

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/340541037>

# DISTRIBUSI EMISI GAS BUANG DI PERAIRAN SELAT MADURA MELALUI INTEGRASI DATA AIS DAN GIS MENGGUNAKAN GAUSSIAN PLUME DAN GAUSSIAN PUFF MODEL

Article · December 2012

---

CITATIONS

0

3 authors, including:



**Mohammad Danil Arifin**

Universitas Darma Persada

17 PUBLICATIONS 11 CITATIONS

SEE PROFILE

## **DISTRIBUSI EMISI GAS BUANG DI PERAIRAN SELAT MADURA MELALUI INTEGRASI DATA AIS DAN GIS MENGGUNAKAN GAUSSIAN PLUME DAN GAUSSIAN PUFF MODEL**

**Mohammad Danil Arifin<sup>\*)</sup>**

**Trika Pitana<sup>\*)</sup>**

**A.A.B. Dinariyana<sup>\*)</sup>**

Dosen Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Universitas Darma Persada  
Jl. Raden Inten II No. 1 Pondok Kelapa Duren Sawit Jakarta Timur  
Email : danilarifin.mohammad@gmail.com

### **ABSTRAK**

Selat Madura merupakan salah satu daerah pelayaran yang memiliki lalu lintas terpadat di Indonesia. Hal ini dipengaruhi oleh keberadaan Pelabuhan Tanjung Perak sebagai salah satu local hub pergerakan barang di Indonesia disamping Pelabuhan Tanjung Priok. Dengan banyaknya kapal-kapal domestik dan maupun kapal berbendera asing yang melintasi perairan ini akan memberikan dampak terhadap peningkatan emisi gas buang. Terlebih lagi pemerintah Indonesia belum meratifikasi MARPOL 73/78 Annex VI mengenai pencegahan polusi udara yang dikeluarkan oleh kapal. Peningkatan emisi gas buang yang diiringi dengan penurunan kualitas udara diyakini dapat berdampak pada kualitas kesehatan manusia yang berada di sekitar Selat Madura. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui emisi, konsentrasi emisi, serta dampak emisi terhadap beberapa wilayah di shore line Selat Madura akibat kapal-kapal yang beroperasi di perairan tersebut. Hal ini dilakukan dengan melakukan evaluasi kepadatan jalur pelayaran di Selat Madura dengan memanfaatkan data yang diperoleh melalui perangkat Automatic Identification System (AIS). Untuk menampilkan pola pergerakan kapal, mode operasinya dan pengaruh pergerakan kapal terhadap sebaran emisi yang dihasilkannya, data yang diperoleh dari AIS ini selanjutnya diintegrasikan dengan perangkat lunak Geographic Information System (GIS). Metodologi dari Trozzi et.al menjadi dasar penentuan emisi yang dikeluarkan oleh kapal, sedangkan untuk mengetahui konsentrasi emisi menggunakan perbandingan antara Gaussian Plume dan Gaussian Puff Model. Dari penelitian ini didapatkan jumlah emisi  $NO_x$  sebesar 1052.742 kg/jam,  $SO_x$  sebesar 2712.798 kg/jam,  $CO_2$  sebesar 1409.747 kg/jam,  $CO$  sebesar 4531.036 kg/jam dan  $PM$  sebesar 54.95 kg/jam. Sedangkan konsentrasi emisi  $NO_x$ ,  $SO_x$ ,  $CO_2$ ,  $CO$  dan  $PM$  terbesar berada di daerah Ujung Kamal dan Banyu Ujuh Madura. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi emisi di wilayah shore line Selat Madura tidak memberikan dampak terhadap kesehatan karena memiliki nilai konsentrasi emisi di bawah Baku Mutu Udara Ambien Nasional (BMUAN)

**Keywords:** *Emisi gas buang, Automatic Identification System (AIS), Geographic Information System (GIS), Gaussian Plume Model, Gaussian Puff Model.*

## EXHAUST EMISSION DISTRIBUTION IN THE MADURA STRAIT THROUGH AIS AND GIS DATA INTEGRATION USING GAUSSIAN PLUME AND PUFF MODEL

### ABSTRACT

*Madura Strait area is one of the busiest marine traffic regions in Indonesia. This is influenced by the presence of the Tanjung Perak Port as one of the local hub distribution of goods in Indonesia. Many ships as well as domestic and foreign-flagged vessels that arrive, depart and travel through that area, thus influencing the air quality of the port environment. Furthermore, the Indonesian government has not yet ratified Marine Pollution (MARPOL) 73/78 Annex VI regarding the prevention of air pollution from ships and the absence of restricting regulations could have an influence on the level of air pollution and it could have an influence on the quality of human health around the Madura Strait. This study aims to determine emissions, concentrations of emissions, and the impact of emissions on some areas in the shore line of the Madura Strait due to ships operation in these areas. This study is done by evaluating the traffic of shipping line in the Strait of Madura by utilizing the data obtained from the Automatic Identification System (AIS). In order to display the ship movement patterns, modes of operation and the effect of the ships movement on the distribution of emissions it produces, the data obtained from the AIS is further integrated with the Geographic Information System (GIS). Methodology of Trozzi et.al becomes the basic for determining emissions released by the vessel. To determine the concentration of emissions both Gaussian Plume and Gaussian Puff Models were employed. The emissions obtained from the Trozzi's methodology consecutively for NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, CO and PM are 1052.742 kg / hour, 2712.798 kg / hour, 1409.747 kg / hour, 4531.036 kg / hour and 54.95 kg / hour. While the largest concentration of emissions for NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, CO and PM are found in Ujung Kamal and Banyu Ujuh Madura. The research results showed that the concentration of emissions in some areas in the shore line of the Madura Strait due to hotelling operation of ships does not have an impact on health because the value of emission concentrations still below the National Ambient Air Quality Standards (BMUAN)*

**Keywords:** *Exhaust Gas Emissions, Automatic Identification System (AIS), Geographic Information System (GIS), Gaussian Plume Model, Gaussian Puff Model.*

### PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan dimana penggunaan kapal sebagai transportasi laut tidak dapat dihindarkan. Indonesia memiliki beberapa alur pelayaran utama dengan lalu lintas yang padat. Salah satu alur pelayaran yang menjadi alur utama pelayaran di Indonesia adalah alur pelayaran di Selat Madura.

Selat Madura merupakan salah satu jalur pelayaran laut di Indonesia yang memiliki tingkat kepadatan lalu lintas yang besar yang mana Selat Madura dilewati oleh berbagai macam jenis kapal baik kapal domestik maupun kapal internasional karena Selat Madura merupakan jalur pelayaran penting menuju ke Pelabuhan Tanjung Perak yang berada di Surabaya.

Pelabuhan Tanjung Perak merupakan salah satu local hub pergerakan barang di Indonesia disamping Pelabuhan Tanjung Priok. Dengan banyaknya kapal-kapal domestik dan maupun kapal berbendera asing yang melintasi perairan ini akan memberikan dampak terhadap peningkatan emisi gas buang yang dikeluarkan oleh kapal. Peningkatan emisi gas buang yang diiringi dengan penurunan kualitas udara diyakini dapat berdampak pada kualitas kesehatan manusia yang berada di sekitar Selat Madura. Lalu lintas kapal laut diperkirakan memiliki peran dalam kematian sekitar 60.000 bayi prematur di seluruh dunia (Wang et.al.,2007). Nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>), karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), particulate matter (PM), dan sulfur oksida

(SOx) adalah beberapa polutan yang terdapat pada emisi gas buang dari kapal. polutan yang terdapat pada emisi gas buang dari kapal.

NOx adalah hasil utama dari proses pembakaran, muncul akibat reaksi bertemperatur tinggi antara N<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> di udara pembakaran dan dari oksidasi nitrogen organik yang terikat pada bahan bakar tertentu seperti batubara dan minyak (Flang et.al., 1988). Nitrogen oksida yang ada di udara yang dihirup oleh manusia menyebabkan kerusakan paru-paru. Setelah bereaksi dengan atmosfer, zat ini membentuk partikel-partikel nitrat yang amat halus yang dapat menembus bagian terdalam paru-paru. Dampak yang ditimbulkan apabila kita menghirup gas yang berbau tajam akan tetapi tidak berwarna seperti SO<sub>2</sub> dapat menimbulkan serangan asma, gas ini juga akan membentuk zat asam apabila bereaksi di atmosfer. Sedangkan partikel debu yang dihasilkan oleh gas buang kapal sangat berbahaya bagi manusia karena dapat mengakibatkan Infeksi Saluran Pernafasan Akut (ISPA).

Banyaknya kapal baik domestik maupun kapal berbendera asing yang melewati Selat Madura memotivasi penulis untuk melakukan suatu penelitian mengenai emisi yang dikeluarkan oleh kapal-kapal tersebut. Bagaimanakah distribusi emisi nitrogen oksida (NOx), karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), particulate matter (PM) serta seberapa besar pengaruh pencemaran udara akibat emisi gas buang di daerah shore line selat Madura.

Tujuan penulisan penelitian ini adalah menghitung emisi gas buang di Selat Madura, menghitung sebaran emisi menggunakan *Gaussian Plume* dan *Gaussian Puff Model* untuk kapal dengan mode operasi hotelling dan mengetahui pengaruh sebaran emisi gas buang terhadap beberapa wilayah di Shore Line Selat Madura.

Dari uraian diatas maka permasalahan utama yang akan dibahas adalah berapakah

emisi yang dikeluarkan oleh kapal yang melewati Selat Madura, bagaimanakah sebaran emisi gas buang di Shore Line Selat Madura, dan seberapa besar pengaruh pencemaran udara akibat transportasi laut di Shore Line Selat Madura

## TINJAUAN PUSTAKA

### *Automatic Identification System (AIS)*

Automatic Identification System (AIS) adalah suatu sistem pelacakan otomatis yang digunakan pada kapal atau *Vessel Traffic Services (VTS)* untuk mengidentifikasi dan menemukan kapal dengan bertukar data secara elektronik dengan kapal lain yang berdekatan dan stasiun *VTS*. Informasi yang didapat dari AIS berasal dari radar, dimana berdasarkan penelitian Altwicker et al, diketahui bahwa metode AIS menjadi metode utama untuk menghindari tabrakan di transportasi laut Informasi yang disediakan oleh peralatan AIS, seperti identifikasi posisi, jarak, dan kecepatan, dapat ditampilkan pada layar atau ECDIS. AIS dipasang dimaksudkan untuk membantu petugas pengawas kapal dan memungkinkan pihak berwenang maritim untuk melacak dan memantau gerakan kapal. AIS terintegrasi dengan *transceiver VHF* terstandarisasi dengan *positioning system* seperti a LORAN-C, GPS, atau juga dengan sensor navigasi elektronik lainnya, seperti *gyrocompass*.

Transponder AIS secara otomatis menyiarkan informasi, seperti posisi kapal, kecepatan kapal, dan status navigasi pada interval yang teratur melalui pemancar VHF dipasang ditransponder. Informasi yang berasal dari sensor navigasi kapal, biasanya *Global Navigation Satellite System (GNSS)* dan *gyrocompass*. Informasi lain, seperti nama kapal dan tanda panggilan VHF, telah diprogram saat pemasangan peralatan dan juga ditransmisikan secara teratur. Sinyal tadi diterima oleh transponder AIS yang dipasang pada kapal lain atau pada sistem darat, seperti sistem VTS (*Vessel Traffic Services*).

Informasi yang diterima dapat ditampilkan pada layar atau plotter grafik, yang menunjukkan posisi kapal lain dalam banyak cara yang sama sebagai layar radar.

Badan internasional seperti *International Maritime Organization* (IMO) dan *Safety of Life at Sea* (SOLAS) mewajibkan AIS untuk dipasang dikapal yang mempunyai *gross tonnage* (GT) 300 ton atau lebih dan juga untuk semua jenis kapal penumpang

**Geographic Information Ssystem (GIS)**

*Geographic Information System* (GIS) adalah sistem informasi khusus yang mengelola data yang memiliki informasi spasial (bereferensi keruangan). Atau dalam arti yang lebih sempit, adalah sistem komputer yang memiliki kemampuan untuk membangun, menyimpan, mengelola dan menampilkan informasi berefrensi geografis, misalnya data yang diidentifikasi menurut lokasinya, dalam sebuah database.

GIS dapat dimanfaatkan untuk mempermudah dalam mendapatkan data-data yang telah diolah dan tersimpan sebagai atribut suatu lokasi atau obyek. Data-data yang diolah dalam SIG pada dasarnya terdiri dari data spasial dan data atribut dalam bentuk digital.

Sistem ini merelasikan data spasial (lokasi geografis) dengan data non spasial, sehingga para penggunanya dapat membuat peta dan menganalisa informasinya dengan berbagai cara

Dalam perkembangannya, GIS digunakan sebagai alat untuk melakukan suatu pengeplotan sebaran emisi gas buang dari kapal Pingjian, et al., selain itu GIS juga dapat dijadikan sebagai acuan untuk menghasilkan suatu pemodelan geospasial mengenai lalu lintas kapal dan emisi gas buang Wang, et al.

**Perhitungan Estimasi Emisi**

Perhitungan emisi dihitung berdasarkan standar metodologi eropa (MEET), Estimasi emisi mempertimbangkan dua belas kelas kapal yang mempunyai gross tonnage diatas 100 GT Trozzi, et al, data lainnya antara lain faktor emisi, dan spesifikasi parameter kapal seperti konsumsi bahan bakar, tipe mesin, dll. Trozzi, et al, dalam penelitiannya menggunakan perhitungan konsumsi bahan bakar mesin dari setiap jenis kapal diperoleh dari analisis regresi linier konsumsi bahan bakar terhadap tonase kotor seperti terlihat pada **Tabel 1**.

**Tabel 1. Kelas Kapal dan Faktor Konsumsi Bahan Bakar**

Jenis Kapal	Konsumsi Bahan Bakar (ton/day) Dengan Menggunakan Fungsi <i>Gross Tonnage</i> (GT)
Solid Bulk	$C_{jk} = 20.1860 + 0.00049 \times GT$
Liquid Bulk /Tanker	$C_{jk} = 14.6850 + 0.00079 \times GT$
General Cargo	$C_{jk} = 9.8197 + 0.00143 \times GT$
Container	$C_{jk} = 8.0552 + 0.00235 \times GT$
Ro-Ro Cargo	$C_{jk} = 12.8340 + 0.00156 \times GT$
Passenger	$C_{jk} = 16.9040 + 0.00198 \times GT$
High Speed Ferry	$C_{jk} = 39.4830 + 0.00972 \times GT$
Inland Cargo	$C_{jk} = 9.8197 + 0.00143 \times GT$
Sail Ship	$C_{jk} = 0.4268 + 0.00100 \times GT$
Tugs	$C_{jk} = 5.6511 + 0.01048 \times GT$
Fishing	$C_{jk} = 1.9387 + 0.00448 \times GT$
Other Ships	$C_{jk} = 9.7126 + 0.00091 \times GT$

Selain itu, emisi gas buang dihitung dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti mesin dan jenis bahan bakar serta mode operasi dari kapal seperti terlihat pada **Tabel 2**.

$t_{jklm}$  : Navigasi dari kapal jenis  $k$  dengan tipe mesin  $l$  yang menggunakan bahan bakar  $j$  saat  $m$ .

**Tabel 2. Faktor Emisi Pada Kapal (kg/ton)**

Mode	Engine / Bahan Bakar	NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	VOC	PM	SO <sub>x</sub>
Cruising	SSD/BFO	87	7.4	3200	2.4	1.2	60
	MSD/BFO	57	7.4	3200	2.4	1.2	60
	HSD/MDO	70	9	3200	3	1.5	20
Manoeuvering	SSD/BFO	78	28	3200	3.6	1.2	60
	MSD/BFO	51	28	3200	3.6	1.2	60
	HSD/MDO	63	34	3200	4.5	1.5	20
Hotelling	SSD/BFO	35	99	3200	23.1	1.2	60
	MSD/BFO	23	99	3200	23.1	1.2	60
	HSD/MDO	28	120	3200	28.9	1.5	20

SSD = Slow Speed Diesel Engine  
 PM = Particulate Matter  
 MSD = Medium Speed Diesel Engine  
 HSD = High Speed Diesel Engine  
 BFO = Bunker Fuel Oil  
 VOC = Volatile Organic Compound  
 MDO = Marine Diesel Oil

Perhitungan total emisi suatu polutan dari mesin utama ditunjukkan dalam persamaan berikut ini Trozzi, et al, UNEC/EMEC :

$$E_i = \sum_{jklm} E_{ijklm} \quad (1)$$

$$E_{ijklm} = S_{jkm}(GT) t_{jklm} F_{ijklm} \quad (2)$$

Dimana:

- $i$  : Polutan
- $j$  : Jenis bahan bakar
- $k$  : Pengelompokan kapal
- $m$  : Mode operasi
- $E_i$  : Total polutan emisi  $i$
- $E_{ijklm}$  : Total emisi polutan  $i$  saat menggunakan bahan bakar  $j$  dengan tipe kapal  $k$  dan jenis mesin  $l$  pada  $m$
- $F_{ijklm}$  : Rata-rata emisi faktor polutan  $i$  dari bahan bakar  $j$  dengan tipe kapal  $k$  dan mesin  $l$  dalam  $m$
- $S_{jkm}(GT)$  : Konsumsi harian bahan bakar  $j$  oleh jenis kapal  $k$  saat  $m$  dengan menggunakan fungsi GT

Sedangkan untuk mengestimasi konsumsi bahan bakar dari mesin bantu didapatkan dari persamaan dasar seperti yang telah dilakukan Ishida.

$$f = 0,2 \times O \times L \quad (3)$$

dimana:

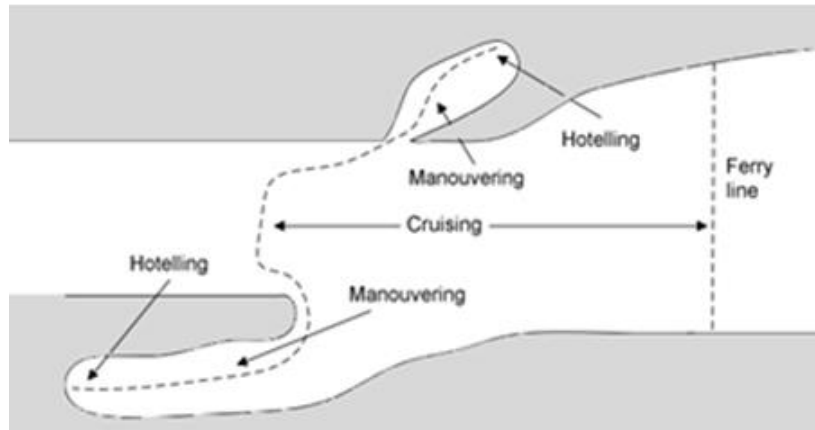
- $f$  : konsumsi bahan bakar (kg/kapal/jam)
- $O$  : rated output (PS/engine)
- $L$  : faktor beban (*cruising* :30%, *hotelling* (tanker) : 60%, *hotelling* (other ship) : 40% dan *maneuvering* 50%)

**Definisi dari Manouvering, Hotelling, dan Cruising**

Dalam rangka mengukur emisi yang dihasilkan dari kegiatan kapal, pertama-tama diperlukan untuk menentukan modus operasional pada kapal Pitana, et al. [5]. Ketika memperkirakan konsumsi bahan bakar dan emisi Trozzi, et al. [6]

memfokuskan pada tiga modus operasional, yaitu *hotelling*, *manouvering*, dan *cruising*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.

sistem koordinat dimana angin bergerak sejajar dengan sumbu-x Pingjian, et al., Bracken, et al.



Gambar 1. Karakteristik Pergerakan Kapal

Manuver didefinisikan sebagai kapal pada waktu mendekat, docking, berangkat dari pelabuhan atau bisa juga didefinisikan dari perubahan kecepatan kapal secara signifikan dalam waktu yang relative singkat Pitana,et al. Hotelling mengacu pada operasi yang terjadi saat kapal yang bersandar di dermaga atau pada saat kecepatan kapal nol, sementara kondisi *cruising* adalah kondisi kapal berjelajah pada kecepatan konstan Pitana, et al. Setelah modus operasional diketahui, konsumsi bahan bakar dihitung dengan mempertimbangkan fraksi konsumsi bahan bakar maksimum dari masing-masing mode operasi kapal. Hal ini perlu dipertimbangkan konsumsi bahan bakar sebenarnya selama fase operasi kapal yang berbeda yang dilakukan dalam area pelabuhan. Manuver, hotelling, dan jelajah diasumsikan memiliki fraksi default konsumsi bahan bakar, maksimum 0,4 0,2, dan 0,8 masing-masing Trozzi, et al, UNEC/EMEC.

**Gaussian Plume Model**

Dalam Gaussian plume, distribusi spasial dari konsentrasi emisi sepanjang sumbu melintang dalam bentuk gaussian. Kondisi *steady state* berikut menggambarkan model 3-dimensi konsentrasi emisi pada setiap titik dalam

$$C(x, y, z, He) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u_s} \times e^{\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right)} \times e^{\left(\frac{-(z-He)^2}{2\sigma_z^2}\right)} \quad (4)$$

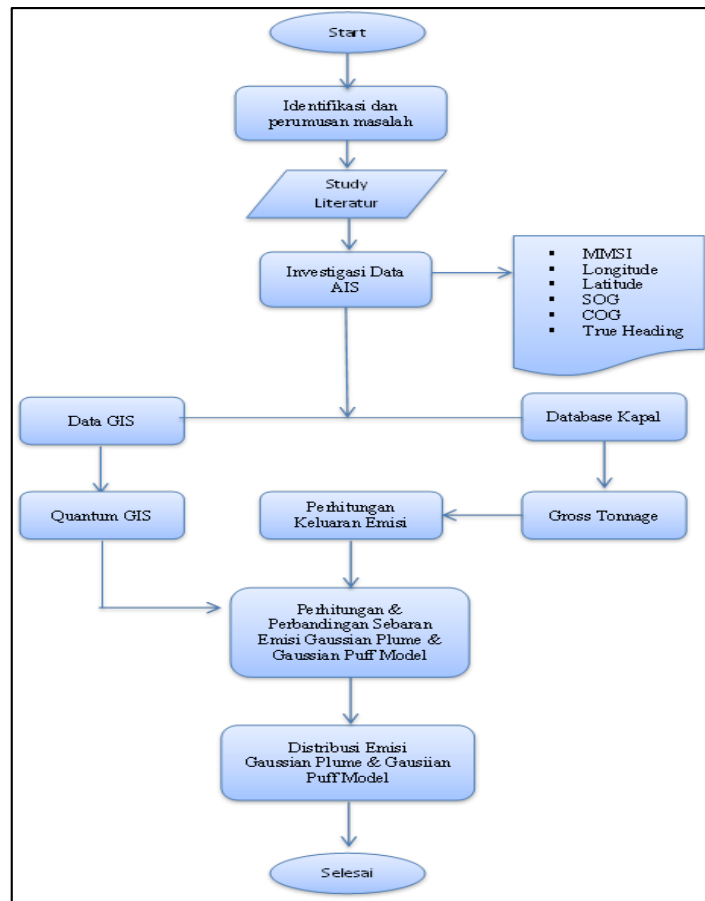
- C* : konsentrasi emisi (g/m<sup>3</sup>)
- x,y,z* : jarak dari asal dalam koordinat *x, y, z* (m)
- He* : tinggi exhaust pada kapal
- Q* : tingkat emisi gas buang (g/s)
- σ<sub>y</sub>, σ<sub>z</sub>* : horisontal dan vertical standar deviasi plume (m)
- u<sub>s</sub>* : kecepatan angin pada posisi tertinggi exhaust kapal

**Gaussian Puff Model**

Merupakan suatu model yang digunakan untuk menghitung konsentrasi polusi udara. Model ini mengansumsikan bahwa pancaran emisi yang dikeluarkan secara kontinyu maupun sesaat dapat disimulasikan berdasarkan atas waktu dan arah angin (Kerry et.al). Algoritma untuk Gaussian puff model dapat dituliskan seperti pada persamaan (5) sebagai berikut:

**METODOLOGI**

Untuk penyelesaian penelitian terkait dengan data dan pentahapan pekerjaan dapat dilihat lebih rinci pada diagram alur pada Gambar 2 berikut:



Gambar 2. Metodologi atau Diagram Alir Penelitian

### Lokasi

Pengerjaan penelitian fokus ke Selat Madura karena Selat Madura adalah daerah terbesar kedua dalam hal transportasi laut di Indonesia. Selain transportasi kapal domestic, di Selat Madura juga terdapat kapal berbendera asing yang transit. Gambar 3. menunjukkan daerah Selat Madura diambil dari Google Earth.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Analisa Data AIS

Dalam menginvestigasi data AIS, penulis menggunakan bantuan perangkat lunak MySql ver 5.0. Data-data AIS selama satu tahun dimasukkan ke dalam server data dari MySql, sehingga bisa memudahkan penulis untuk memanggil data dengan kriteria tertentu.



Gambar 3. Lokasi Penelitian



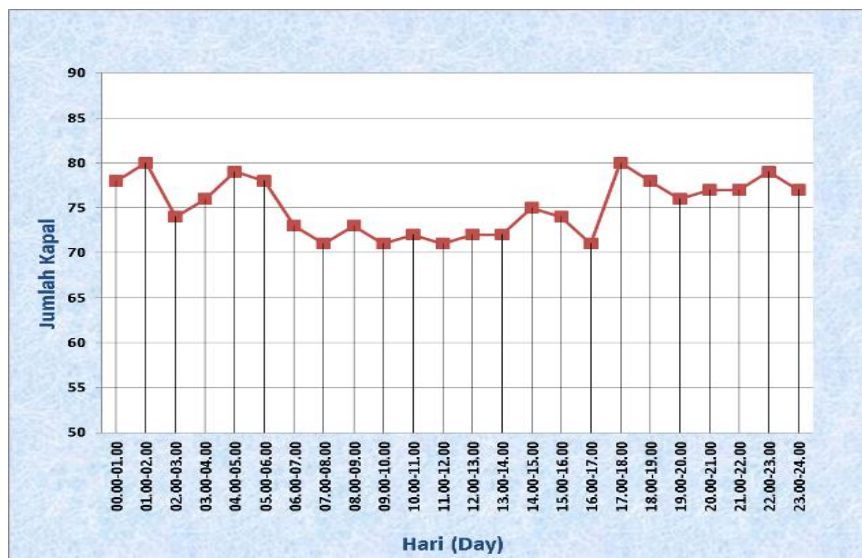
Dalam penelitian ini penulis membatasi masalah dari data AIS Juli 2010 hingga Maret 2011, diambil data trafik densitas kapal yang paling banyak pada bulan tertentu, hari tertentu dan jam tertentu. Berdasarkan hasil investigasi AIS data di MySql didapatkan bahwa trafik dengan densitas tertinggi adalah bulan Oktober dengan sebesar 104 kapal per harinya. Sedangkan trafik dengan densitas terendah terjadi pada bulan Agustus sebanyak 80 kapal tiap harinya.

Berdasarkan pada bulan terpadat tersebut maka kita dapat mengetahui hari terpadat pada bulan tersebut dimana.

Berdasarkan analisa yang telah dilakukan didapatkan bahwa tanggal 22 Oktober 2010 merupakan hari terpadat dimana terdapat 120 kapal di wilayah Selat Madura, sehingga dengan demikian maka kita dapat dengan mudah untuk mengetahui pada jam berapakah terjadi trafik densitas terpadat pada bulan terpadat dan hari terpadat. Dari Gambar 4 diketahui bahwa jam 17.00 -18.00 dimana densitas trafik pada jam tersebut adalah 80 kapal.

### Estimasi Emisi Gas Buang

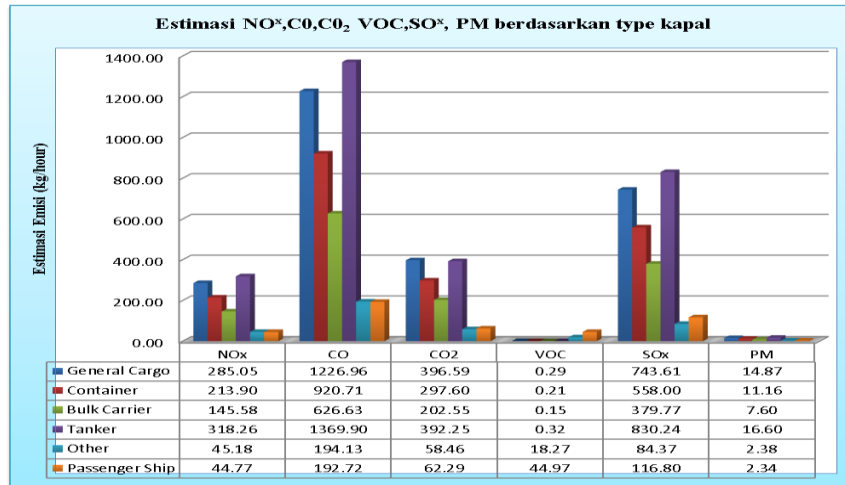
Berdasarkan metodologi yang dikembangkan oleh Trozzy et al, maka didapat hasil seperti terlihat pada Tabel 3 dan Gambar 5.



Gambar 4. Jumlah Kapal Pada Tanggal 22 Oktober 2010

Tabel 3. Estimasi NO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, VOC, SO<sub>x</sub> dan PM (kg/hour) 22 Oktober, 2010

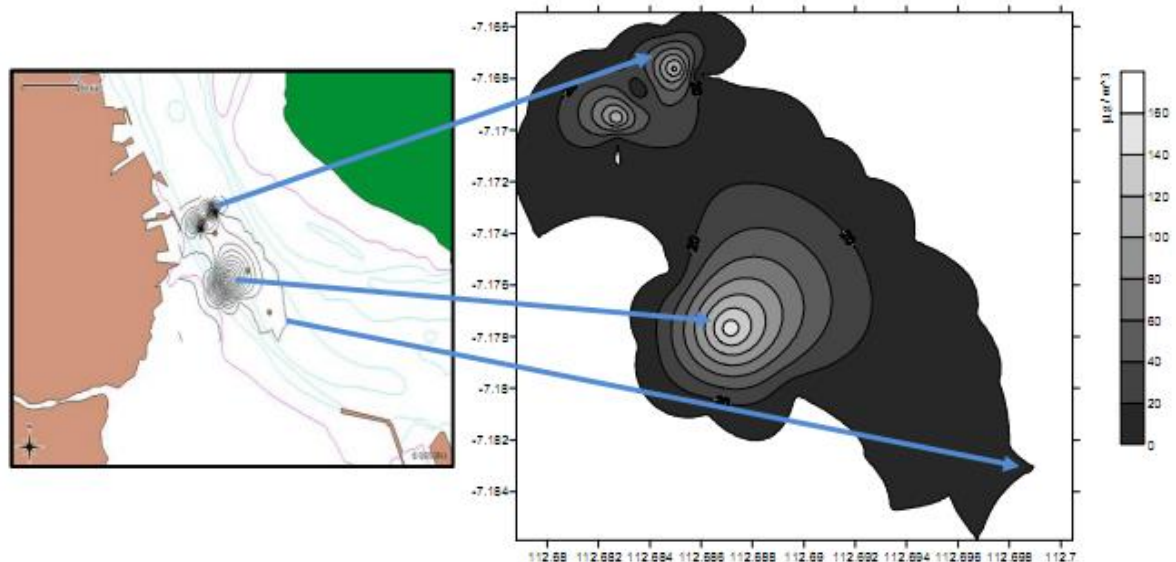
Type of Ship	NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	VOC	SO <sub>x</sub>	PM
	Kg/hour					
General Cargo	285.05	1226.96	396.59	0.29	743.61	14.87
Container	213.90	920.71	297.60	0.21	558.00	11.16
Bulk Carrier	145.58	626.63	202.55	0.15	379.77	7.60
Chemical/Oil Product Tanker	64.21	276.39	89.34	0.06	167.51	3.35
Oil Product Tanker	56.57	243.49	78.70	0.06	147.57	2.95
Chemical Tanker	89.57	385.52	124.61	0.09	233.65	4.67
Landing Craft	18.41	79.23	25.61	0.02	48.02	0.96
LPG Tanker	107.91	464.49	99.59	0.11	281.51	5.63
Offshore Supply Tug-Ship	16.95	72.64	19.37	17.49	12.11	0.91
Passenger Ship	44.77	192.72	62.29	44.97	116.80	2.34
Buoy/Lighthouse vessel	9.09	39.15	12.65	0.01	23.72	0.47
Tug	0.73	3.11	0.83	0.75	0.52	0.04
Jumlah	1052.74	4531.04	1409.75	64.21	2712.80	54.95



Gambar 5. Estimasi NO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, VOC, SO<sub>x</sub> dan PM (kg/hour) pada 22 Oktober, 2010

Tabel 4 Konsentrasi emisi (µg/m<sup>3</sup>) dan wilayah terimbas di Selat Madura

No	Wilayah	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	PM
1	Perak Utara	0.126	0.31	0.855	0.53	0.0066
2	Perak Barat	0.126	0.31	0.855	0.53	0.0066
3	Kreimbangan	0.126	0.31	0.855	0.53	0.0066
4	Monokreimbangan	0.252	0.132	0.342	1.06	0.0132
5	Kalianak	0.63	1.55	1.026	2.65	0.033
6	Benowo	0.63	2.48	1.368	3.18	0.0396
7	Kebomas	0.378	0.93	0.513	1.59	0.0198
8	Gresik	0.378	0.62	0.513	1.59	0.0198
9	Pelabuhan Petrokimia	0.378	0.93	0.513	1.59	0.0198
10	Kramatinggil	0.126	0.31	0.855	0.53	0.0066
11	Sidokumpul	0.126	0.31	0.855	0.53	0.0066
12	Sidorukun	0.126	0.31	0.855	0.53	0.0066
13	Kemuteran	0.252	0.62	0.342	1.06	0.0132
14	Kebungson	0.252	0.31	0.342	1.06	0.0132
15	Lumpur	0.378	0.93	0.513	1.59	0.0198
16	Bedilan	0.252	0.31	0.342	1.06	0.00261
17	Kroman	0.378	0.93	0.513	1.59	0.0198
18	Sukodono	0.378	0.93	0.513	1.59	0.0198
19	Tlogo Pojok	0.378	0.93	0.513	1.59	0.0198
20	Pulo Pancikan	0.126	0.31	0.855	0.53	0.0066
21	Kamal	1.008	2.48	1.368	4.77	0.0594
22	Banyu Ujuh	1.008	2.48	1.368	4.77	0.0594
23	Gili Barat	0.756	1.86	1.197	3.18	0.0528



Gambar 6. Hasil Distribusi Emisi NO<sub>x</sub> Untuk Kapal MT Lucas.

### Estimasi Distribusi Emisi

Setelah mendapatkan jumlah emisi dari masing-masing kapal dengan perhitungan metodologi Trozzi, et al, lalu langkah berikutnya adalah melakukan perhitungan dengan menggunakan algoritma Gaussian Plume Model dan hasilnya terlihat pada Tabel 4. Gambar 6 menunjukkan contoh hasil distribusi emisi MT. Lucas.

### Pembahasan

Berdasarkan **Tabel 3** diketahui bahwa didapatkan jumlah emisi NO<sub>x</sub> sebesar 1052.742 kg/jam, SO<sub>x</sub> sebesar 2712.798 kg/jam, CO<sub>2</sub> sebesar 1409.747 kg/jam, CO sebesar 4531.036 kg/jam dan PM sebesar 54.95 kg/jam. Berdasarkan **Tabel 4** juga dapat kita ketahui bahwa sebagian besar NO<sub>x</sub>, PM, SO<sub>x</sub> kemudian CO dan emisi CO<sub>2</sub> paling besar dikeluarkan oleh kapal tanker. Hal ini disebabkan karena memang yang banyak melewati Selat Madura pada jam tersebut adalah didominasi oleh kapal tanker. Sehingga hal ini menjadikan kapal tanker mengeluarkan jumlah emisi yang lebih besar dibandingkan dengan tipe kapal yang lain.

Berdasarkan **Tabel 5** dapat kita lihat bahwa nilai yang tertera merupakan nilai konsentrasi yang dapat ditenggang keberadaannya di udara wilayah yurisdiksi

Indonesia selama 1 jam kecuali untuk PM selama 24 jam. Dimana nilai (Baku Mutu Udara Ambien Nasional) BMUAN untuk NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO dan PM masing masing adalah 400 µg/m<sup>3</sup>, 900 µg/m<sup>3</sup>, 30.000 µg/m<sup>3</sup> dan 150 µg/m<sup>3</sup>, sedangkan berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dimana pada saat  $\Delta t = 1$  atau pada saat  $t = 59$  diketahui bahwa nilai konsentrasi emisi tertinggi untuk NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO dan PM masing- masing adalah 1.008 µg/m<sup>3</sup>, 2.48 µg/m<sup>3</sup>, 4.77 µg/m<sup>3</sup> dan 1.4256 µg/m<sup>3</sup>.

Nilai ini menunjukkan bahwa konsentrasi emisi yang dihasilkan melalui penelitian sangat kecil sekali apabila dibandingkan dengan nilai pada BMUAN, hal ini berarti bahwa daerah-daerah disekitar Selat Madura terutama daerah-daerah yang berada di wilayah Gresik, Madura dan Surabaya (Perak Utara, Perak Barat, Krembangan, Monokrembangan, Kalianak, Benowo, Kebomas, Gresik, Pelabuhan Petrokimia, Kramatinggil, Sidokumpul, Sidorukun, Kemuteran, Kebungson, Lumpur, Bedilan, Kroman, Sukodono, Tlogo Pojok, Pulo Pancikan, Kamal, Banyu Ujuh dan Gili Barat) bisa dikatakan memiliki kualitas udara yang baik.

**Tabel 5 Perbandingan Polutan Hasil Penelitian Dengan BMUAN (Pada Saat  $\Delta t = 1$  Menit)**

Polutan	Hasil Penelitian ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	BMUAN ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Keterangan
NO <sub>x</sub>	1.008	400	Hasil penelitian < BMUAN
SO <sub>x</sub>	2.48	900	Hasil penelitian < BMUAN
CO	4.77	30	Hasil penelitian < BMUAN
PM	1.4256	150	Hasil penelitian < BMUAN

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Penelitian untuk estimasi emisi dan sebaran konsentrasi emisi dari transportasi laut sangat memungkinkan dengan menggunakan data dari *Automatic Identification System* (AIS) dan *Geographic Information System* (GIS). Akan tetapi AIS sendiri memiliki kelemahan yaitu kapal yang terdeteksi oleh AIS hanya kapal yang mempunyai GT diatas 300 sehingga kapal dengan GT dibawah 300 dan kapal yang tidak dilengkapi dengan AIS tidak dapat dianalisa.
2. Jumlah polutan emisi pada trafik densitas terpadat adalah:
  - a) (NO<sub>x</sub>) = 1052.742 kg/jam
  - b) (SO<sub>x</sub>) = 2712.798 kg/jam
  - c) (CO<sub>2</sub>) = 4531.036 kg/jam
  - d) (CO) = 1409.747 kg/jam
  - e) (PM) = 54.950 kg/jam
3. Jumlah konsentrasi tertinggi polutan emisi pada trafik densitas terpadat berada di daerah sekitar pelabuhan Semen Gresik dengan konsentrasi emisi yaitu:
  - a) (NO<sub>x</sub>) = 1.008  $\mu\text{g}/\text{m}^3$
  - b) (SO<sub>x</sub>) = 2.48  $\mu\text{g}/\text{m}^3$
  - c) (CO) = 1.368  $\mu\text{g}/\text{m}^3$
  - d) (CO<sub>2</sub>) = 4.77  $\mu\text{g}/\text{m}^3$
  - e) (PM) = 0.0594  $\mu\text{g}/\text{m}^3$
4. Sebaran emisi gas buang (NO<sub>x</sub>), (SO<sub>x</sub>) (CO) dan (PM) berdasarkan penelitian

ini tidak membahayakan lingkungan dan mahluk hidup di sekitar Selat Madura karena konsentrasi emisi di beberapa daerah di Shore Line Selat Madura memiliki jumlah yang lebih kecil dari Baku Mutu Udara Ambien Nasional (BMUAN).

### Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk pengembangan dan perbandingan dari penelitian ini diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Sebaiknya dilakukan suatu kajian serupa secara *real time* sehingga nantinya bisa digunakan sebagai acuan dalam menentukan kualitas udara serta *monitoring* kadar emisi akibat kegiatan transportasi laut.
2. Sebaiknya variasi pemodelan bukan hanya dilakukan pada *time release* dari emisinya saja akan tetapi juga dilakukan variasi dari *wind direction* juga, sehingga diharapkan kita dapat mengetahui bagaimanakah pengaruh dari variasi akibat perubahan arah angin terhadap konsentrasi emisi yang dihasilkan.
3. Sebaiknya dilakukan verifikasi terhadap hasil perhitungan emisi untuk mengetahui apakah hasil dari perhitungan yang sudah dilakukan tersebut valid atau tidak.
4. Sebaiknya dilakukan kajian serupa untuk menganalisa bagaimanakah pengaruh *ships condition (age)* terhadap emisi gas buang yang dihasilkan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Altwicker, E.R. (2000): *Air Pollution* , Lewis Publisher.
- Bracken, C., Carnemolla, A., Ritter, C., Zielke, E. (2007): *An Analysis of Exhaust Emission from a Large Ship Docked in Humbolt Bay*, ENGR 416-Transport Phenomena.
- Ishida,T. (2003): *Emission of Estimate Methods of Air Pollution and Green House Gases from Ships*, J. Jap. Inst. Mar. Eng., 37(1).
- Pitana, T., Kobayashi, E., Wakabayashi, N. (2010): *Estimation Of Exhaust Emission Of Marine Traffic Using Automatic Identification System Data (Case Study : Madura Strait Area, Indonesia)*, OCEANS 2010 LEEE Sydney 24-27 May 2010, CFP100CF-CDR 978-1-4244-5222 Library Of Congress : 2009934926.
- Pingjian, L., Kobayashi, E., Ohsawa, T., Sakata, M. (2006): *Case Study on Health Assessments Related to a Modal Shift in Transportation*, Journal of Marine Science and Technology-JASNACE,
- Trozzi,C., Vaccaro,R.(1998): *Methodologies For Estimating Air Pollutant Emission From Ships*, Techne Report MEET RF98b..
- UNECE/EMEP, (2002): Group 8, *Other Mobile Sources and Machinery, in EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook-third ed., Update (Technical Report no.30)*
- Wang, C., Callahan, J., Corbett, J.J.(2007): *Geospatial Modeling of Ship Traffic and Air Emissions, Proceeding of ESRI International Conference.*