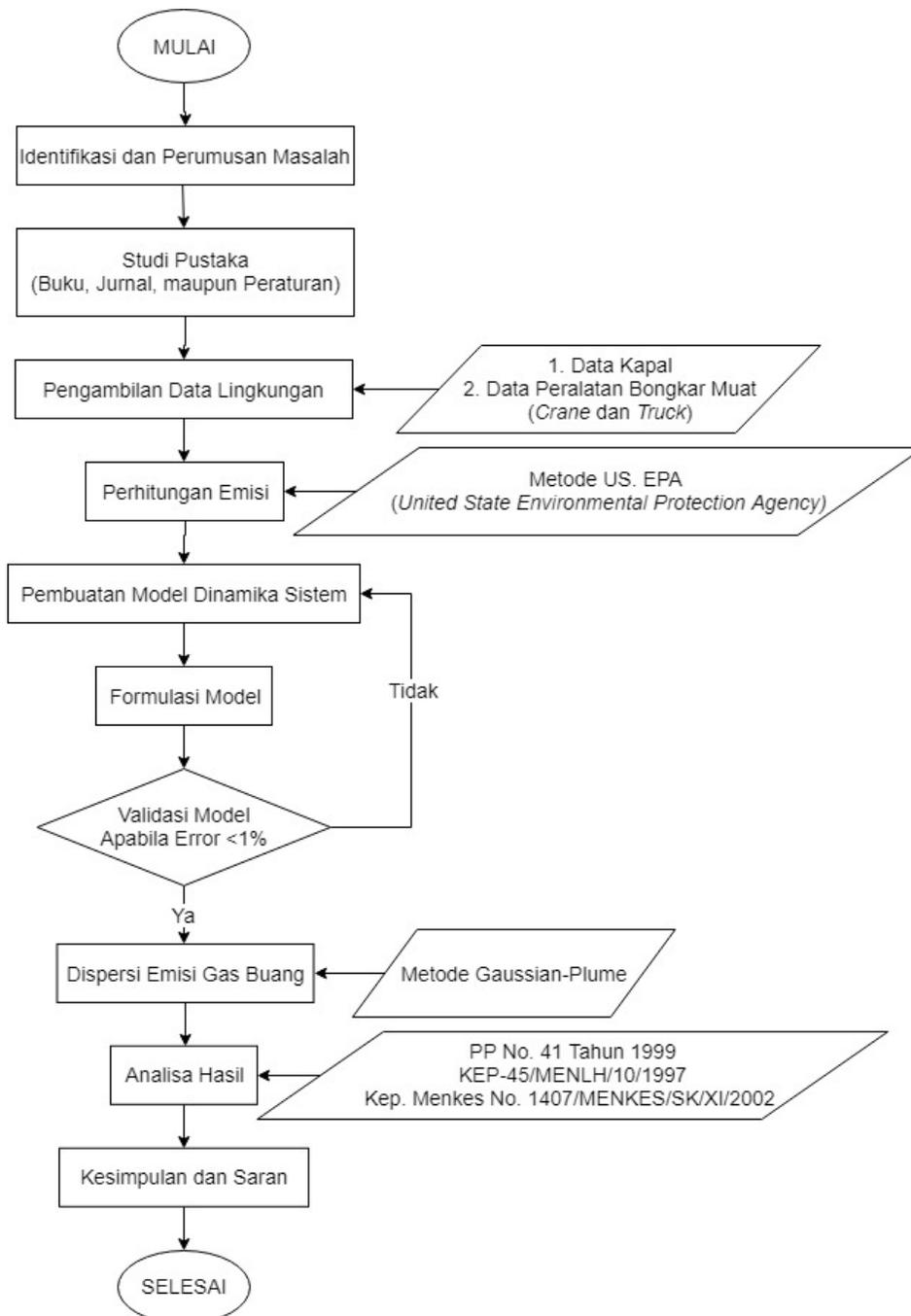
Penggunaan pemodelan dispersi menggunakan *software* untuk melakukan pengolahan data. Simulasi pada pemodelan dispersi dengan menggunakan komputer yang digunakan untuk memperkirakan dampak kualitas udara dari sumber emisi dan dikembangkan oleh *United State Environmental Protection Agency* (US. EPA) bersama dengan *Pacific Environmental Services Inc.* (PES) (EPA, 1988). Pada gambar 2.23 diperlihatkan tampilan muka software *Screen View 4.0.1*.



Gambar 2.23. Interface *Screen View 4.0.1*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI PENULISAN



Gambar 2.24 Metodologi Penelitian

3.1. Identifikasi dan Perumusan Masalah

Tahapan awal dalam melakukan tugas akhir adalah merumuskan suatu masalah yang nantinya perlu diselesaikan. Pada tugas akhir ini, masalah pokok yang perlu diselesaikan adalah polusi udara yang dihasilkan oleh gas buang akibat aktivitas bongkar muat dipelabuhan Indonesia. Jumlah pengiriman barang melalui jalur laut meningkat sehingga kontribusi pencemaran akibat aktifitas bongkar muat dipelabuhan juga semakin besar. Maka dari itu diperlukan analisa mengenai emisi yang dihasilkan oleh gas buang akibat adanya aktifitas bongkar muat dipelabuhan.

3.2. Studi Pustaka

Studi pustaka adalah segala usaha untuk mengumpulkan informasi yang relevan yang 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, dan lain-lain yang berkaitan dengan tema ataupun topik tugas akhir ini.

3.3. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan mengumpulkan data-data yang 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 Surabaya. Data sekunder diperlukan untuk mengetahui *gross tonnage* kapal, tipe mesin, dan lain-lain dengan mencarinya pada badan klasifikasi tempat kapal tersebut didaftarkan atau pada situs internet seperti marinetraffic.com, equasis.org dan lain-lain.

3.4. Perhitungan Emisi Gas Buang

Perhitungan ini dilakukan untuk memperkirakan berapa emisi gas buang yang dihasilkan akibat adanya aktifitas bongkar muat di Terminal Mirah, Terminal Berlian, maupun Terminal Petikemas Surabaya. Perhitungan estimasi gas buang ini menggunakan metode US. EPA (*United State Environmental Protection Agency*) yang menggunakan besar kapasitas mesin yang digunakan baik itu untuk permesinan kapal maupun peralatan bongkar muat.

3.5. Pembuatan Model Dinamika Sistem

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

3.6. Formulasi Model

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

3.7. Validasi

Hasil yang didapatkan dari perhitungan menggunakan *software powersim studio 7* dibandingkan dengan hasil perhitungan manual. Hasil perhitungan dinyatakan valid dan dapat lanjut untuk dilakukan langkah dispersi emisi, apabila nilai *error* antara perhitungan manual dan hasil *software powersim studio 7* kurang dari 1%. Apabila nilai *error* masih diatas 1% maka harus dilakukan pengecekan terhadap model dinamika sistem yang telah dibuat.

3.8. Dispersi Emisi Gas Buang

Setelah hasil perhitungan antara *software* maupun perhitungan manual dinyatakan valid atau nilai *error* kurang dari 1% maka dilanjut dengan dispersi emisi gas buang. Dengan adanya dispersi kita dapat mengetahui daerah mana saja yang terdampak oleh emisi gas buang yang dihasilkan akibat adanya aktifitas bongkar muat.

3.9. Analisa Hasil

Hasil yang didapatkan dari simulasi selanjutnya dilakukan analisa bagaimana emisi yang dihasilkan oleh gas buang akibat adanya kegiatan bongkar muat di area Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. Tidak hanya hasil emisinya saja melainkan sebaran emisinya juga diperhatikan apakah masih dalam ambang batas yang telah ditetapkan oleh Kementerian Kesehatan, Kementerian Negara Lingkungan Hidup, dan lain-lain.

3.10. Kesimpulan dan Saran

Dengan dilakukan analisa terhadap hasil simulasi dari model, maka dapat diambil kesimpulan tentang emisi yang dihasilkan oleh aktifitas bongkar muat di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya dan pengaruh penambahan 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. Analisa Data Kedatangan Kapal

Pada penulisan tugas akhir ini penulis membatasi masalah dari data kedatangan kapal di Terminal Mirah, Berlian, dan Terminal Petikemas Surabaya untuk mengetahui berapa emisi gas buang yang dihasilkan akibat aktifitas bongkar muat di daerah pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. Dimana data yang didapat beragam. Terminal Petikemas Surabaya didapatkan data *ship call* atau jumlah kedatangan kapal setiap tahunnya mulai dari tahun 2013 hingga tahun 2017. Terminal Mirah didapatkan data *ship call* atau jumlah kedatangan kapal setiap tahunnya mulai dari tahun 2015 hingga tahun 2017. Sedangkan di Terminal Berlian hanya didapatkan data *ship call* tahun 2017.

4.1.1. Analisa Data Kedatangan Kapal di TPS

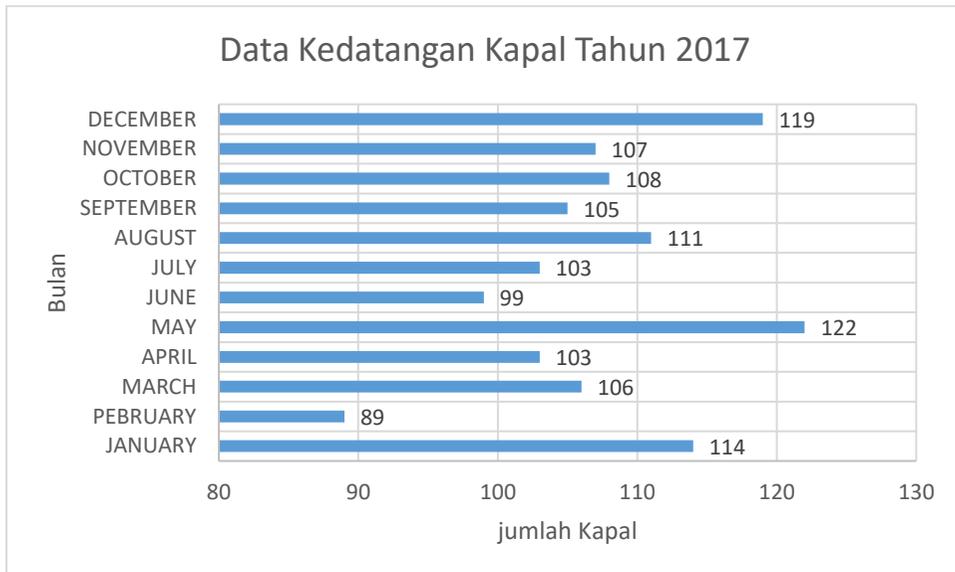
Terminal Petikemas Surabaya merupakan salah satu Terminal besar yang terdapat di area pelabuhan Tanjung Perak Surabaya, terminal ini tidak hanya melayani rute kapal-kapal domestik namun juga melayani rute kapal-kapal internasional. Dikarenakan kesulitan mendapatkan data permesinan kapal dengan pelayaran internasional maka pelayaran kapal rute internasional tidak dihitung. Data jumlah kedatangan kapal domestik dan internasional didapatkan dari Terminal Petikemas Surabaya. Data yang tersedia adalah data kedatangan kapal di Terminal Petikemas Surabaya pada tahun 2013 hingga 2017.



Gambar 4.1 Data Kedatangan Kapal 2013 - 2017 di TPS
(Terminal Petikemas Surabaya, 2018)

Gambar 4.1 menunjukkan jumlah kedatangan kapal domestik dan internasional yang ada di Terminal Petikemas Surabaya pada tahun 2013

hingga 2017. Pada grafik tersebut terlihat bahwa jumlah kunjungan kapal mengalami fluktuasi yang cenderung menurun dari tahun 2013 hingga tahun 2017, namun dari tahun 2014 ke tahun 2015 mengalami kenaikan. Tetapi akhirnya menurun terus sampai pada tahun 2017 yang kecenderungan kedatangan kapal yang menurun. Data kedatangan kapal cenderung menurun namun kapasitas dari masing-masing kapal yang datang pasti lebih besar untuk mengirimkan barang.



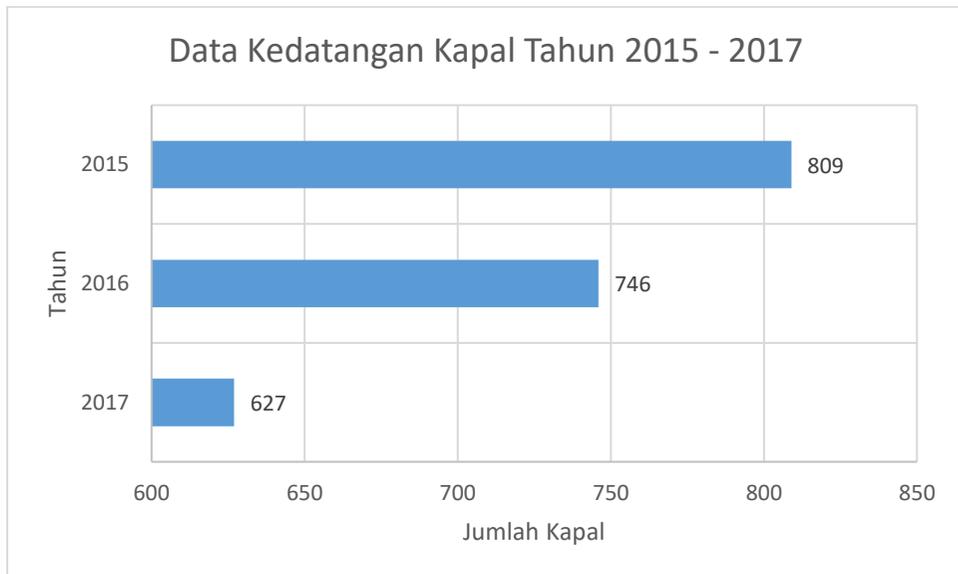
Gambar 4.2 Data Kedatangan Kapal Tahun 2017
(Terminal Petikemas Surabaya, 2018)

Gambar 4.2 menunjukkan grafik jumlah kedatangan kapal domestik dan internasional pada tahun 2017 pada setiap bulannya, pada grafik tersebut terlihat terdapat fluktuasi disetiap bulannya, kedatangan kapal tertinggi pada tahun 2017 adalah pada bulan mei. Kedatangan kapal pada bulan mei adalah yang tertinggi dikarenakan pengiriman barang untuk memenuhi permintaan kebutuhan menjelang hari raya idul fitri yang dilaksanakan pada bulan Juli tepatnya pada tanggal 26 Juli 2017. Nama-nama kapal serta perusahaan pelayaran domestik dan internasional yang melakukan bongkar muat di Terminal Petikemas Surabaya pada bulan Mei 2017 dapat dilihat pada lampiran.

4.1.2. Analisa Data Kedatangan Kapal di Terminal Mirah

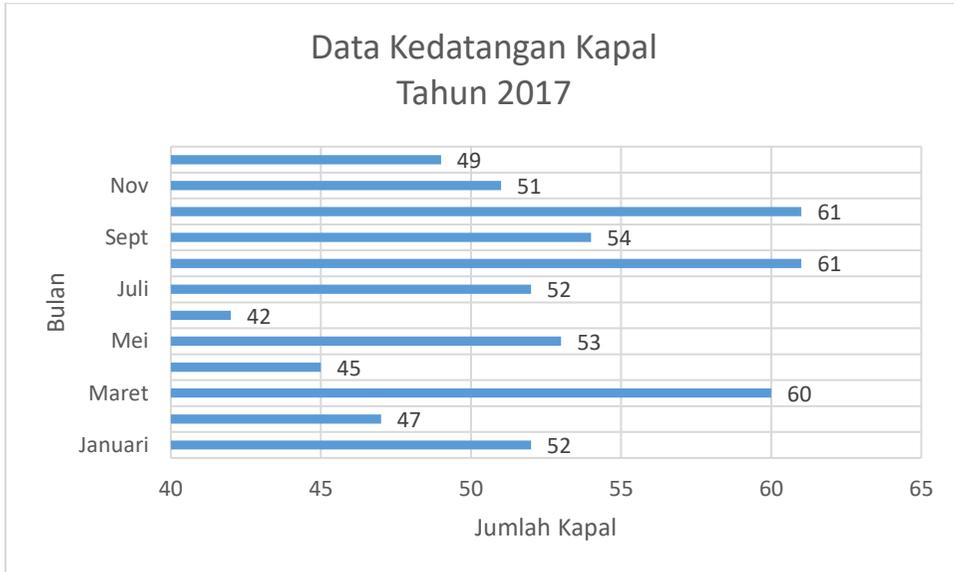
PT. Pelindo III Cabang Tanjung Perak Surabaya menaungi beberapa Terminal yang berada di area Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya antara lain Terminal Nilam, Terminal Mirah, maupun Terminal Jambud. Namun untuk terminal jambud tidak termasuk terminal yang ingin diambil datanya, karena hanya melayani muatan curah kering maupun curah cair. Data jumlah kedatangan kapal tersebut didapatkan dari Terminal Mirah dengan menggunakan surat pengantar yang telah didapatkan dari humas operasional

pelabuhan PT. Pelindo III Cabang Tanjung Perak Surabaya. Data yang tersedia adalah data kedatangan kapal di Terminal Mirah pada tahun 2015 hingga 2017.



Gambar 4.3 Data Kedatangan Kapal 2015 - 2017 di Terminal Mirah (Terminal Mirah, 2018)

Gambar 4.3 menunjukkan grafik jumlah kedatangan kapal domestik yang ada di Terminal BJTI pada tahun 2015 hingga 2017. Pada grafik tersebut terlihat bahwa jumlah kunjungan kapal mengalami penurunan dari tahun 2015 hingga tahun 2017. Walaupun jumlah kedatangan kapal yang cenderung menurun di setiap tahunnya namun kapasitas muatan dari kapal pasti cenderung meningkat untuk mengakomodasi pengiriman barang yang setiap tahunnya cenderung meningkat. Semakin besar kapasitas muatan kapal maka semakin besar kapasitas mesin utama maupun mesin bantunya.

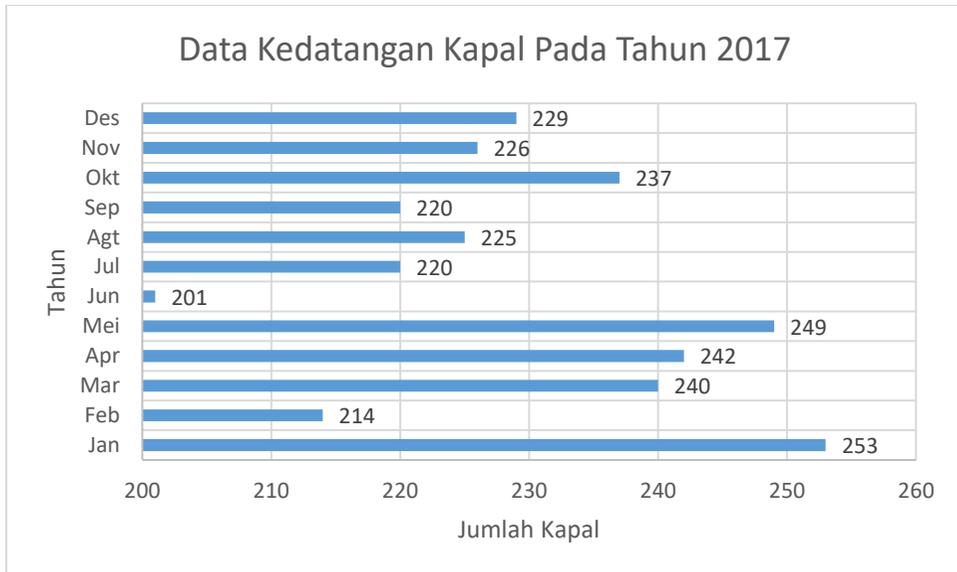


Gambar 4.4 Data Kedatangan Kapal Tahun 2017
(Terminal Mirah, 2018)

Gambar 4.4 menunjukkan grafik jumlah kedatangan kapal di Terminal Mirah pada tahun 2017 disetiap bulan. Terminal Mirah ini hanya melayani rute pelayaran domestik tidak melayani rute pelayaran internasional. Pada grafik tersebut terdapat fluktuasi disetiap bulannya, kedatangan kapal tertinggi pada tahun 2017 adalah pada bulan agustus dan oktober. Ini dikarenakan persiapan menjelang hari raya idul adha yang bertepatan pada bulan September tepatnya pada tanggal 1 September 2018. Nama-nama kapal serta perusahaan pelayaran domestik yang melakukan bongkar muat di Terminal Mirah pada bulan agustus 2017 dapat dilihat pada lampiran.

4.1.3. Analisa Data Kedatangan Kapal di Terminal BJTI

Terminal Berlian atau Berlian Jasa Terminal Indonesia yang merupakan anak perusahaan PT. Pelindo III. Berbeda dengan Terminal Mirah, Nilam, maupun Jambrud yang berada dibawah naungan PT. Pelindo III Cabang Tanjung Perak Surabaya. Namun Terminal Berlian ini hanya melayani rute pelayaran domestik saja, tetapi setiap hari Terminal Berlian mampu melayani sepuluh kapal sekaligus. Data jumlah kedatangan kapal tersebut didapatkan dari Berlian Jasa Terminal Indonesia, dimana data yang tersedia hanya pada tahun 2017 saja dikarenakan pada tahun tersebut BJTI menggunakan sistem online.



Gambar 4.5. Data Kedatangan Kapal di Terminal Berlian
(Terminal Berlian, 2018)

Gambar 4.5 menggambarkan data kedatangan kapal domestik di Terminal Mirah disetiap bulan pada tahun 2017 terlihat data kedatangan kapal paling tinggi adalah pada bulan Januari ini dikarenakan pengiriman barang setelah perayaan tahun baru. Data yang didapatkan hanya data kedatangan kapal pada tahun 2017 ini dikarenakan Terminal Berlian mulai menggunakan sistem pencatatan kedatangan kapal pada awal tahun 2017 sehingga data sebelum tahun 2017 datanya masih terpisah-pisah. Nama-nama kapal serta perusahaan pelayaran domestik yang melakukan bongkar muat di Terminal Berlian pada bulan Januari 2017 dapat dilihat pada lampiran.

4.2. Analisa Data Kapal

Metode yang digunakan penulis dalam menghitung gas buang kapal beserta seluruh peralatan bongkar muat yang telah dijelaskan pada Bab 2 adalah metode US. EPA. Data tambahan kapal seperti *main engine* dan *auxiliary engine* kapal perlu dilengkapi karena tidak terdapat dalam data kedatangan kapal disetiap terminal. Data *power* dari *main engine* dan *auxiliary engine* secara detail terdapat pada *website ship register / class society* kapal tersebut didaftarkan. Dikarenakan data yang didapatkan dari masing-masing terminal hanya berupa nama kapal maka dilakukan pencarian nama kapal tersebut di halaman *vesseltracker.com* untuk mengetahui di *class society* mana kapal tersebut didaftarkan seperti pada gambar 4.6 dibawah ini.

The screenshot shows the Vessel Tracker website interface. At the top, there is a navigation bar with options like TRACKING, PRODUCTS, PORTS, VESSELS, NEWS, and ABOUT. Below this is a search bar with the text "IMO, MMSI, Callsign, Vessel Name, Port Name...". The search results for "Mv.oriental Diamond" are displayed, including a photo of the ship, a map, and a table of data.

Static Data		Position Data	
Length:	196.0m	Status:	No data for you!
GRT:	26047	Speed:	No data for you!
Manager:	No data for you!	Max. Speed:	No data for you!
Owner:	No data for you!	Port:	No data for you!
Insurer:	No data for you!	Berth:	No data for you!
Eng. Builder:	No data for you!	Source:	No data for you!
		Update:	No data for you!
		Voyage Data	
		Destination:	No data for you!
		ETA:	No data for you!

Gambar 4.6. Mencari Data Kapal dari Nama Kapal di *Vessel Tracker* (vesseltracker.com)

Hasil dari pencarian tersebut kapal yang bernama MV. Oriental Diamond dengan jenis kapal *container* yang berbendera Indonesia serta menggunakan klas BKI. Data lainnya seperti *main engine* dan *auxiliary engine* dilakukan pencarian di *website* BKI dikarenakan kapal tersebut berbendera Indonesia dan berlayar dengan rute pelayaran domestik sehingga terkena asas *cabotage*. *Ship register* BKI dapat dibuka dengan mengunjungi bki.co.id. *Ship register* selain BKI dapat dicari menggunakan halaman pencarian google dan pada tabel 4.5 adalah *website ship register* selain BKI yang digunakan oleh penulis.

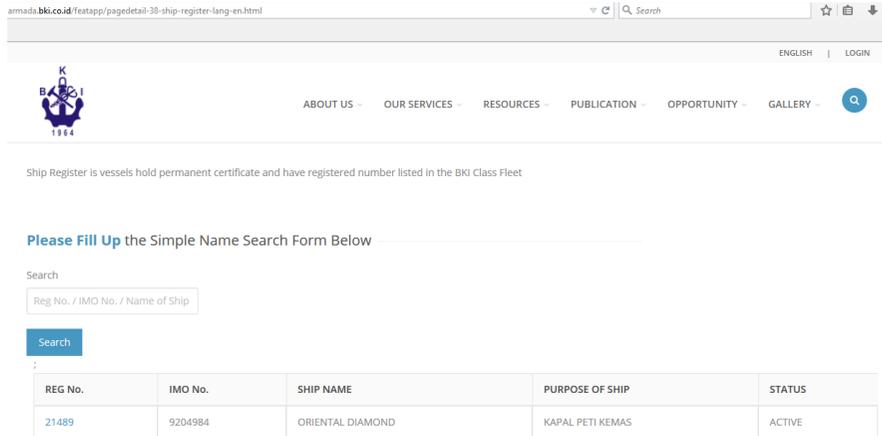
Tabel 4.1. *Website Ship Register*

<i>Classification Society</i>	<i>Website</i>
DNV-GL	vesselregister.dnvgl.com
Class NK	classnk.com
<i>Bereau Veritas (BV)</i>	bureauveritas.com
<i>America Berau of Shipping</i>	eagle.org
<i>China Classification Society</i>	http://www.ccs.org.cn

(google.com)

Setelah diketahui dimana kapal tersebut di-klas-kan oleh perusahaan pelayaran maupun berbendera negara apa berdasarkan pencarian pada vesseltracker.com maka diambil contoh untuk kapal MV. Oriental Diamond di-klas-kan BKI. Selanjutnya dilakukan pencarian di *website* BKI gambar 4.7 dibawah menampilkan hasil pencarian identitas kapal berdasarkan nama kapal. Pada kolom search dimasukkan nama kapal yaitu Oriental Diamond. Hasil dari

pencarian berdasarkan nama kapal MV. Oriental Diamond adalah kapal dengan nomor registrasi 21489.

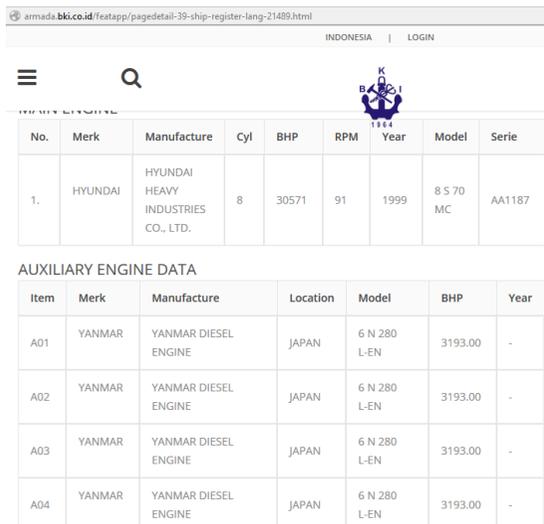


The screenshot shows the BKI website interface. At the top, there is a search bar and navigation links for ENGLISH and LOGIN. Below the header, there is a logo for B K I 1984 and a menu with links: ABOUT US, OUR SERVICES, RESOURCES, PUBLICATION, OPPORTUNITY, and GALLERY. A message states: "Ship Register is vessels hold permanent certificate and have registered number listed in the BKI Class Fleet". Below this, a section titled "Please Fill Up the Simple Name Search Form Below" contains a search input field with the text "Reg No. / IMO No. / Name of Ship" and a "Search" button. The search results are displayed in a table:

REG No.	IMO No.	SHIP NAME	PURPOSE OF SHIP	STATUS
21489	9204984	ORIENTAL DIAMOND	KAPAL PETI KEMAS	ACTIVE

Gambar 4.7. Pencarian Identitas Kapal pada Website BKI (bki.co.id)

Setelah didapatkan nomor registrasi dari kapal MV. Oriental Diamond yaitu dengan nomor 21489 selanjutnya dilakukan pencarian tentang permesinan pada kapal tersebut. Pada gambar 4.8 dibawah, kapal Oriental Diamond menggunakan satu buah mesin utama merk HYUNDAI 8 silinder dengan power 30571 kilowatt dengan putaran 91 RPM dibuat pada tahun 1999. Kapal Oriental Diamond menggunakan empat buah auxiliary engine dengan merk YANMAR dengan power masing-masing sebesar 3193 kilowatt.



The screenshot shows the detailed engine specifications for ship MV Oriental Diamond. The page title is "armada.bki.co.id/featapp/pagedetail-39-ship-register-lang-21489.html". The main content is divided into two sections: "MAIN ENGINE" and "AUXILIARY ENGINE DATA".

MAIN ENGINE

No.	Merk	Manufacture	Cyl	BHP	RPM	Year	Model	Serie
1.	HYUNDAI	HYUNDAI HEAVY INDUSTRIES CO., LTD.	8	30571	91	1999	8 S 70 MC	AA1187

AUXILIARY ENGINE DATA

Item	Merk	Manufacture	Location	Model	BHP	Year
A01	YANMAR	YANMAR DIESEL ENGINE	JAPAN	6 N 280 L-EN	3193.00	-
A02	YANMAR	YANMAR DIESEL ENGINE	JAPAN	6 N 280 L-EN	3193.00	-
A03	YANMAR	YANMAR DIESEL ENGINE	JAPAN	6 N 280 L-EN	3193.00	-
A04	YANMAR	YANMAR DIESEL ENGINE	JAPAN	6 N 280 L-EN	3193.00	-

Gambar 4.8. Detail Kapal pada Website BKI (bki.co.id)

4.3. Analisa Data Peralatan Bongkar Muat

Peralatan bongkar muat diperlukan untuk memindahkan barang yang hendak dari kapal menuju ke *container yard* dan akhirnya dikirim menggunakan transportasi darat. Peralatan bongkar muat ini di tiap terminal yang berada di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya sangat bervariasi jenisnya contohnya seperti *Rubber Tired Gantry Crane* atau yang dikenal sebagai RTG. *Reach Stacker* atau RS, *Harbor Crane* atau HC, *Harbor Mobile Crane* atau HMC, dan lain-lain. Masing-masing Terminal mungkin tidak memiliki semua jenis peralatan bongkar muat yang disebutkan seperti diatas. Dan jumlah peralatan bongkar muat di masing-masing Terminal tidak sama karena berdasarkan kebutuhan dari tiap Terminal.

4.3.1. Analisa Data Peralatan Bongkar Muat di TPS

Terminal Petikemas Surabaya merupakan salah satu Terminal besar yang berada di area Pelabuhan Tanjung Perak dan satu-satunya yang melayani rute pelayaran domestik maupu rute pelayaran internasional. Berdasarkan data jumlah peralatan bongkar muat terdapat beberapa jenis peralatan bongkar muat yang dimiliki oleh Terminal Petikemas Surabaya seperti *Container Crane*, *Rubber Tyre Gantry Crane* (RTGc), *Reach Staker* (RS), *Sky Stacker* (SS), *Forklift*, dan *Head Truck* dengan jumlah seperti pada tabel 4.6 dibawah ini.

Tabel 4.2. Data Peralatan Bongkar Muat di Terminal Petikemas Surabaya

No	Jenis Peralatan Bongkar Muat	Jumlah	Kapasitas
1	Container Crane	14	40 Ton
2	Rubber Tyre Gantry Crane	30	40 Ton
3	Reach Stacker	2	40 Ton
4	Sky Stacker	3	8 Ton
5	Forklift	7	5 Ton
6	Head Truck	81	340 HP

(Terminal Petikemas Surabaya, 2018)

4.3.2. Analisa Data Peralatan Bongkar Muat di Terminal Mirah

Terminal Mirah merupakan Terminal yang berada dibawah PT. Pelindo III Cabang Tanjung Perak Surabaya. Terminal ini letaknya berdekatan dengan Terminal Jambud, Terminal Mirah mampu melayani tiga kapal dalam satu hari. Berdasarkan data jumlah peralatan bongkar muat dari Terminal Mirah, hanya memiliki 2 *Rubber Tyre Gantry Crane* dengan kapasitas 40 Ton dan untuk melakukan bongkar muat dikapal Terminal Mirah menggunakan *crane* yang dimiliki oleh kapal yang bersandar di Terminal Mirah.

4.3.3. Analisa Data Peralatan Bongkar Muat di Terminal Berlian

Terminal Berlian merupakan anak perusahaan dari PT. Pelindo III yakni dengan nama Berlian Jasa Terminal Indonesia atau yang lebih dikenal dengan nama BJTI *Port*. Terminal ini melayani rute pelayaran Indonesia yang dengan kapasitas maksimal sepuluh kapal pada setiap harinya.

Berdasarkan data jumlah peralatan bongkar muat terdapat beberapa jenis peralatan bongkar muat yang dimiliki oleh Terminal Berlian seperti *Harbor Mobile Crane*, *Rubber Tyre Gantry Crane* (RTGc), *Reach Staker* (RS), *Forklift*, dan *Head Truck* dengan jumlah seperti pada tabel 4.7 dibawah ini.

Tabel 4.3. Data Peralatan Bongkar Muat di Terminal Berlian

No	Jenis Peralatan Bongkar Muat	Jumlah	Kapasitas
1	Harbor Mobile Crane	16	100 Ton
2	Rubber Tyre Gantry Crane	12	40 Ton
3	Reach Stacker	3	40 Ton
4	Forklift	13	5 Ton
5	Head Truck	41	236 HP

(Terminal Berlian, 2018)

4.4. Pengembangan Model Dinamika

Pengembangan model dinamika ini bertujuan untuk mempermudah penulis dalam melakukan pengujian ataupun perhitungan estimasi emisi gas buang akibat adanya aktifitas bongkar muat di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya dipilih karena di area tersebut terdapat beberapa Terminal kontainer besar seperti Terminal Petikemas Surabaya, Berlian Jasa Terminal Indonesia, Terminal Mirah dan lain-lain. Sehingga dengan banyaknya Terminal kontainer maka aktifitas bongkar muat yang terjadi menghasilkan emisi gas buang, baik itu dari permesinan bantu dikapal maupun dari peralatan bongkar muat.

4.4.1. Kondisi Existing

Meningkatnya jumlah populasi manusia menyebabkan kebutuhan barang dan jasa semakin meningkat. Jawa Timur menjadi provinsi yang memiliki jumlah penduduk cukup banyak. Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya menjadi pusat jalur perdagangan yang digunakan oleh masyarakat Jawa Timur untuk memenuhi kebutuhannya. Jumlah penduduk yang semakin meningkat sehingga permintaan barang-barang juga semakin meningkat pula. Sehingga dengan semakin meningkatnya permintaan maka semakin padat juga aktifitas bongkar muat yang terjadi di Terminal yang berada di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya.

Pada saat ini, umumnya kapal dengan ukuran kecil yang melayani pengangkutan barang sehingga dibutuhkan jumlah yang banyak untuk memenuhi kebutuhan barang di Jawa Timur. Dengan banyaknya jumlah kapal ini juga diperburuk dengan kualitas bahan bakar yang mempengaruhi hasil emisi dari kapal tersebut. Dimana mesin diesel yang menggunakan bahan bakar HFO (*Heavy Fuel Oil*) dan MDO (*Medium Diesel Oil*) akan menghasilkan emisi yang lebih besar dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar HSD (Solar) atau bahan bakar gas.

Pada penelitian ini menggunakan sebuah model yang menunjukkan pengaruh jumlah kapal dan peralatan bongkar muat di Terminal yang berada di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. Jenis polutan yang dihitung merupakan CO_x, SO_x, NO_x, dan PM. Awal dari pengembangan model

dinamik ini adalah mengidentifikasi variabel yang berpengaruh pada sistem. Selanjutnya dilakukan analisa dampak emisi di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya serta memperkirakan pada tahun tersebut kondisi udara disekitar Pelabuhan Tanjung Perak sudah tidak layak akibat pertumbuhan kapal dan aktifitas bongkar muat.

4.4.2. Identifikasi Variabel

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

1. Variabel manipulasi
Variabel manipulasi merupakan suatu variabel yang sengaja digerakkan secara bebas agar dapat mempengaruhi variabel yang lainnya. Variabel manipulasi merupakan factor yang menjadi sebab terjadinya variabel respon
2. Variabel respon
Variabel respon merupakan variabel yang berubah nilainya seiring dengan adanya variabel manipulasi
3. Variabel kontrol
Variabel kontrol merupakan variabel yang dapat mempengaruhi hasil eksperimen namun sebisa mungkin dijaga agar variabel ini tidak memberikan variabel yang lainnya

Model dinamika sistem ini dibuat berdasarkan jumlah kapal, jenis peralatan bongkar muat, dan tipe *engine*. Jenis peralatan bongkar muat dibedakan menjadi 6 yaitu *Container Crane*, *Harbour Mobile Crane Rubber Tyre Gantry Crane (RTGc)*, *Reach Staker (RS)*, *Forklift*, dan *Head Truck*. Tipe *engine* yang dibagi menjadi tiga yaitu *Low Speed Diesel Engine*, *Medium Speed Diesel Engine*, dan *High Speed Diesel Engine*. Variabel dalam penelitian ini dibagi berdasarkan lokasi terminal di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya dan dapat dilihat pada tabel 4.8.

Tabel 4.4. Variabel pada Tiap Terminal

No	Variabel	Keterangan
1	Jumlah kedatangan kapal	Banyaknya kapal yang bersandar dan melakukan bongkar muat di terminal baik itu Mirah, Nilam, Berlian maupun TPS
2	Jumlah peralatan bongkar muat	Data tentang banyaknya peralatan bongkar muat seperti <i>container crane</i> , <i>reach stacker</i> , <i>rubber tyre gantry crane</i> , <i>forklift</i> , maupun <i>head truck</i> .
3	Faktor emisi COx medium speed	Kandungan emisi CO yang dihasilkan kapal dengan mesin <i>medium speed</i>
4	Faktor emisi NOx medium speed	Kandungan emisi NOx yang dihasilkan kapal dengan mesin <i>medium speed</i>

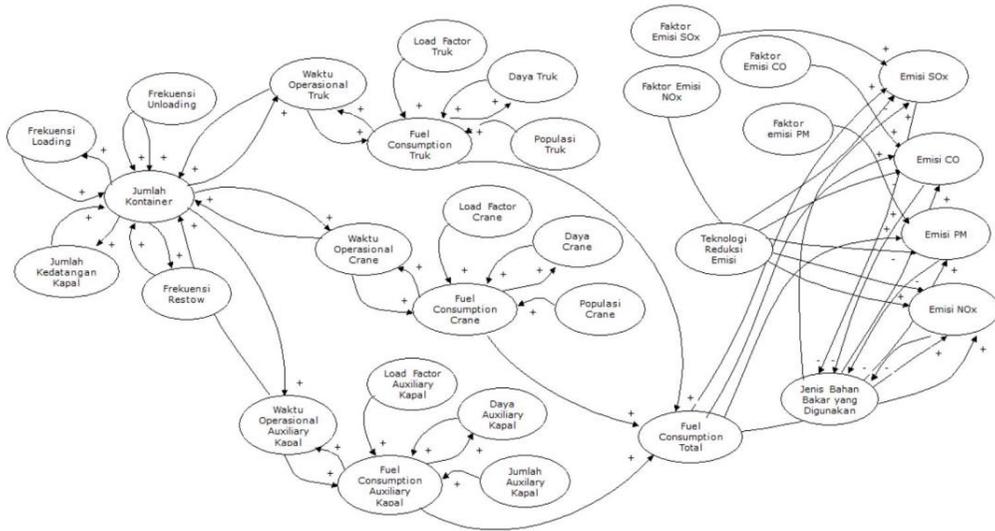
Lanjutan Tabel 4.4

5	Faktor emisi SOx medium speed	Kandungan emisi SOx yang dihasilkan kapal dengan mesin <i>medium speed</i>
6	Faktor emisi PM medium speed	Kandungan emisi PM yang dihasilkan kapal dengan mesin <i>medium speed</i>
7	Faktor emisi COx high speed	Kandungan emisi CO yang dihasilkan kapal dengan mesin <i>high speed</i>
8	Faktor emisi NOx high speed	Kandungan emisi NOx yang dihasilkan kapal dengan mesin <i>high speed</i>
9	Faktor emisi SOx high speed	Kandungan emisi SOx yang dihasilkan kapal dengan mesin <i>high speed</i>
10	Faktor emisi PM high speed	Kandungan emisi PM yang dihasilkan kapal dengan mesin <i>high speed</i>

4.4.3. Pembuatan Causal Loop Diagram

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

Hubungan antar variabel dapat berupa positif (+) dan negatif (-). Hubungan positif menandakan bahwa kedua variabel memiliki hubungan saling menguatkan. Jika variabel sebabnya meningkat maka variabel akibat juga akan meningkat. Hubungan negatif (-) menunjukkan bahwa kedua variabel saling berlawanan. Jika variabel sebab nilainya semakin meningkat maka variabel akibatnya akan semakin menurun.



Gambar 4.9. Causal Loop Diagram Tiap Terminal

Gambar 4.9 menunjukkan *causal loop diagram* di tiap Terminal (Mirah, Nilam, Berlian, TPS) yang berada di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. Dari *causal loop* terlihat bahwa emisi yang dihasilkan akan meningkat jika konsumsi bahan bakar *auxiliary engine* kapal, truk, dan *crane* meningkat akibat bertambahnya waktu operasional yang diiringi dengan banyaknya container. Konsumsi bahan bakar meningkat akibat beberapa faktor seperti lama waktu operasional, daya, *load factor*, dan juga populasi.

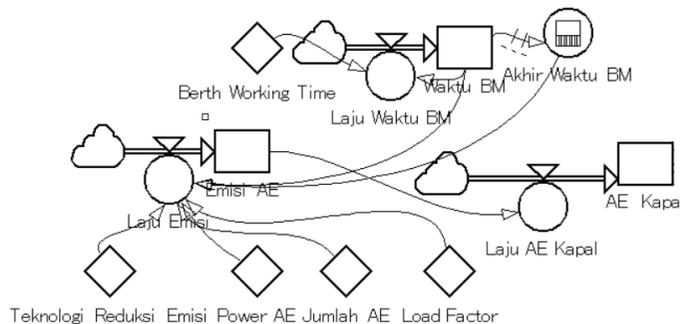
Jumlah kedatangan kapal merupakan banyaknya kapal yang memasuki dan melakukan bongkar muat di Terminal yang ada di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya, jika jumlah kedatangan meningkat maka jumlah kontainer juga akan meningkat dan membuat waktu operasional semakin lama pula. Sedangkan faktor emisi akan mengalami peningkatan disebabkan oleh jenis bahan bakar yang digunakan.

4.5. Pembuatan Model Dinamika

Model dinamik dibuat menggunakan bantuan perangkat lunak AnyLogic 8.2.3 *Personal Learning Edition*. Pembuatan model sistem dinamik mengacu pada metode perhitungan emisi dan *causal loop* yang telah dibuat sebelumnya. Perhitungan emisi dalam penelitian ini menggunakan metode US. EPA (*United Stated Environmental Protection Agency*). Langkah pertama dalam perhitungan emisi dengan metode US. EPA adalah dengan menentukan konsumsi daya yang dikeluarkan. Dalam perhitungan emisi dengan metode US. EPA berdasarkan besarnya *power* dengan rumus sebagai berikut seperti pada bab 2:

$$E_i = MCR (kW) \times Load Engine (\%) \times EF (gr/kWh) \times EFA \times FCF$$

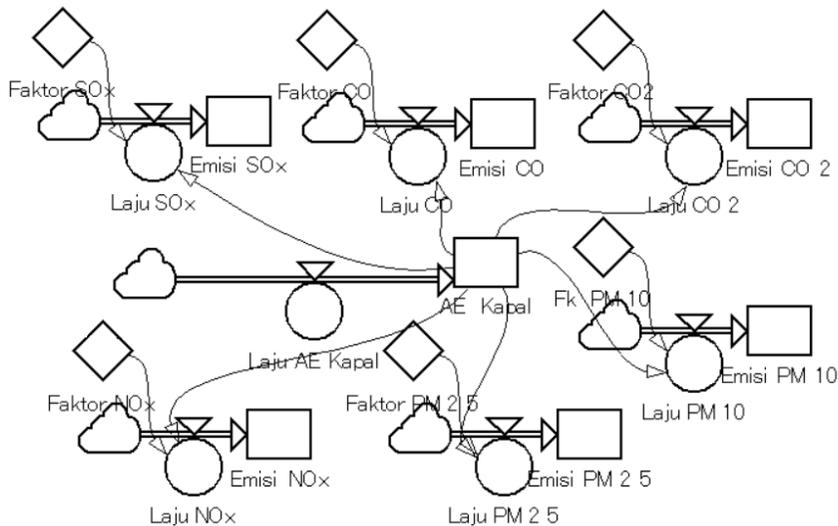
Rumus diatas digunakan untuk perhitungan hanya untuk kpal saja sedangkan untuk perhitungan peralatan bongkar muat dapat dilihat pada persamaan 2 Bab tinjauan pustaka. Berdasarkan *causal loop* dan metode perhitungan maka model dibuat seperti pada gambar 4.10 dibawah. Hasil perhitungan *power* per jam dalam pemodelan dibagi menjadi tiga yaitu *power aux. engine*, *power crane*, *power truck*.



Gambar 4.10. Model Sistem *Power Aux*

Pembagian *power* menjadi tiga karena berdasarkan *load factor* yang berbeda antara ketiganya. Faktor emisi dari ketiga pembagian tersebut juga

berbeda sehingga pemodelannya dipisahkan. Setelah hasil *power* masing-masing diketahui dan telah dimodelkan, maka selanjutnya memodelkan nilai emisi dari tiap polutan. Dalam tugas akhir ini ada empat yang dihitung yaitu CO_x , NO_x , SO_x , dan PM. Perhitungan emisi dilakukan dengan mengalikan *power* (kWh) dengan faktor emisi tiap jenis polutan (gr/kWh) seperti pada gambar 4.11.



Gambar 4.11. Model Emisi Tiap *Power*

Selanjutnya akan dibuat model total dengan menjumlahkan hasil emisi per hari pada tiap-tiap kapal dan peralatan bongkar muat di masing-masing terminal yang ada di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. Hasilnya akan ketemu nilai emisi total akibat adanya aktifitas bongkar muat pada masing-masing terminal di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya yakni emisi CO_x , NO_x , SO_x , dan PM.

4.6. 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, peralatan bongkar muat serta variabel-variabel lainnya yang berpengaruh terhadap sistem. Perhitungan dalam tugas akhir ini menggunakan metode US. EPA seperti yang dijelaskan pada Bab dua.

Dalam model terlihat input awal dari metode US. EPA adalah *power* sehingga poin utama dari metode ini berawal dari *power*. Dimana *power* yang dimaksud adalah *power* dari seluruh peralatan yang melakukan aktifitas bongkar muat seperti *power crane*, *power head truck*, dan lain-lain. Tidak hanya terbatas pada peralatan bongkar muat saja melainkan juga permesinan dari kapal yang turut menyumbang emisi di daerah Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya.

Tabel 4.5 merupakan formulasi model yang digunakan oleh penulis pada tabel tersebut terdapat tiga kolom yaitu kolom variabel, kolom formulasi dan kolom hasil. Kolom variabel merupakan sebuah variabel yang dijadikan sebuah masukan untuk mendapatkan hasil yang diinginkan. Formulas merupakan rumus yang digunakan untuk menggabungkan beberapa variabel untuk mendapatkan sebuah hasil. Sedangkan hasil merupakan sebuah akhir yang dicari serta didapatkan dari beberapa variabel setelah digabungkan dengan sebuah formulasi atau rumus.

Tabel 4.5. Variabel untuk Aux Kapal

No	Variabel	Formulasi	Hasil
1	Daya aux kapal Jumlah aux kapal LF aux kapal Waktu operasional aux kapal Tek. reduksi emsi aux kapal	`Daya aux kapal` * `Jumlah aux kapal` * `LF aux kapal` * `Waktu operasional aux kapal` * ` Tek. reduksi emsi aux kapal`	<i>Power Aux Kapal</i>
2	Power aux kapal faktor emisi COx aux kapal	`Power aux kapal` * ` faktor emisi COx aux kapal`	Emisi COx Aux Kapal
3	Power aux kapal faktor emisi NOx aux kapal	`Power aux kapal` * ` faktor emisi NOx aux kapal`	Emisi NOx Aux Kapal
4	Power aux kapal faktor emisi NMHCPM aux kapal	`Power aux kapal` * ` faktor emisi NMHCPM aux kapal`	Emisi NMHCPM Aux Kapal
5	Daya crane Jumlah crane LF crane Waktu operasional crane Tek. reduksi emsi crane	`Daya crane` * `Jumlah crane` * `LF crane` * `Waktu operasional crane` * ` Tek. reduksi emsi crane`	<i>Power crane</i>
6	Power crane faktor emisi COx crane	`Power crane` * ` faktor emisi COx crane`	Emisi COx <i>crane</i>
7	Power crane faktor emisi NOx crane	`Power aux kapal` * `faktor emisi NOx crane`	Emisi NOx <i>crane</i>
8	Power crane faktor emisi NMHCPM crane	`Power crane` * ` faktor emisi NMHCPM crane`	Emisi NMHCPM <i>crane</i>

Lanjutan Tabel 4.5

No	Variabel	Formulasi	Hasil
9	Daya truck Jumlah truck LF truck Waktu operasional truck Tek. reduksi emisi truck	`Daya truck` * `Jumlah truck` * `LF truck` * `Waktu operasional truck` * ` Tek. reduksi emisi truck`	Power truck
10	Power truck faktor emisi COx truck	`Power truck` * `faktor emisi COx truck`	Emisi COx truck
11	Power truck faktor emisi NOx truck	`Power truck` * `faktor emisi NOx truck`	Emisi NOx truck
12	Power truck faktor emisi NMHCPM truck	`Power truck` * `faktor emisi NMHCPM truck`	Emisi NMHCPM truck

4.7. Hasil Simulasi Dinamika Sistem dan Dispersi

Setelah model dimasukkan formulasi langkah berikutnya yaitu melakukan simulasi model yang telah dibuat. Model harus terlebih dahulu dipastikan dapat berjalan tanpa ada *error* dan nilai pada variabel yang berpengaruh harus sudah dimasukkan dengan benar. Dengan demikian dilanjutkan dengan persebaran emisi dari gas buang kapal yang sedang melakukan bongkar muat di area Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya dengan reseptor atau penerima emisi gas buang tersebut adalah kawasan penduduk ataupun perumahan yang tepatnya berada di timur sumber emisi karena berdasarkan statistic angin sering bertiup ke arah timur. Diarah timur terdapat kawasan penduduk Wonokusumo dan Kedungcowek.

4.7.1. Hasil Simulasi Model Dinamika Sistem

Simulasi ini diatur dengan *timestep* per satu hari karena data yang digunakan adalah data kapal yang bersandar dan melakukan bongkar muat pada masing-masing terminal ditiap harinya. Model ini akan disimulasikan dalam waktu 5 tahun dengan *starttime* pada tanggal 1 Januari 2017 dan *stoptime* pada 1 Desember 2021. Gambar 4.12 dibawah ini menunjukkan hasil simulasi yang telah dilakukan. Hasil tersebut merupakan jumlah emisi yang dihasilkan oleh seluruh kapal yang sedang bersandar dan melakukan bongkar muat di masing-masing pelabuhan.

Time	EM CO	EM CO 2	Em NOx	EM PM 10	EM PM 2.5	Em SOx
Jan 2, 2018	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Jan 3, 2018	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Jan 4, 2018	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Jan 5, 2018	564.48	411,443.20	6,836.48	163.07	150.53	288.51
Jan 6, 2018	2,822.40	2,057,216.00	34,182.40	815.36	752.64	1,442.56
Jan 7, 2018	8,467.20	6,171,648.00	102,547.20	2,446.08	2,257.92	4,327.68
Jan 8, 2018	19,756.80	14,400,512.00	239,276.80	5,707.52	5,268.48	10,097.92
Jan 9, 2018	39,513.60	28,801,024.00	478,553.60	11,415.04	10,536.96	20,195.84
Jan 10, 2018	71,124.48	51,841,843.20	861,396.48	20,547.07	18,966.53	36,352.51
Jan 11, 2018	118,540.80	86,403,072.00	1,435,660.80	34,245.12	31,610.88	60,587.52
Jan 12, 2018	186,278.40	135,776,256.00	2,256,038.40	53,813.76	49,674.24	95,208.96
Jan 13, 2018	279,417.60	203,664,384.00	3,384,057.60	80,720.64	74,511.36	142,813.44
Jan 14, 2018	403,603.20	294,181,888.00	4,888,083.20	116,596.48	107,627.52	206,286.08
Jan 15, 2018	565,044.48	411,854,643.20	6,843,316.48	163,235.07	150,678.53	288,800.51
Jan 16, 2018	770,515.20	561,619,968.00	9,331,795.20	222,593.28	205,470.72	393,818.88
Jan 17, 2018	1,027,353.60	748,826,624.00	12,442,393.60	296,791.04	273,960.96	525,091.84
Jan 18, 2018	1,343,462.40	979,234,816.00	16,270,822.40	388,111.36	358,256.64	686,658.56
Jan 19, 2018	1,727,308.80	1,259,016,192.00	20,919,628.80	499,000.32	460,615.68	882,846.72
Jan 20, 2018	2,187,924.48	1,594,753,843.20	26,498,196.48	632,067.07	583,446.53	1,118,272.51
Jan 21, 2018	2,734,905.60	1,993,442,304.00	33,122,745.60	790,083.84	729,308.16	1,397,840.64
Jan 22, 2018	3,378,412.80	2,462,487,552.00	40,916,332.80	975,985.92	900,910.08	1,726,744.32
Jan 23, 2018	4,129,171.20	3,009,707,008.00	50,008,851.20	1,192,871.68	1,101,112.32	2,110,465.28
Jan 24, 2018	4,987,180.80	3,635,100,672.00	60,400,300.80	1,440,741.12	1,329,914.88	2,549,003.52
Jan 25, 2018	5,952,441.60	4,338,668,544.00	72,090,681.60	1,719,594.24	1,587,317.76	3,042,359.04
Jan 26, 2018	7,024,953.60	5,120,410,624.00	85,079,993.60	2,029,431.04	1,873,320.96	3,590,531.84
Jan 27, 2018	8,204,716.80	5,980,326,912.00	99,368,236.80	2,370,251.52	2,187,924.48	4,193,521.92
Jan 28, 2018	9,491,731.20	6,918,417,408.00	114,955,411.20	2,742,055.68	2,531,128.32	4,851,329.28
Jan 29, 2018	10,885,996.80	7,934,682,112.00	131,841,516.80	3,144,843.52	2,902,932.48	5,563,953.92
Jan 30, 2018	12,388,143.00	9,029,579,783.17	150,034,176.28	3,578,796.87	3,303,504.80	6,331,717.53
Jan 31, 2018	13,999,428.58	10,204,027,939.84	169,548,634.98	4,044,279.37	3,733,180.95	7,155,263.49

Gambar 4.12 Hasil Perhitungan Dinamika Sistem

4.7.2. Hasil Validasi Model Dinamika Sistem

Validasi merupakan proses untuk memastikan bahwa model yang telah dibuat sudah sesuai dengan kondisi *real* yang ada dilapangan dan untuk melihat seberapa besar tingkat kepercayaan model yang telah dibuat. Cara melakukan validasi yang pertama adalah dengan melakukan konsultasi dengan pihak yang pernah melakukan penelitian terhadap penelitian ini.

Dalam penulisan ini dilakukan konsultasi dengan dosen pembimbing untuk memastikan bahwa model yang telah dibuat dapat mewakili kondisi *real* dilapangan. Selanjutnya dilakukan validasi dengan membandingkan hasil perhitungan dari model dengan hasil perhitungan dari Microsoft excel. Hasil validasi harus dapat diterima untuk masukan bahwa model yang dibuatsudah 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 yang dibuat menggunakan Microsoft excel dibagi dengan hasil perhitungan dari model, dengan rumus sebagai berikut:

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

	A	B	C	D	V	W	X	Y	Z	AA
1	No	Name	Vessel ID	Agent	CO	CO2	Nox	Sox	PM 10	PM 2.5
2	1	MV. TANTO JAYA	TAJA0056	TNT	39980.58	29141403.24	484209.29	20434.52	11549.95	10661.49
3	2	MV. TELUK BERAU	TBRU0166	SPII	20949.73	15270026.49	253724.53	10707.64	6052.14	5586.60
4	3	KM. MENTARI PERSADA	MEDA0091	MSP	23811.77	17356134.80	288387.00	12170.46	6878.96	6349.81
5	4	KM. MENTARI SUCCES	MESU0183	MSP	13005.74	9479736.19	157513.91	6647.38	3757.21	3468.20
6	5	KM. SINAR AMBON	SABN0016	PPNP	15928.44	11610065.64	192911.15	8141.20	4601.55	4247.58
7	6	MV. HIJAU SEJUK	HIJU0039	SPII	45137.37	32900125.88	546663.68	23070.21	13039.68	12036.63
8	7	MV.ARMADA SEGARA	ARRA0046	SPII	23036.39	16790967.42	278996.26	11774.15	6654.96	6143.04
9	8	MV. KABONGA BARU	KABO0294	SAMS	865.28	630696.14	10479.55	442.26	249.97	230.74
10	9	MV. BALI AYU	BAYU0077	SPII	11634.39	8480176.08	140905.36	5946.46	3361.05	3102.50
11	10	KM. FATIMA	FTMA0216	SAMS	10651.74	7763933.18	129004.38	5444.22	3077.17	2840.46
12	JUMLAH EMISI PER HARI				205001.43	149423265.07	2482795.11	104778.51	59222.64	54667.05
248	247	MV. KABONGA BARU II	KBO20195	SAMS	1596.91	1163972.81	19340.40	816.20	461.33	425.84
249	248	MV. BALI SANUR	BAUR0103	SPII	1124.15	819378.85	13614.68	574.56	324.75	299.77
250	249	MV. ARMADA PURNAMA	ARPP0060	SPII	1462.43	1065946.47	17711.61	747.46	422.48	389.98
251	250	MV. PERSADA X	ALDX0123	LITL	3152.44	2297781.70	38179.60	1611.25	910.71	840.65
252	251	MV. MERATUS TANGGUH 2	MGH20150	MRTS	17262.08	12582138.78	209062.98	8822.84	4986.82	4603.22
253	252	MV. PRATIWI SATU	PASU0022	SPII	1867.71	1361352.40	22620.03	954.61	539.56	498.06
254	253	KM. TANTO HORAS	THRS0118	TNT	6413.90	4675023.36	77679.50	3278.22	1852.91	1710.37
255					4748151.90	3460875159.54	57505395.18	2426833.19	1371688.33	1266173.84

Gambar 4.13. Hasil perhitungan emisi dengan Microsoft Excel

Hasil pemodelan simulasi dapat diterima jika memiliki nilai *error* kurang dari 1%. Gambar 4.13 merupakan hasil yang diperoleh dengan menggunakan *software Microsoft excel*. Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai *error* untuk mengetahui apakah model yang telah dibuat dapat merepresentasikan kondisi riil atau tidak.

a. Nilai *error* CO

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

$$Error = \frac{4987180.8 - 4748151.90}{4987180.8}$$

$$Error = \frac{4987180.8 - 4748151.90}{4987180.8}$$

$$Error = 0.04792866$$

b. Nilai *error* CO₂

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

$$Error = \frac{3635100672 - 3460875159.54}{3635100672}$$

$$Error = 0.0479866$$

c. Nilai *error* NO_x

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

$$\text{Error} = \frac{60400300.8 - 57505395.18}{60400300.8}$$

$$\text{Error} = 0.04792866$$

d. Nilai *error* SO_x

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

$$\text{Error} = \frac{2549003.52 - 2426833.19}{2549003.52}$$

$$\text{Error} = 0.04792866$$

e. Nilai *error* PM₁₀

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

$$\text{Error} = \frac{1440741.12 - 1371688.33}{1440741.12}$$

$$\text{Error} = 0.04792866$$

f. Nilai *error* PM_{2.5}

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

$$\text{Error} = \frac{1329914.88 - 1266173.84}{1329914.88}$$

$$\text{Error} = 0.04792866$$

Berdasarkan hasil perhitungan validasi yang telah dilakukan diatas maka dapat disimpulkan bahwa nilai *error* dapat diterima karena kurang dari 1%. Sehingga model yang telah merepresentasikan keadaan sesungguhnya dan dapat disimpulkan bahwa model yang telah dibuat valid dan dapat dilanjutkan pada tahap analisa.

4.7.3. Hasil Simulasi Dispersi

Model dinamika sistem yang telah dinyatakan valid, selanjutnya dilakukan simulasi dispersi dari emisi yang dihasilkan. Simulasi dispersi ini menggunakan *software lakes environmental screen view 4.0.1* dan metode yang digunakan adalah *Gaussian plume*. Beberapa data yang diperlukan untuk *Gaussian plume* antara lain

g. Data Meteorologi

Data meteorologi adalah data pergerakan angin dan kecepatannya yang tercatat di daerah tertentu (Cimorelli et al, 2004). Kecepatan dan arah angin menjadi faktor penentu jumlah konsentrasi emisi.

h. Koordinat Sumber Emisi

Data koordinat sumber emisi didapatkan dari data *google maps* berdasarkan letak masing-masing pelabuhan *container*.

i. Ketinggian Cerobong Asap

Tinggi cerobong untuk masing-masing kapal menggunakan asumsi 13 meter. Dihitung dari dari sarat air hingga ujung cerobong (*funnel*) (Petrovsky, 1961).

j. Laju Gas Buang

Berdasarkan standar laju gas buang untuk kategori *marine internal combustion engine*, laju gas buang dari masing-masing kapal diasumsikan sebesar 30 m/s (Petrovsky, 1961).

k. Diameter Cerobong Asap

Diameter cerobong digunakan untuk mengetahui kapasitas aliran dari emisi yang keluar dari cerobong. Diameter yang diambil adalah diameter dalam. Hubungan algoritma diameter cerobong, laju gas buang, dan kapasitas aliran adalah sebagai berikut:

$$Vs = \frac{4v}{\pi d^2}$$

V_s = Kecepatan aliran gas buang

v = Kapasitas aliran

d = Diameter dalam gas buang

Berdasarkan nilai standar desain perencanaan diameter dalam gas buang untuk *marine internal combustion engine*, pada [enelitian ini diameter dalam gas buang diasumsikan sebesar 1 meter (Petrovsky, 1961).

Setelah semua data-data diatas didapatkan seperti data meteorology, koordinat sumber lokasi, ketinggian cerobong asap, laju gas buang, maupun diameter cerobong asap maka selanjutnya adalah memodelkan sebaran emisi dalam *software lakes environmental screen view 4.0.1*. *Software* ini dikembangkan oleh *United State Environmental Protection Agency (US. EPA)* bersama dengan *Pacific Environmental Services Inc. (PES)* (EPA, 1988). Dimana langkah-langkah pemodelan *software lakes environmental screen view 4.0.1* adalah sebagai berikut:

1. Memasukkan sumber emisi

Dari data yang sudah didapatkan sebelumnya seperti laju emisi, tinggi cerobong diameter dalam cerobong asap, suhu udara ambien, suhu gas buang serta *emission rate*. Selanjutnya data-data tersebut dimasukkan ke dalam masing-masing parameter yang telah di sediakan pada *software*. Awalnya yakni memasukkan data laju emisi, ketinggian cerobong asap, diameter cerobong asap, suhu emisi gas buang, serta

suhu udara sekitar. Gambar 4.14 dibawah ini menunjukkan masukan data pada *software lakes environmental screen view 4.0.1*.

The screenshot shows the 'SCREEN View 4.0.1' application window. The title bar reads: 'SCREEN View 4.0.1 - [D:\ITS SISKAL\BISMILLAH SEMANGAT\SEMESTER 8\LAKES ENVIROMENT DISPERSION MODEL\TA\belajar.scr]'. The menu bar includes 'File', 'Data', 'Run', 'Output', 'Tools', and 'Help'. The toolbar contains icons for 'New', 'Open', 'Print', 'Run', 'Inputs', 'Options', 'Graph', and 'Output'. The main window is divided into several sections:

- Title:** A text field containing the file path: 'D:\ITS SISKAL\BISMILLAH SEMANGAT\SEMESTER 8\LAKES ENVIROMENT DISPERSION MODEL\TA\belajar.scr'.
- Source Type:** Radio buttons for 'Point' (selected), 'Area', 'Flare', and 'Volume'.
- Dispersion Coefficient:** Radio buttons for 'Urban' and 'Rural' (selected).
- Flagpole Receptor:** A text field for 'Receptor Height Above Ground:' with the value '0' and a unit '[m]'.
- Point Source Parameters:**
 - Emission Rate:** Text field with '0.00945' and unit '[g/s]'.
 - Stack Height:** Text field with '13' and unit '[m]'.
 - Stack Inside Diameter:** Text field with '1' and unit '[m]'.
 - Stack Gas Exit:** A dropdown menu set to 'Flow Rate' and a text field with '27' and unit '[m3/s]'.
 - Stack Gas Exit Temperature:** Text field with '253' and unit '[K]'.
 - Ambient Air Temperature (default 293 K):** Text field with '293' and unit '[K]'.

Gambar 4.14. Masukkan Data Sumber Emisi

m. Memasukkan data meteorologi

Selanjutnya yakni memasukkan data meteorologi dari selat Madura agar dapat menjalankan model. Data meteorologi berupa arah angin dan kecepatan angin yang didapatkan dari windfinder.com yang secara statistik arah angin bertiup ke arah timur. Namun pada *software* ini tidak terdapat arah angin untuk memperkirakan sebaran emisi sehingga hasilnya dibuat menyerupai radius saja, maka harus dilakukan perubahan hasil sebaran berdasarkan arah angin. Gambar 4.15 menunjukkan masukan data meteorologi dalam *software lakes environmental screen view 4.0.1*.

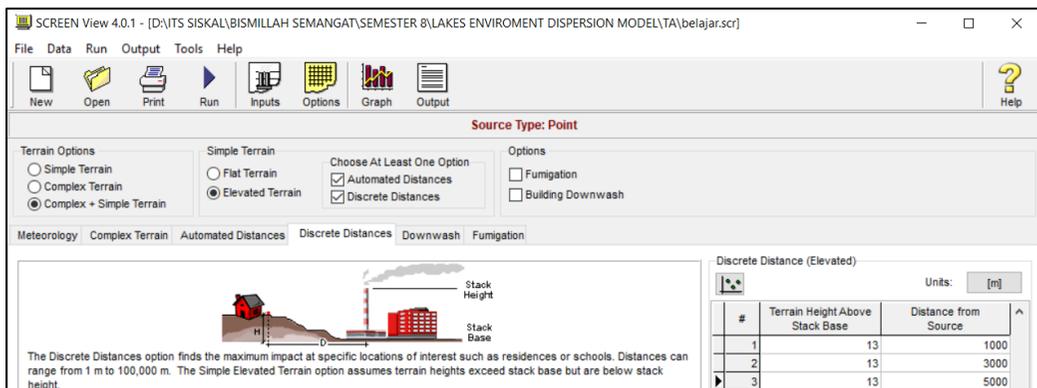
The screenshot shows the 'SCREEN View 4.0.1' application window with the 'Source Type: Point' selected. The title bar is the same as in Gambar 4.14. The menu bar and toolbar are also the same. The main window is divided into several sections:

- Terrain Options:** Radio buttons for 'Simple Terrain', 'Complex Terrain', and 'Complex + Simple Terrain' (selected).
- Simple Terrain:** Radio buttons for 'Flat Terrain' and 'Elevated Terrain' (selected).
- Choose At Least One Option:** Checkboxes for 'Automated Distances' (checked) and 'Discrete Distances'.
- Options:** Checkboxes for 'Fumigation' and 'Building Downwash'.
- Meteorology:** A tabbed interface with 'Complex Terrain', 'Automated Distances', 'Discrete Distances', 'Downwash', and 'Fumigation' tabs. The 'Complex Terrain' tab is active.
- Meteorology for Simple Terrain Screening:** Radio buttons for 'Full Meteorology (All Stability Classes and Wind Speeds)' (selected), 'Single Stability Class', and 'Single Stability Class and Wind Speed'.
- Non-Regulatory Options:** A section with 'Brode 2 Mixing Height?' and radio buttons for 'No' (selected) and 'Yes'.
- Anemometer Height:** Radio buttons for 'Default' (selected) and 'Specify'. The 'Default' option has a text field with '10.00' and unit '[m]'.

Gambar 4.15. Masukkan Data Meteorologi dari Selat Madura

n. Memasukkan jarak dari sumber emisi

Jarak reseptor dari sumber emisi diasumsikan sejauh 1000m, 3000m, dan 5000m dimana pada daerah dengan radius arah timur di 3000m atau 3km itu merupakan kawasan penduduk tepatnya berada didaerah Wonokusumo dan pada daerah dengan radius arah timur di 5000m atau 5km merupakan kawasan penduduk tepatnya berada didaerah Kedungcowek. Dapat dilihat pada gambar 4.16 Jarak ini diambil karena, pada radius tersebut terdapat area kawasan penduduk dan berada di timur sumber emisi, karena diarah timur merupakan arah angin yang paling sering berhembus.

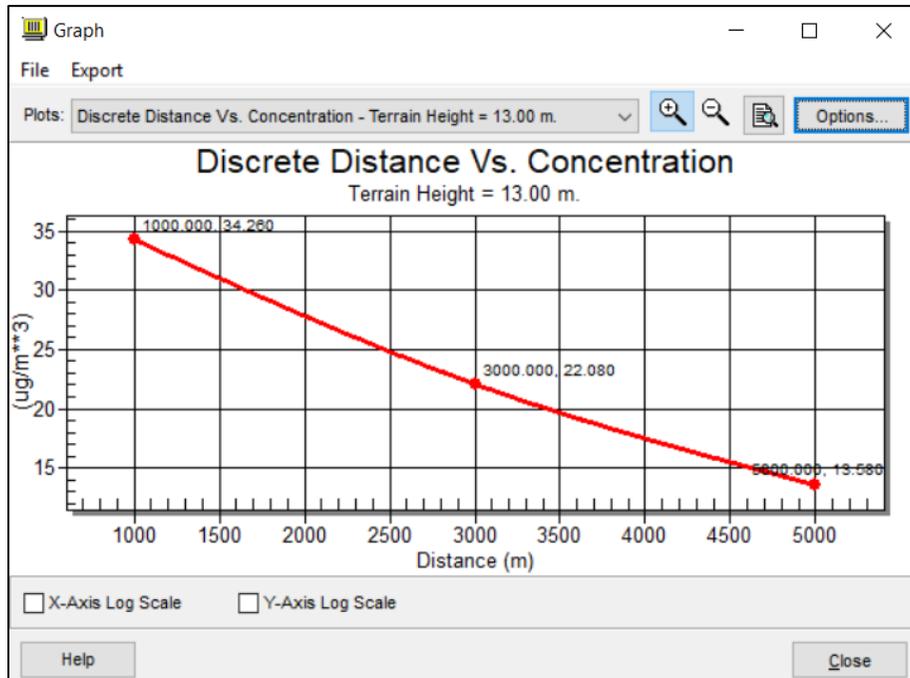


Gambar 4.16. Masukkan jarak dari sumber emisi

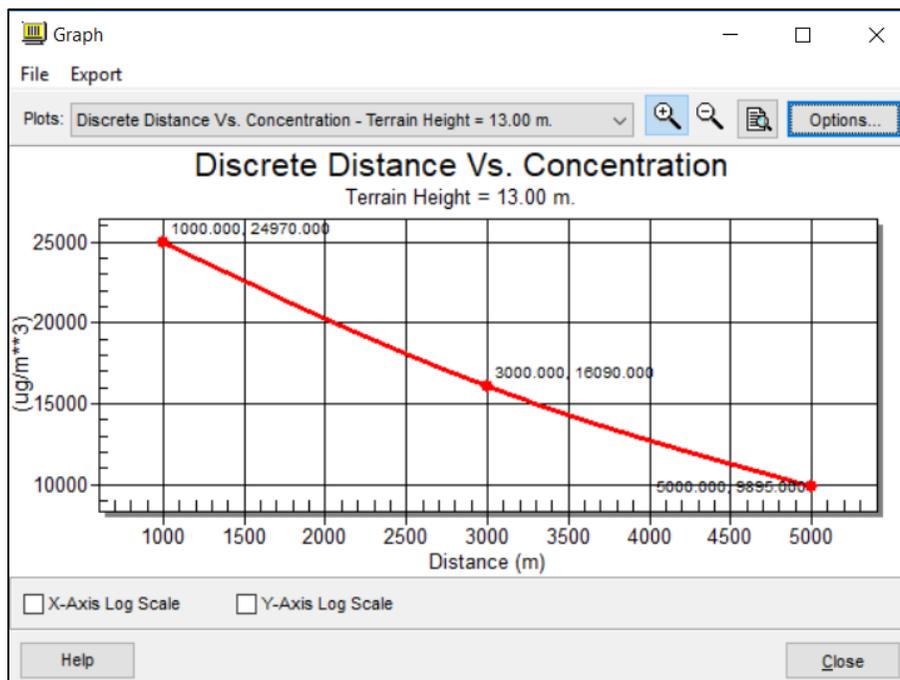
o. Menjalankan model

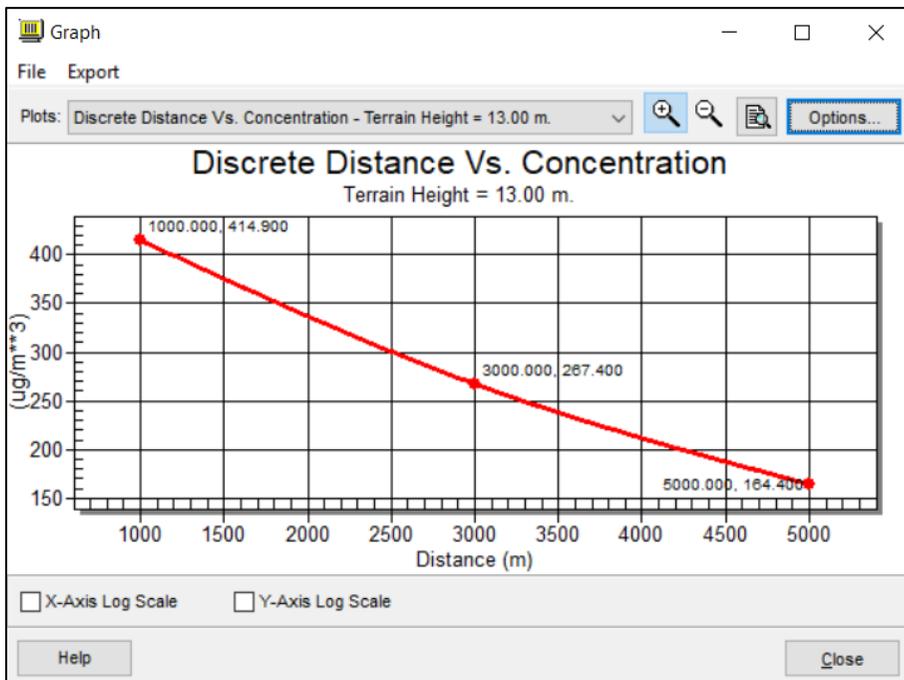
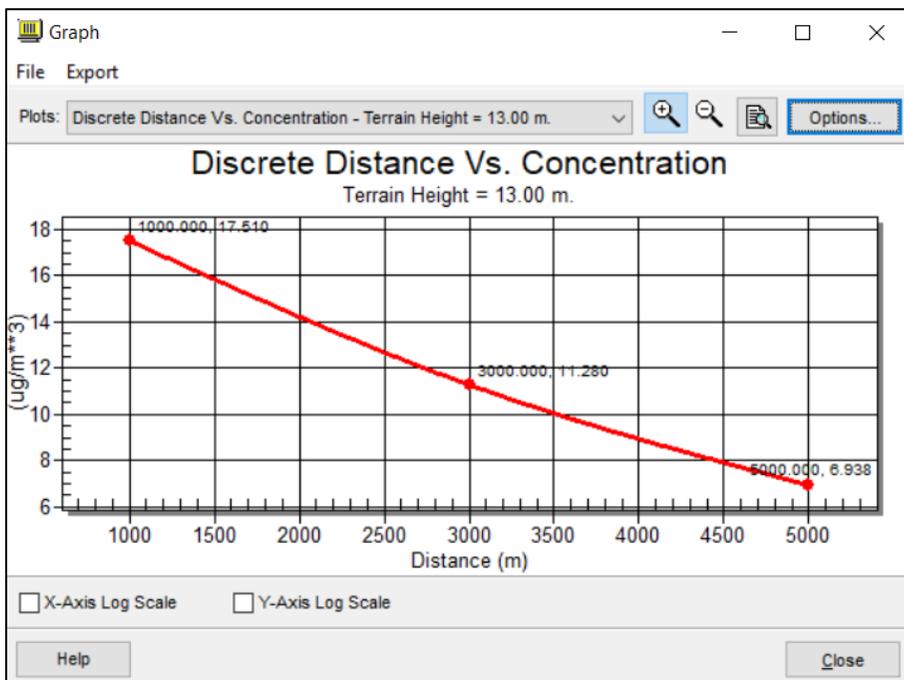
Langkah terakhir adalah menjalankan model dimana semua parameter dan data telah dimasukkan dalam *software lakes environmental screen view 4.0.1*.

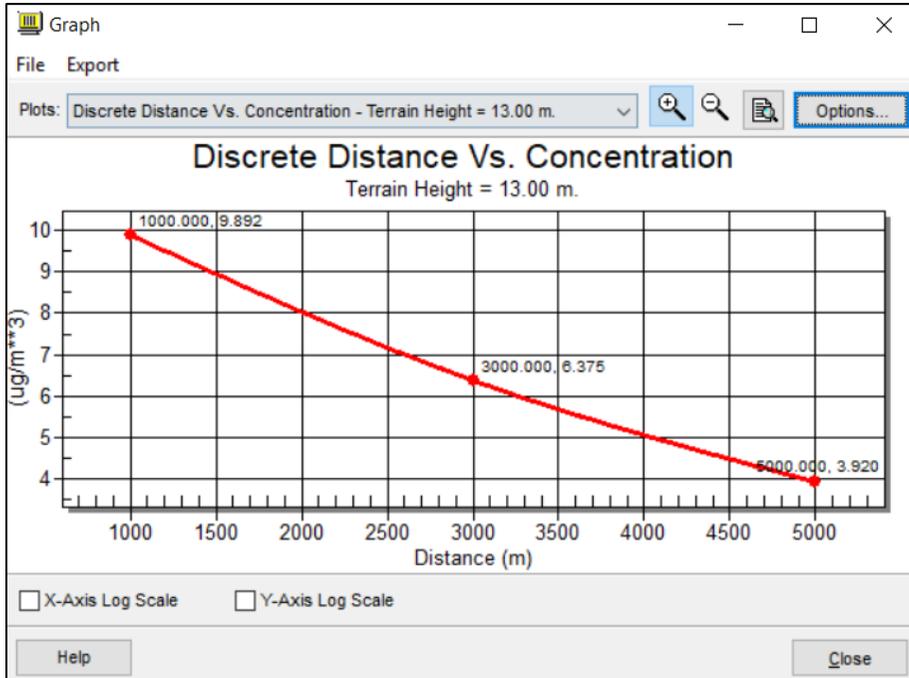
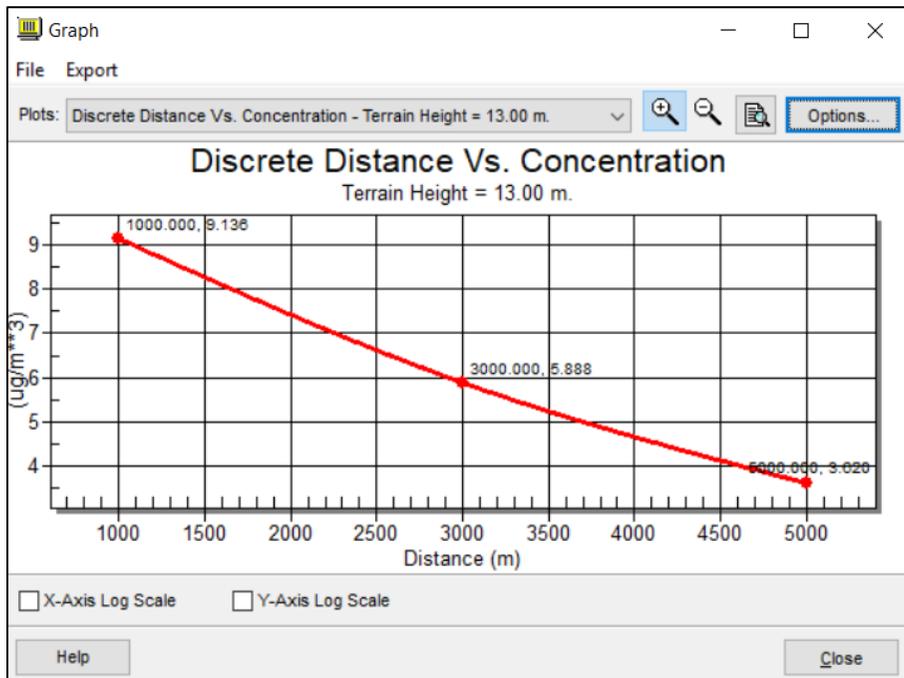
Dari langkah-langkah diatas yang telah dijelaskan tadi, dapat diketahui sebaran emisi dari masing-masing polutan emisi yang telah dihasilkan oleh masing-masing pelabuhan disetiap jamnya tepatnya pada bulan April 2017. Gambar 4.17, 4.18, 4.19, 4.20, 4.21, 4.22 menunjukkan hasil sebaran emisi selama satu jam dari tiap pelabuhan (Terminal Mirah, BJTI, dan TPS) pada bulan April 2017.



Gambar 4.17. Hasil Sebaran Emisi CO

Gambar 4.18. Hasil Sebaran Emisi CO₂

Gambar 4.19. Hasil Sebaran Emisi NO_xGambar 4.20. Hasil Sebaran Emisi SO_x

Gambar 4.21. Hasil Sebaran Emisi PM₁₀Gambar 4.22. Hasil Sebaran Emisi PM_{2.5}

4.8. Analisa Hasil Simulasi

Analisa hasil simulasi ini terdapat dua bagian yaitu analisa hasil emisi gas buang dimasing-masing pelabuhan dan pada tahun keberapa kondisi udara di pelabuhan tanjung perak sudah melebihi ambang batas yang telah ditentukan dalam BMUAN (Baku Mutu Udara Ambien Nasional) PP. 41 Tahun 1999. Penelitian ini memprakirakan kondisi emisi gas buang lima tahun kedepan mulai januari 2017 hingga desember 2021 dengan asumsi peningkatan jumlah kapal sebanyak 2,5% tiap tahun berdasarkan prediksi IMSA. Lalu ditahun 2021 dilakukan simulasi ulang hasil sebaran emisinya, agar didapatkan data kandungan emisi masih dalam ambang batas yang ditetapkan oleh BMUAN (Baku Mutu Udara Ambien Nasional) atau sudah melebihi batas.

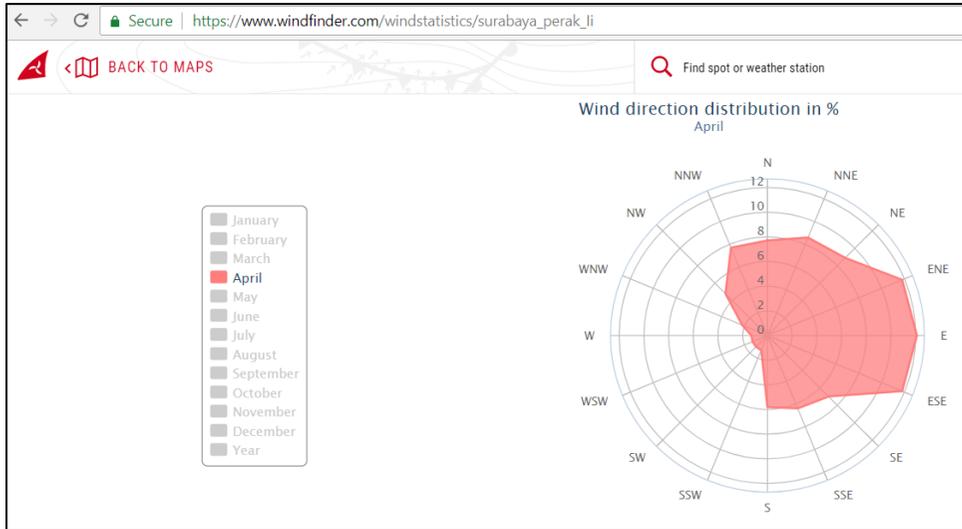
4.8.1. Analisa Hasil Simulasi Pada Tahun 2017

Berdasarkan hasil simulasi masing-masing pelabuhan pada tahun 2017, emisi gas buang tertinggi terjadi pada bulan April dimana total kedatangan kapal berjumlah 390 kapal dimana total emisi yang dihasilkan dapat dilihat pada tabel 4.6 dibawah ini.

Tabel 4.6. Jumlah Emisi Gas Buang Pada Tahun 2017

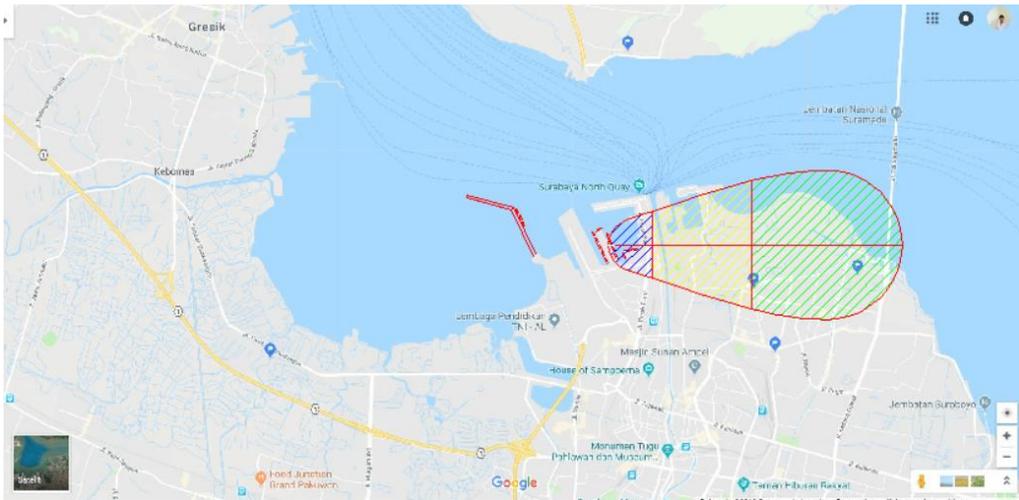
2017	Jumlah Emisi (Ton/Bulan)					
	CO	CO ₂	NO _x	SO _x	PM ₁₀	PM _{2.5}
Jan-17	6.367	4641.068	77.115	3.254	1.839	1.698
Feb-17	6.398	4663.549	72.464	3.270	1.848	1.706
Mar-17	6.790	4949.507	82.240	3.471	1.962	1.811
Apr-17	6.793	4951.039	82.266	3.472	1.962	1.811
May-17	5.878	4284.278	71.187	3.004	1.698	1.567
Jun-17	5.037	3671.123	60.999	2.574	1.455	1.343
Jul-17	4.936	3598.030	59.784	2.523	1.426	1.316
Aug-17	5.845	4260.068	70.785	2.987	1.688	1.559
Sep-17	5.137	3744.105	62.212	2.625	1.484	1.370
Oct-17	5.570	4059.994	67.460	2.847	1.609	1.485
Nov-17	5.649	4117.574	68.417	2.887	1.632	1.506
Dec-17	5.328	3883.602	64.529	2.723	1.539	1.421

Dari perhitungan emisi diatas pada tabel 4.6 diatas, pada bulan April emisi yang dihasilkan adalah yang tertinggi. Setelah diketahui bulan penghasil emisi tertinggi lalu dicari data angin pada bulan tersebut guna mengetahui area mana saja yang terdampak sebaran emisi gas buang. Sehingga didapatkan data yang mendekati akurat berdasarkan data arah angin pada bulan yang sama yakni bulan April. Dimana dapat dilihat pada gambar 4.23 secara statistik angin lebih sering bertiup ke arah timur sehingga daerah yang paling terdampak adalah di arah timur dari sumber emisi gas buang.



Gambar 4.23. Statistik Arah Angin

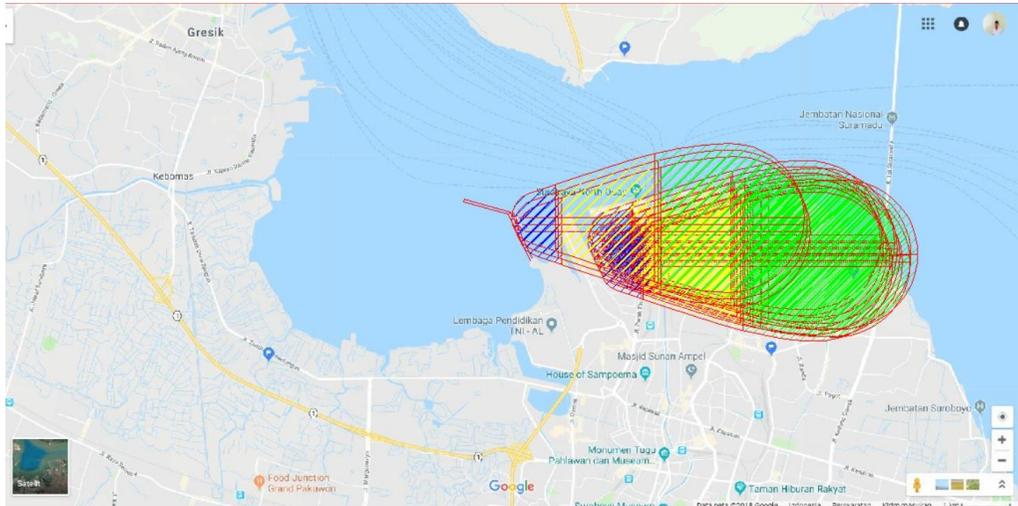
Dari perhitungan emisi diatas pada tabel 4.6 diatas, pada bulan April emisi yang dihasilkan adalah yang tertinggi. Tepatnya pada tanggal 13 April 2017 dimana terdapat 10 kapal di BJTI, 3 kapal di Mirah, dan 3 kapal di TPS yang sedang melakukan bongkar muat. Sehingga hasil sebaran emisinya dapat dilihat pada gambar 4.24 untuk satu kapal karena *software* ini tidak dapat mengakomodasi banyak *stack* sekaligus sehingga harus dibuat beberapa *stack*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat di lampiran.



Gambar 4.24. Hasil Sebaran Emisi Untuk Satu Kapal

Berdasarkan gambar 4.24 diatas daerah kawasan penduduk yang terdampak daerah wonokusumo dan kedung cowek, namun sebaran emisi diatas itu hanya dari satu sumber emisi saja atau dari satu sumber kapal. Berdasarkan data statistik arah angin yang diperoleh dari windfinder.com

arah angin paling sering bertiup ke arah timur. Daerah kawasan penduduk diarah timur dari Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya adalah Wonokusumo dan Kedungcowek dengan radius masing-masing 3 kilometer dan 5 kilometer dari sumber (Pelabuhan Tanjung Perak).



Gambar 4.25 Hasil Sebaran Emisi di Masing-Masing Terminal

Berdasarkan gambar diatas daerah yang paling terdampak adalah area Terminal Berlian, karena terdapat 10 kapal yang sedang melakukan bongkar muat secara bersamaan. Dimana diikuti oleh Terminal Mirah yang juga terkena dampak dari emisi di Terminal Berlian, terakhir adalah Terminal Petikemas Surabaya. Namun dikarenakan Terminal Petikemas Surabaya juga melayani pelayaran internasional banyak kapal yang tidak terdata di BKI, NK, maupun DNV-GL. Untuk daerah penduduk yang terdampak adalah daerah wonokusumo dan kedung cowek. Dari gambar 4.25 diatas daerah yang paling terdampak adalah Terminal Berlian dimana detail emisinya dapat dilihat pada tabel 4.7 dibawah ini.

Tabel 4.7 Detail Emisi NOx di Terminal Berlian Pada 13 April 2017

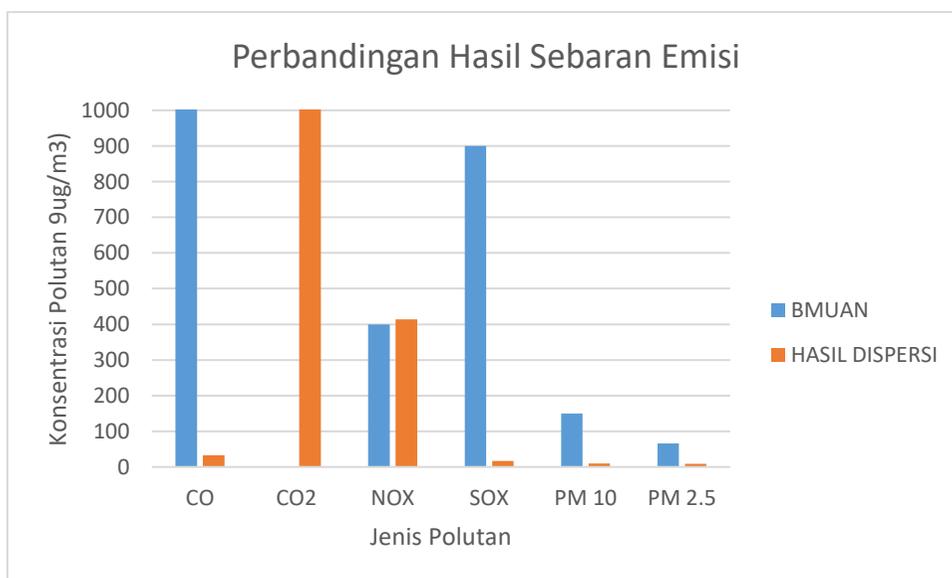
Nama Kapal	Nox			Jenis Polutan
	1000	3000	5000	Radius (m)
MV. SAVIOUR	414.9	267.4	164.4	ug/m ³
KM.BONNY STAR	204.4	131.7	89.89	
MV. KABONGA BARU	27.93	18.0	11.07	
KM.ORIENTAL PASIFIC	239.1	154.1	84.76	
KM. SAMUDRA PRIMA I	111.3	71.71	44.1	
KM.TANTO HANDAL	40.88	26.34	13.2	
MV. LINTAS HARUAN	192.6	124.1	116.21	

Lanjutan Tabel 4.7

Nama Kapal	Nox			Jenis Polutan
	1000	3000	5000	Radius (m)
KM. TANTO HORAS	40.88	26.34	16.2	ug/m ³
MV. PERSADA X	176.5	113.7	69.92	
MV. MERATUS BANJAR 1	260.6	167.9	103.3	

Untuk data emisi lainnya dapat dilihat pada lampiran B. Data Nox diatas sudah mendekati ambang batas yang ditentukan oleh BMUAN. Berdasarkan hasil sebaran emisi pada tabel 4.7 diatas, dilakukan perbandingan dengan Baku Mutu Udara Ambien Nasional dalam peraturan Pemerintah No. 41 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara diperlihatkan pada gambar 41 dibawah ini.

Nilai yang tertera pada gambar 4.25 untuk BMUAN adalah nilai konsentrasi yang keberadaannya diudara wilayah yurisdiksi Indonesia selama 1 jam kecuali untuk PM₁₀ dan PM_{2.5} selama 24 jam. Batas konsentrasi NO_x adalah 400 µg/m³ namun hasil penelitian nilai NO_x adalah 414.9 µg/m³ (yang tertinggi) sedikit melebihi ambang batas yang telah ditetapkan BMUAN. Sedangkan jenis polutan yang lainnya masih berada dibawah ambang batas BMUAN.



Gambar 4.26. Grafik Perbandingan Hasil Sebaran Emisi Pada 13 April 2017

Berdasarkan gambar 4.26 diatas, nilai NO_x sudah mendekati ambang batas yang telah ditetapkan oleh BMUAN, namun berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan Nomor 1407/MENKES/SK/XI/2002 Tentang Parameter Pencemar Udara dan Dampaknya terhadap kesehatan. Dampak kadar polutan

NO_x hasil penelitian terhadap kesehatan manusia diperlihatkan pada tabel 4.8. Nilai konsentrasi NO_x sebesar 414.19 µg/m³ atau setara dengan 0.4142 ppm.

Berdasarkan peraturan Menkes tahun 2002 bahwa bila NO_x dengan kadar 5 ppm diudara dan dihirup oleh manusia selama lima menit dapat menyebabkan kesulitan bernafas. Dimana pada hasil penelitian ini kadar NO_x hanya 0.4142 ppm sehingga tidak signifikan berdampak terhadap manusia. Untuk polutan lainnya dikarenakan masih dibawah ambang batas BMUAN maka masih dalam ambang batas normal dan tidak mengakibatkan dampak pada kesehatan manusia.

Tabel 4.8. Dampak Polutan NO_x Hasil Penelitian

Terminal	Polutan NO _x penelitian kadar tertinggi (ppm)	Standar Polutan Nox (ppm)	Dampak
BJTI	0.4142	5	Tidak terjadi apa-apa terhadap kesehatan manusia
Mirah	0.2283		

4.8.2. Analisa Hasil Simulasi Sampai Dengan Tahun 2021

Berdasarkan hasil simulasi masing-masing pelabuhan sampai dengan Desember 2021, emisi gas buang tertinggi terjadi pada bulan April tahun 2020 dimana total kedatangan kapal berjumlah 390 kapal dimana total emisi yang dihasilkan dapat dilihat pada tabel 4.9 dibawah ini.

Tabel 4.9. Hasil Emisi Sampai Tahun 2021

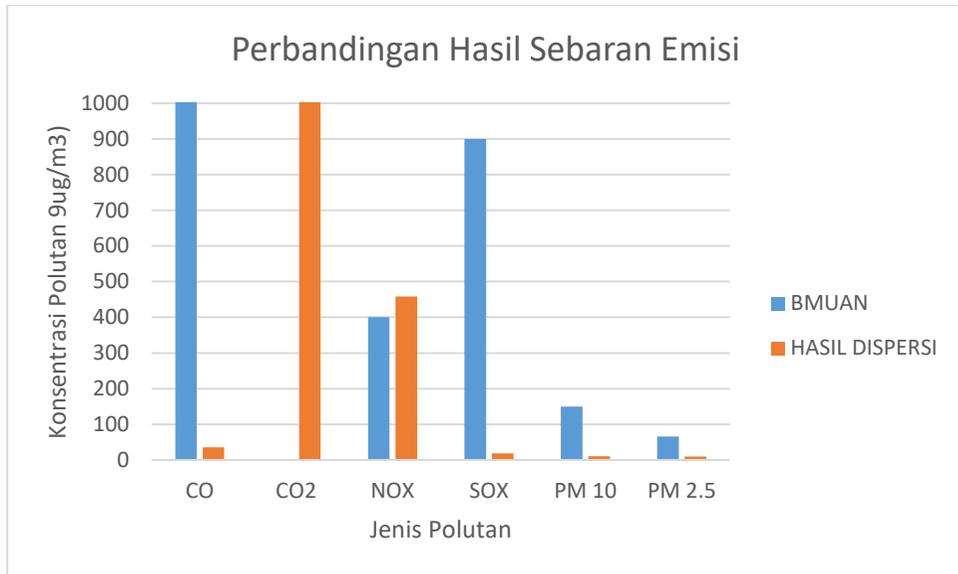
	Jumlah Emisi (Ton/Bulan)					
	CO	CO ₂	NO _x	SO _x	PM ₁₀	PM _{2.5}
Jan-17	6.367	4641.068	77.115	3.254	1.839	1.698
Jun-17	5.037	3671.123	60.999	2.574	1.455	1.343
Jan-18	6.527	4757.094	79.043	3.336	1.885	1.740
Jun-18	5.163	3762.901	62.524	2.639	1.491	1.377
Jan-19	6.690	4876.022	81.019	3.419	1.933	1.784
Jun-19	5.292	3856.973	64.087	2.705	1.529	1.411
Jan-20	6.857	4997.922	83.045	3.505	1.981	1.829
Jul-20	5.424	3953.398	65.689	2.772	1.567	1.446
Jan-21	7.028	5122.870	85.121	3.592	2.030	1.874
Jun-21	5.559	4052.233	67.331	2.842	1.606	1.483

Dari perhitungan emisi pada tabel 4.9 diatas, pada bulan April 2021 emisi yang dihasilkan adalah yang tertinggi yaitu 7.4977 Ton/Bulan. Sehingga emisi pada bulan tersebut dilakukan pemodelan dispersi pada *software lakes environmental screen view 4.0.1* dimana tercatat hasil disperse emisi seperti pada tabel 4.102 dibawah ini.

Tabel 4.10. Sebaran Emisi April 2021

Nama Kapal	Nox			Jenis Polutan
	1000	3000	5000	Radius (m)
MV. SAVIOUR	458	295.2	181.5	ug/m ³
KM.BONNY STAR	225.6	145.4	99.2	
MV. KABONGA BARU	30.8	19.9	12.2	
KM.ORIENTAL PASIFIC	263.9	170.1	93.6	
KM. SAMUDRA PRIMA I	122.9	79.2	48.7	
KM.TANTO HANDAL	45.1	29.1	14.6	
MV. LINTAS HARUAN	212.6	137	128.3	
KM. TANTO HORAS	45.1	29.1	17.9	
MV. PERSADA X	194.8	125.5	77.2	
MV. MERATUS BANJAR 1	287.6	185.33	114	

Berdasarkan hasil sebaran emisi pada tabel 4.10 diatas, dilakukan perbandingan dengan Baku Mutu Udara Ambien Nasional dalam peraturan Pemerintah No. 41 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara diperlihatkan pada gambar 42 dibawah ini. Nilai yang tertera pada gambar 4.26 untuk BMUAN adalah nilai konsentrasi yang keberadaannya diudara wilayah yurisdiksi Indonesia selama 1 jam, kecuali untuk PM₁₀ dan PM_{2.5} selama 24 jam. Batas konsentrasi NO_x adalah 400 µg/m³ namun hasil penelitian nilai NO_x adalah 458 µg/m³ sudah melebihi ambang batas yang telah ditetapkan BMUAN. Sedangkan jenis polutan yang lainnya masih berada dibawah ambang batas BMUAN.



Gambar 4.27. Grafik Perbandingan Hasil Sebaran Emisi Pada April 2021

Berdasarkan gambar 4.27 diatas, nilai NO_x sudah melebihi ambang batas yang telah ditetapkan oleh BMUAN, namun berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan Nomor 1407/MENKES/SK/XI/2002 Tentang Parameter Pencemar Udara dan Dampaknya terhadap kesehatan. Dampak kadar polutan NO_x hasil penelitian terhadap kesehatan manusia diperlihatkan pada tabel 4.11. Nilai konsentrasi NO_x sebesar $458 \mu\text{g}/\text{m}^3$ atau setara dengan 0.458 ppm, berdasarkan peraturan Menkes tahun 2002 bahwa bila NO_x dengan kadar 5 ppm diudara dan dihirup oleh manusia selama lima menit dapat menyebabkan kesulitan bernafas. Dimana pada hasil penelitian ini kadar NO_x hanya 0,458 ppm sehingga tidak signifikan berdampak terhadap manusia. Untuk polutan lainnya dikarenakan masih dibawah ambang batas BMUAN maka masih dalam ambang batas normal dan tidak mengakibatkan dampak pada kesehatan manusia.

Tabel 4.11. Dampak Polutan NO_x Hasil Penelitian

Terminal	Polutan NO_x penelitian kadar tertinggi (ppm)	Standar Polutan Nox (ppm)	Dampak
BJTI	0.458	5	Tidak terjadi apa-apa terhadap kesehatan manusia
Mirah	0.253		

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi emisi gas buang kapal di area terminal petikemas (Mirah, BJTI, dan TPS) dengan metode US. EPA dan dinamika sistem yang telah dilakukan, berikut adalah beberapa kesimpulan dan saran yang dapat diberikan. Berikut kesimpulan dari hasil analisa gas buang kapal dan peralatan bongkar muat dengan metode US. EPA dan dinamika sistem:

1. Berdasarkan hasil perhitungan emisi gas buang tertinggi terjadi pada April baik itu tahun 2017 maupun tahun 2021. Hasil perhitungna ini menggunakan metode estimasi emisi US. EPA dan diamika sistem. Berikut adalah hasil perhitungan emisi gas buang April 2017 dan April 2021.
 - ✓ Emisi gas buang pada April 2017
 - CO (Karbon monoksida) = 6.739 Ton/bulan
 - CO₂ (Karbon dioksida) = 4951.039 Ton/bulan
 - NO_x (Nitrogen Oksida) = 82.66 Ton/bulan
 - SO_x (Sulfur Oksida) = 3.472 Ton/bulan
 - PM 10 = 1.962 Ton/bulan
 - PM 2.5 = 1.811 Ton/bulan
 - ✓ Emisi gas buang pada April 2021
 - CO (Karbon monoksida) = 7.03 Ton/bulan
 - CO₂ (Karbon dioksida) = 5465.02 Ton/bulan
 - NO_x (Nitrogen Oksida) = 90.81 Ton/bulan
 - SO_x (Sulfur Oksida) = 3.83 Ton/bulan
 - PM 10 = 2.17 Ton/bulan
 - PM 2.5 = 1.99 Ton/bulan
2. Berdasarkan hasil perhitungan emisi gas buang terjadi pada April baik itu tahun 2017. Dilakukan sebaran emisi guna mengetahui daerah mana saja yang terdampak emisi. Berdasarkan data statistik bahwa arah angin sering bertiup ke arah timur. Sehingga didaerah terdampak pada daerah kawasan penduduk di Wonokusumo (3 kilometer) dan Kedungcowek (5 kilometer), maupun daerah Pabean Cantikan itu sendiri.
 - ✓ Sebaran Emisi pada April 2017 di daerah kawasan Pelabuhan Tanjung Perak, Pabean Cantikan dengan radius 1 kilometer.
 - CO (Karbon monoksida) = $3.43 \times 10^1 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 - CO₂ (Karbon dioksida) = $2.50 \times 10^4 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 - NO_x (Nitrogen Oksida) = $4.15 \times 10^2 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 - SO_x (Sulfur Oksida) = $1.75 \times 10^1 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 - PM 10 = $0.99 \times 10^1 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 - PM 2.5 = $0.91 \times 10^1 \mu\text{g}/\text{m}^3$

- ✓ Sebaran Emisi pada April 2017 di daerah kawasan penduduk Wonokusumo dengan radius 3 kilometer.
 - CO (Karbon monoksida) = $2.21 \times 10^1 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 - CO₂ (Karbon dioksida) = $1.61 \times 10^4 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 - NO_x (Nitrogen Oksida) = $2.67 \times 10^2 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 - SO_x (Sulfur Oksida) = $1.13 \times 10^1 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 - PM 10 = $0.64 \times 10^1 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 - PM 2.5 = $0.59 \times 10^1 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- ✓ Sebaran Emisi pada April 2017 di daerah kawasan penduduk Kedungcowek dengan radius 5 kilometer.
 - CO (Karbon monoksida) = $1.36 \times 10^1 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 - CO₂ (Karbon dioksida) = $0.99 \times 10^4 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 - NO_x (Nitrogen Oksida) = $1.64 \times 10^2 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 - SO_x (Sulfur Oksida) = $0.69 \times 10^1 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 - PM 10 = $0.39 \times 10^1 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 - PM 2.5 = $0.36 \times 10^1 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- 3. Berdasarkan hasil perhitungan emisi gas buang terjadi pada April baik itu tahun 2021. Dilakukan sebaran emisi guna mengetahui daerah mana saja yang terdampak emisi. Berdasarkan data statistik bahwa arah angin sering bertiup ke arah timur. Sehingga didaerah terdampak pada daerah kawasan penduduk di Wonokusumo (3 kilometer) dan Kedungcowek (5 kilometer), maupun daerah Pabean Cantikan itu sendiri.
 - ✓ Sebaran Emisi pada April 2021 di daerah kawasan Pelabuhan Tanjung Perak, Pabean Cantikan dengan radius 1 kilometer.
 - CO (Karbon monoksida) = $3.79 \times 10^1 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 - CO₂ (Karbon dioksida) = $2.76 \times 10^4 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 - NO_x (Nitrogen Oksida) = $4.58 \times 10^2 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 - SO_x (Sulfur Oksida) = $1.93 \times 10^1 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 - PM 10 = $1.09 \times 10^1 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 - PM 2.5 = $1.00 \times 10^1 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 - ✓ Sebaran Emisi pada April 2021 di daerah kawasan penduduk Wonokusumo dengan radius 3 kilometer.
 - CO (Karbon monoksida) = $2.34 \times 10^1 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 - CO₂ (Karbon dioksida) = $1.78 \times 10^4 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 - NO_x (Nitrogen Oksida) = $2.95 \times 10^2 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 - SO_x (Sulfur Oksida) = $1.25 \times 10^1 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 - PM 10 = $0.71 \times 10^1 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 - PM 2.5 = $0.65 \times 10^1 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 - ✓ Sebaran Emisi pada April 2021 di daerah kawasan penduduk Kedungcowek dengan radius 5 kilometer.
 - CO (Karbon monoksida) = $1.50 \times 10^1 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 - CO₂ (Karbon dioksida) = $1.09 \times 10^4 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 - NO_x (Nitrogen Oksida) = $1.82 \times 10^2 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 - SO_x (Sulfur Oksida) = $0.76 \times 10^1 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 - PM 10 = $0.43 \times 10^1 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 - PM 2.5 = $0.4 \times 10^1 \mu\text{g}/\text{m}^3$

5.2. Saran

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

1. Melakukan penelitian dengan *real time* sehingga dapat mengetahui pergerakan dispersi emisi gas buang
2. Data penelitian dikombinasi dengan data kedatangan kapal diselat Madura agar estimasi emisi gas buang dapat mendekati keadaan dilapangan
3. Penelitian dapat dikembangkan dengan metode dispersi selain gaussian plume untuk mengetahui perbedaan sebaran emisi antar metode.
4. Menggunakan bahan bakar dengan kualitas tinggi agar emisi yang dihasilkan lebih sedikit.
5. Menggunakan *after treatment* untuk mengurangi emisi gas buang seperti *selective catalytic reduction, scrubber* dan lain-lain.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Daftar Pustaka

- Altwickler, ER. 2000. *"Air Pollution"*. Lewis Publisher.
- Arifin, M.D. 2012. Estimasi Distribusi Emisi Di Perairan Selat Madura Melalui Integrasi Data Automatic Identification System AIS Dan Geographic Information System GIS., s.2.: s.n.
- Bouloiz, H., Garbolino, E., Tkiouat, M., & Guarnieri, F. (2013). "A system dynamics model of behavioral analysis of safety conditions in a chemical storage unit Safety". *Science - Dirrect* , 32-40.
- Bracken, C., Carnemolla, A., Ritter, C., Zielke, E. 2007. "An Analysis of Exhaust Emissions from a Large Ship Docked in Humbolt Bay". Eureka: ENGR 416.
- Cimorelli, A.J., Perry, S.G., Venkatram, A., Weil, J.C., Paine, R.J., Wilson, R.B., Lee, R.F., Peters, W.D., Brode, R.W., Paumier, J.O. 2004. "AERMOD: Description of Formulation".
- Colls, J. 2002. *"Air Pollution 2nd Edition"*. London. New Letter Lane.
- Cooke, D., & Rohleder, T. (2006). "Learning from incidents: from normal accidents to high reliability System Dynamics". *Science - Dirrect Elsevier*, 213-239.
- Ercan T., Onat N. C., Tatari O. 2016. "Investigating Carbon Footprint Reduction Potential of Public Transportation in United States: A System Dynamics Approach". *Science - Dirrect Elsevier*, 1260-1276.
- Flang, Richard. C and Seinfeld J. H (1998). *"Fundamental of Air Pollution Engineering"*. New Jersey : Pretice Halls.
- Forrester, J. (1961). *"Industrial Dynamics"*. Cambridge,USA: MIT Press.
- Godish, T. 1985. *"Air Quality"*. Ball State University, Muncie, Indiana: Lewis Publisher, Inc.
- Handani D W., Uchida M. 2014. "Modelling Optimum Operation of Ship Machinery by Using System Dinamics". *Journal of the JIME (Japan Institute of Marine Engineering)*. 132-141.
- Imamura, H dan Scheurs, M.A. 2005. *"Environmental Policy in Japan"*. United State of America. Edward Elgar Publish, Inc.
- June. 1993. Anemometers, Meas. Control.
- Karan, C. 2016. *"Marine Insight"*. [Online] Aavailable at :<http://www.marineinsight.com> [accessed Januari, 2018]
- Keputusan Menteri Kesehatan 2002 Nomor 1407/MENKES/SK/XI/2002 Tentang Parameter Pencemar Udara dan Dampaknya Terhadap Kesehatan.
- Keputusan Menteri Lingkungan Hidup 2010 Nomor : KEP-45/MENLH/10/1997 Tentang Kriteria Kualitas Udara.
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 141 Tahun 2003 Tentang Standar Emisi EURO 2 di Indonesia.
- Kim U, Hopke PK. 2008. *"Characteristic of Ambient Fine Particles in the Northwestren Area and Anchorage, Alaska"*. *Jurnal of The Air and Waste Management Association*.
- Liu X., Ma S., Tian J., Jia N., Li G. 2015. "A System Dynamics Approach To ScenarioFor Urban Passanger Transport Energy Consumption And Co₂ Emissions: A Case Study Of Beijing". *Science - Dirrect Elsevier*, 253-270.

- Marais, K., Saleh, J., & Leveson, N. (2006). "Archetypes For Organizational Safety". *Science - Dirrect Elsevier*
- Moizer, J. (1999). "System dynamics modelling of occupational safety: a case study approach". Stirling: University Of Stirling.
- Nevers N. D. (2000). "Air Pollution Control Engineering". United State of America: McGraw Hill Companies
- Novianti, S. 2009. "Pengaruh Karakteristik Faktor Emisi Terhadap Estimasi Beban Emisi Oksida Nitrogen (NOx) dari Sektor Transportasi (Studi Kasus: Wilayah Karees, Bandung)".
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 04. Tahun 2009 Tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Tipe Baru Untuk *Heavy Duty Vehicle* Berpengerak Mesin Penyalaan Kompresi
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 Tentang Pengendalian Pencemaran udara
- Petrovsky, N. 1961. "Marine Internal Combustion Engine". Moscow: Mir Publisher.
- Pitana, T., Kobayashi, E., Wakabayashi, N. 2010. "Estimate of Exhaust Emissions of Marine Traffic Using Automatic Identified System Data (Case Study: Madura Strait Area, Indonesia)".
- Powersim Inc. 2011. PowerSim User's Guide Version 7.
- Prakoso, M. A. 2017. Studi Kelayakan Penentuan Umur Kapal Penumpang Untuk Konversi Diesel Engine Menjadi Dual Fuel Diesel Engine Dengan Metode Dinamika Sistem (System Dynamics), s.1.: s.n.
- Priharanto, Y. E. 2015. Pengaruh Kompetensi dan Jumlah Kru Perawatan Terhadap Biaya Perawatan Kapal Penangkap Ikan Dengan Pemodelan Dinamika Sistem s.2.: s.n.
- Starcrest Consulting. 2015. Port of Los Angeles Inventory of Air Emission 2014 Group LLC
- Rahmawaty. 2002. "Dampak Pencemaran Udara Terhadap Tumbuhan".
- Seinfeld, J. H. 1975. "Air Pollution Physical and Chemical Fundamental". McGraHill, Inc.
- Setyawan, B. F. P. 2011. Estimasi Pencemaran Udara dari Transportasi Laut Di Daerah Shore Line Selat Madura Dengan Menggunakan Data Automatic Identification System (AIS) dan Sistem Informasi Geografis (GIS), s.1.: s.n.
- Sterman, J. (2000). "Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World". Boston: Mac-Graw Hill.
- Tang, V., & Vijay, S. (2001). "System Dynamics origin development and future prospects of a method". *Research Seminar in Engineering System*. Cambridge: MIT Press.
- Terminal Berlian. 2018. Jumlah Kedatangan Kapal di Terminal Berlian
- Terminal Mirah. 2018. Jumlah Kedatangan Kapal di Terminal Mirah
- Terminal Petikemas Surabaya. 2018. Jumlah Kedatangan Kapal di Terminal Petikemas Surabaya
- Trozzy C, Vaccaro R. (1998). "Methodologies For Estimating Future Air Pollution Emissions From Ships".
- US. EPA. 1995. "Screen3 Model User's Guide".

- US. EPA. 2016. “*Heavy-Duty Compression-Ignition Engines and Urban Buses: Exhaust Emission Standards*”.
- US. EPA. 2016. “*Locomotive: Exhaust Emission Standards*”
- US. EPA. 2016. “*Nonroad Compression-Ignition Engines: Exhaust Emission Standards*”.
- Vesilind P. A. 1985. “*Environmental Engineering Second Edition*”. United State of America: Butterworth Publisher.
- Visser. 2014. “*Air Dispersion Modelling*”. New Jersey. John Willey and Sons, Inc.
- Wedo, H.F.N. 2013. “2014, Kapasitas Tanjung Perak Over Capacity” [Online] Available at: <http://www.bisnis.com> [accessed Januari, 2018]
- Yan Zhang, Qiang Li, W. Zhang, Huiquan Li, Peng He. (2017). “Co2 Emission Trends Of China's Primary Aluminum Industry: A Scenario Analysis Using System Dynamics Model”. *Science - Direct Elsevier*, 225-235.
- Yi, L., Shu, G. Z., Lian, H., Hua, Y. H., & Hang, S. (2016). “System dynamics modeling of the safety evolution of blended-wing-body subscale demonstrator flight testing”. *Science Direct Elsevier Safety Science*, 219-230.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”