

# PENGHITUNGAN KADAR EMISI GAS BUANG DI PELABUHAN BELAWAN

## EMISSION CALCULATION AT BELAWAN PORT

Tri Kusumaning Utami<sup>1)</sup> dan Feronika Sekar Puriningsih<sup>2)</sup>

Badan Litbang Perhubungan  
Jl. Medan Merdeka Timur No. 5, Jakarta Pusat 10110

<sup>1)</sup>[email: tri.kusumaning@yahoo.com](mailto:tri.kusumaning@yahoo.com)

<sup>2)</sup>[email: ferospuriningsekar@yahoo.com](mailto:ferospuriningsekar@yahoo.com)

Diterima: 6 Maret 2014, Revisi 1: 26 Maret 2014, Revisi 2: 11 April 2014, Disetujui: 22 April 2014

### ABSTRAK

Penelitian dilakukan di Pelabuhan Belawan. Analisis dilaksanakan dengan menggunakan formula penentuan konsumsi bahan bakar spesifik, penentuan konsumsi bahan bakar, metode estimasi emisi gas buang. Dari perhitungan emisi gas buang terhadap lima kapal yang merupakan sampel dari penelitian, rata-rata jumlah polutan terbesar yang dikeluarkan oleh kapal adalah gas CO<sub>2</sub>, Kapal MV. Amarta Jaya I mengeluarkan emisi gas buang CO<sub>2</sub> sebesar 0.739 ton/jam, KM. Simfoni Sejati sebesar 0.566 ton/jam, MT. Reola Ribka sebesar 0.488 ton/jam, MV. Tanto Bersatu sebesar 0.993 ton/jam, KM. Sinar Banten sebesar 0.993 ton/jam. Berdasarkan hasil analisis dapat terlihat kondisi umum dimana terjadi pengeluaran gas buang dalam jumlah besar pada saat kapal berada di dermaga. Penggunaan daya mesin bantu maupun generator pada saat kapal di dermaga dialokasikan untuk operasional alat bongkar muat di atas kapal maupun untuk menunjang akomodasi di dalam kapal, adanya Not Operational Time (NOT) yang dapat diasumsikan sebagai waktu yang tidak produktif, sementara pada kondisi aktual pada waktu yang tidak produktif tersebut mesin bantu tetap dioperasikan sehingga efek negatif berupa pengeluaran emisi gas buang beserta unsur polutannya tetap berlangsung.

**Kata kunci:** polusi, emisi gas buang, metode penentuan konsumsi bahan bakar

### ABSTRACT

*The study was conducted at the Port of Belawan . Analysis carried out by using the formula for the specific fuel consumption , determination of fuel consumption , exhaust emissions estimation methods . From the calculation of exhaust emissions . Towards the five ships which are samples of the study , the average amount of pollutants released by the biggest ship is CO<sub>2</sub> gas , MV Jaya Amarta I issued CO<sub>2</sub> emissions by 0739 tons / hour , KM True Symphony of 0566 tons / hour , MT Rebekah Reola of 0488 tons / hour , MV Tanto Unite at 0993 tons / hour , KM Banten raya of 0.993 tons / hour . Based on the analysis results can be seen common condition where there is spending large amounts of flue gas at the time the ship was in dock . The use of auxiliary engine and generator power at the time allocated for the ship at the dock unloading operations equipment on board as well as to support the accommodation on board , the Not Operational Time ( NOT ) which can be assumed to be non-productive time , while the actual conditions at the time unproductive fixed auxiliary engine operated so that the negative effects in the form of spending and its exhaust emissions pollutants element persists.*

**Keywords:** *pollution , emissions , fuel consumption determination method*

### PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah kunjungan kapal ke pelabuhan akan meningkatkan pula tingkat emisi gas buang oleh mesin kapal. Emisi gas buang dari mesin kapal

telah di ketahui dapat menyebabkan masalah kesehatan dan lingkungan. Nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>), karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), dan sulfur oksida (SO<sub>x</sub>) adalah beberapa macam zat

polutan yang terdapat pada emisi gas buang dari kapal yang sangat berpengaruh terhadap kualitas air kolam pelabuhan. Dampaknya akan mengganggu bagi kesehatan manusia karena substansi pencemar yang terdapat di udara dapat masuk ke dalam tubuh melalui sistem pernafasan.

Penelitian ini bermaksud untuk menghitung estimasi kadar emisi gas buang oleh kapal-kapal yang singgah di Pelabuhan Belawan. Sedangkan tujuannya memberikan masukan kepada pihak pelabuhan untuk mengantisipasi keluarnya kadar emisi gas buang oleh kapal-kapal yang singgah di Pelabuhan Belawan agar tidak terjadi pencemaran di atas ambang batas.

## TINJAUAN PUSTAKA

Transportasi laut, terutama yang menggunakan kapal motor sebagai penggerak, merupakan salah satu sumber pencemar udara. Kapal-kapal motor mulai dari ukuran yang kecil sampai yang besar umumnya menggunakan minyak diesel/solar sebagai bahan bakar motor. Minyak diesel/solar yang dibakar di mesin kapal mengeluarkan sejumlah gas seperti NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>. Semua gas tersebut menjadi penyebab pemanasan global yang memicu perubahan iklim.

### A. Penelitian sebelumnya

Beberapa penelitian yang berkaitan dengan estimasi jumlah emisi akibat transportasi laut telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Ishida (2003) memberikan metode untuk mengestimasi polusi udara dari kapal. Penelitian serupa juga dilakukan oleh Jalkanen dan Kesgin, mereka mengestimasi emisi dari kapal dengan menggunakan methodolgi yang dikembangkan oleh Trozzi (2006). Metode pendekatan yang digunakan dapat dipakai untuk mengestimasi jumlah emisi. Penelitian di atas tidak menggunakan data AIS tetapi menggunakan data GIS dalam memetakan sebaran emisinya. Dengan pemanfaatan teknologi GIS, memungkinkan untuk memetakan posisi kapal dalam *time frame* yang diinginkan. Pitana *et al* menggunakan data AIS dan GIS memungkinkan untuk mengestimasi jumlah emisi yang dikeluarkan oleh kapal di Selat Madura. Methodologi yang dikembangkan oleh Trozzi juga digunakan untuk mencari jumlah emisi. Akan tetapi penelitian tersebut tidak memodelkan sebaran dari emisi yang dikeluarkan oleh kapal. Data-data dari AIS *receiver* yang digunakan antara lain adalah data kecepatan kapal, koordinat (*Longitude dan Latitude*), IMO number dan MMSI dari kapal tersebut.

Lalu Bracken *et al* (2007) dalam laporannya menganalisa sebaran emisi yang dikeluarkan oleh kapal-kapal yang bersandar di *Humboldt bay* menggunakan *Gaussian Plume Model* sebagai permodelan sebaran dan perhitungan konsentrasi emisinya.

### B. Definisi dan Istilah

Beberapa definisi dan istilah terkait dengan kajian ini adalah sebagai berikut :

1. **Kapal** menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 51 Tahun 2002 Tentang perkapalan adalah kendaraan air dengan bentuk dan jenis apapun, yang digerakkan dengan tenaga mekanik, tenaga angin, atau ditunda, termasuk kendaraan yang berdaya dukung dinamis, kendaraan di bawah permukaan air, serta alat apung dan bangunan terapung yang tidak berpindah-pindah.
2. **Ambang batas** emisi gas buang kendaraan bermotor tipe baru menurut Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 04 Tahun 2009 Tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Tipe Baru adalah batas maksimum zat atau bahan pencemar yang boleh dikeluarkan langsung dari pipa gas buang kendaraan bermotor tipe baru.  
  
Kendaraan bermotor tipe baru adalah kendaraan bermotor yang menggunakan mesin dan/atau transmisi tipe baru yang siap diproduksi dan akan dipasarkan, atau kendaraan bermotor yang sudah beroperasi di jalan tetapi akan diproduksi dengan perubahan desain mesin dan/atau sistem transmisinya, atau kendaraan bermotor yang diimpor dalam keadaan utuh (*completely built-up*) tetapi belum beroperasi di jalan wilayah Republik Indonesia.
3. **Emisi gas buang** merupakan sisa hasil pembakaran mesin kendaraan baik itu kendaraan beroda, perahu/kapal dan pesawat terbang. Biasanya emisi gas buang ini terjadi karena pembakaran yang tidak sempurna dari sistem pembuangan dan pembakaran mesin serta lepasnya partikel-partikel karena kurang tercukupinya oksigen dalam proses pembakaran tersebut.
4. **Sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>)** Pencemaran oleh sulfur oksida terutama disebabkan oleh dua komponen sulfur bentuk gas yang tidak berwarna, yaitu sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>) dan Sulfur trioksida (SO<sub>3</sub>), yang keduanya disebut sulfur oksida (SO<sub>x</sub>).

Pengaruh utama polutan SO<sub>x</sub> terhadap manusia adalah iritasi sistem pernafasan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa iritasi tenggorokan terjadi pada kadar SO<sub>2</sub> sebesar 5 ppm atau lebih, bahkan pada beberapa individu yang sensitif iritasi terjadi pada kadar 1-2 ppm. SO<sub>2</sub> dianggap pencemar yang berbahaya bagi kesehatan terutama terhadap orang tua dan penderita yang mengalami penyakit khronis pada sistem pernafasan kardiovaskular.

5. **Karbon monoksida (CO)** Karbon monoksida merupakan senyawa yang tidak berbau, tidak berasa dan pada suhu udara normal berbentuk gas yang tidak berwarna. Tidak seperti senyawa lain, CO mempunyai potensi bersifat racun yang berbahaya karena mampu membentuk ikatan yang kuat dengan pigmen darah yaitu haemoglobin.
6. **Nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>)** NO<sub>2</sub> bersifat racun terutama terhadap paru. Kadar NO<sub>2</sub> yang lebih tinggi dari 100 ppm dapat mematikan sebagian besar binatang percobaan dan 90% dari kematian tersebut disebabkan oleh gejala pembengkakan paru (*edema pulmonari*). Kadar NO<sub>2</sub> sebesar 800 ppm akan mengakibatkan 100% kematian pada binatang-binatang yang diuji dalam waktu 29 menit atau kurang. Percobaan dengan pemakaian NO<sub>2</sub> dengan kadar 5 ppm selama 10 menit terhadap manusia mengakibatkan kesulitan dalam bernafas.
7. **Ozon (O<sub>3</sub>)** merupakan salah satu zat pengoksidasi yang sangat kuat setelah fluor, oksigen dan oksigen *fluorida* (OF<sub>2</sub>). Meskipun di alam terdapat dalam jumlah kecil tetapi lapisan ozon sangat berguna untuk melindungi bumi dari radiasi *ultraviolet* (UV-B). Ozon terbentuk di udara pada ketinggian 30km dimana radiasi UV matahari dengan panjang gelombang 242 nm secara perlahan memecah molekul oksigen (O<sub>2</sub>) menjadi atom oksigen, tergantung dari jumlah molekul O<sub>2</sub> atom-atom oksigen secara cepat membentuk ozon. Ozon menyerap radiasi sinar matahari dengan kuat di daerah panjang gelombang 240-320 nm.
8. **Hidro karbon (HC)** Hidrokarbon di udara akan bereaksi dengan bahan-bahan lain dan akan membentuk ikatan baru yang disebut *polycyclic aromatic hidrocarbon* (PAH) yang banyak dijumpai di daerah industri dan padat lalu lintas. Bila PAH ini masuk dalam paru-paru akan menimbulkan luka dan merangsang terbentuknya sel-sel kanker.

9. **Khlorin (Cl<sub>2</sub>)** Gas Khlorin (Cl<sub>2</sub>) adalah gas berwarna hijau dengan bau sangat menyengat. Berat jenis gas khlorin 2,47 kali berat udara dan 20 kali berat gas *hidrogen khlorida* yang toksik. Gas khlorin sangat terkenal sebagai gas beracun yang digunakan pada perang dunia ke-1. Selain bau yang menyengat gas *khlorin* dapat menyebabkan iritasi pada mata saluran pernafasan. Apabila gas *khlorin* masuk dalam jaringan paru-paru dan bereaksi dengan ion hidrogen akan dapat membentuk asam khlorida yang bersifat sangat *korosif* dan menyebabkan iritasi dan peradangan. Gas *khlorin* juga dapat mengalami proses oksidasi dan membebaskan oksigen.

10. **Partikulat Debu (TSP)** pada umumnya ukuran partikulat debu sekitar 5 mikron merupakan partikulat udara yang dapat langsung masuk ke dalam paru-paru dan mengendap di alveoli. Keadaan ini bukan berarti bahwa ukuran partikulat yang lebih besar dari 5 mikron tidak berbahaya, karena partikulat yang lebih besar dapat mengganggu saluran pernafasan bagian atas dan menyebabkan iritasi.

### C. Regulasi Terkait Dengan Emisi Gas Buang

1. UU No. 17 Tahun 2008

UU No. 17 Tahun 2008, Pasal 227 Setiap Awak Kapal wajib mencegah dan menanggulangi terjadinya pencemaran lingkungan yang bersumber dari kapal. Pasal 229 (3) Setiap kapal dilarang mengeluarkan gas buang melebihi ambang batas sesuai dengan ketentuan peraturan

2. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 51 Tahun 2002 Tentang Perkapalan pasal 111 (3)

Setiap kapal dilarang mengeluarkan emisi gas buang melebihi ambang batas yang ditetapkan. (4) Ketentuan lebih lanjut mengenai kriteria pembuangan, cara pembuangan, lokasi pembuangan, sarana penampungan di kapal dan fasilitas penampungan limbah dipelabuhan, serta ambang batas emisi gas buang sebagaimana dimaksud dalam ayat (1), ayat (2) dan ayat (3) diatur dengan keputusan Menteri.

3. Regulasi oleh IMO

International Maritime Organization (IMO) mengatur standar minimum emisi NO<sub>x</sub> dan SO<sub>x</sub> dalam ANNEX VI regulasi 13 dan 14.

## METODOLOGI PENELITIAN

### A. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Pelabuhan Belawan, pelabuhan yang terletak di kota Medan, Sumatra Utara, Indonesia dan merupakan pelabuhan terpenting di Pulau Sumatera. Pelabuhan Belawan adalah sebuah pelabuhan dengan tingkat kelas utama.

### B. Metode Pengumpulan Data

Kebutuhan dalam menganalisis dan mengevaluasi atas permasalahan pokok dalam studi ini, perlu pengumpulan data meliputi:

1. Pengumpulan data primer meliputi data mengenai karakteristik mesin serta kaitannya dengan penggunaan bahan bakar serta emisi gas buang yang dihasilkan;
2. Pengumpulan data sekunder meliputi data-data dari sumber terkait.

Dalam pengumpulan data untuk memperoleh informasi dilakukan wawancara dengan menggunakan kuesioner terbuka yang disusun sesuai dengan variabel yang telah diidentifikasi.

### C. Teknik Analisis Data

Pengolahan data dilaksanakan dengan cara melakukan analisis mengenai proses pembakaran pada mesin untuk mengetahui jumlah konsumsi bahan bakar pada trayek tertentu sehingga dapat diketahui volume dan kadar emisi gas buang. Analisis dilaksanakan dengan menggunakan formula sebagai berikut (Phoels 1982):

1. Penentuan Konsumsi Bahan Bakar

Konsumsi bahan bakar dihitung berdasarkan pemakaian per trayek dengan memperhatikan beberapa kondisi antara lain jarak pelayaran, kondisi olah gerak kapal, dan karakteristik mesin. Konsumsi bahan bakar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (1) dan beberapa persamaan berikut:

$$Wfo = (Pbme \times bme) \times (S/V) \times 10^{-6} \times k \dots\dots\dots (1)$$

2. Metode Estimasi Emisi Gas Buang

Pengukuran langsung kualitas dan aliran emisi gas buang dari suatu kegiatan tidak praktis atau bahkan tidak mungkin dilakukan terhadap setiap sumber pencemar. Oleh karena itu dirumuskan pendekatan untuk memperkirakan besarnya beban pencemaran dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

- a. Pendekatan konsumsi bahan bakar

$$E_i = \sum_{i=1}^n Vol_i * 10^{-6} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana :

- E<sub>i</sub> = Beban pencemar untuk polutan i (ton/tahun)
- Vol<sub>i</sub> = Konsumsi bahan bakar tipe l (liter/ tahun)
- FE<sub>i,l</sub> = Besarnya polutan i yang diemisikan dari setiap (liter) penggunaan bahan bakar tipe l (g/liter bahan bakar)

Nilai faktor polutan sesuai dengan jenis bahan bakar yaitu solar diuraikan pada tabel berikut:

**Tabel 1.** Nilai Faktor Polutan

Bahan Bakar	CO	NOx	HC	TSP	SO2	CO2
Solar (kg/ ton)	43,5	11	26	2,4	19	3150

Sumber: Pertamina, 2011

- b. Pendekatan panjang perjalanan

$$E_i = \sum_{i=1}^n VKT_{ji} * FE_{i,l} * 10^{-6} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana :

- E<sub>i</sub> = Beban pencemar untuk polutan i (ton/ tahun);
- VKT<sub>j</sub> = Total panjang perjalanan kendaraan bermotor kategori j (km kendaraan/ tahun);
- FE<sub>i,j</sub> = Besarnya polutan i yang diemisikan untuk setiap (kilometer) perjalanan.

Terkait dengan estimasi unsur polutan kapal pada daerah pelabuhan dapat disampaikan bahwa unsur polutan yang dihasilkan merupakan output dari beberapa faktor seperti kondisi mesin, kinerja mesin, jenis bahan bakar, serta kondisi olah gerak kapal, yang selanjutnya dilakukan pembatasan (asumsi) sebagai berikut.

- a. Kondisi mesin induk, mesin bantu, dan generator dalam keadaan layak beroperasi dalam hal teknis maupun administrasi sesuai dengan persyaratan oleh regulator di pelabuhan;
- b. Kondisi olah gerak kapal dihitung berdasarkan pergerakan kapal pada saat kegiatan pandu dimulai hingga sandar di dermaga, dan melakukan kegiatan bongkar muat. Estimasi waktu untuk olah gerak kapal dipengaruhi oleh ukuran kapal maupun kondisi alur pelayaran dan kolam pelabuhan sehingga terdapat beberapa perbedaan kinerja mesin khususnya kombinasi dalam penggunaan mesin induk apabila kapal tersebut menggunakan lebih dari

satu mesin. Pada kondisi olah gerak ini tidak digunakan kecepatan penuh sehingga variasi kecepatan kapal berada pada kondisi *dead slow* hingga *half speed*. Persentase penggunaan daya mesin sesuai dengan variasi kecepatan kapal;

- c. Kegiatan bongkar muat di dermaga menggunakan mesin bantu sementara mesin induk dinonaktifkan. Pada kondisi aktual daya mesin bantu yang digunakan berkisar pada 80 % sampai 90% dari daya maksimum. Untuk penelitian ini diasumsikan penggunaan daya mesin bantu sebesar 100% untuk mengetahui estimasi polutan maksimal. Waktu kapal di dermaga diasumsikan rata-rata selama 12 jam walaupun terdapat kondisi dimana kapal telah tambat dan melaksanakan kegiatan bongkar muat diatas 12 jam;
- d. Estimasi jumlah polutan merupakan *output* langsung dari kinerja mesin kapal dan tidak dilakukan analisis terhadap fasilitas tambahan seperti *filter* untuk gas buang maupun *incenerator*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Hasil Perhitungan

Tahapan analisis studi ini dapat dijabarkan sebagai berikut.

#### 1. Perhitungan *Specific Fuel Consumption*

*Specific Fuel Consumption* merupakan koefisien yang menunjukkan tingkat konsumsi bahan bakar spesifik mesin diesel untuk mesin induk dan mesin bantu pada penggunaan daya maksimum dimana nilai tersebut dapat dihitung berdasarkan **formula 1** atau **2** hasilnya diuraikan pada tabel 2 dan 3.

#### 2. Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar

Konsumsi bahan bakar dihitung dengan menggunakan **formula 3** dengan memperhatikan faktor kinerja mesin, waktu operasi mesin, *Specific Fuel Consumption*. Jumlah konsumsi bahan bakar untuk ke 5 (lima) jenis kapal diuraikan pada tabel 4 sampai 8.

**Tabel 2.** *Specific Fuel Consumption Main Engine*

Nama Kapal	<i>Specific Fuel Consumption</i>	
MV. Amarta Jaya I (General Cargo)	410,62 liter/jam	483,08 kg/jam
KM. Simfoni Sejati (Roro Cargo)	306,75 liter/jam	360,89 kg/jam
MT. Reola Ribka (Palm Oil)	304,85 liter/jam	358,65 kg/jam
MV. Tanto Bersatu (Container Ship)	697,75 liter/jam	820,89 kg/jam
KM. Sinar Banten (Container Ship)	717,30 liter/jam	843,88 kg/jam

Sumber: Analisis, 2013

**Tabel 3.** *Specific Fuel Consumption Auxiliary Engine*

Nama Kapal	<i>Specific Fuel Consumption</i>	
MV. Amarta Jaya I	87,72 liter/jam	103,20 kg/jam
KM. Simfoni Sejati	82,12 liter/jam	96,61 kg/jam
MT. Reola Ribka	59,72 liter/jam	70,26 kg/jam
MV. Tanto Bersatu	149,31 liter/jam	175,66 kg/jam
KM. Sinar Banten	129,98 liter/jam	148,22 kg/jam

Sumber: Analisis, 2013

**Tabel 4.** Konsumsi Bahan Bakar Kapal MV. Amarta Jaya I

Kinerja Mesin	Waktu Operasi (jam)	Konsumsi (liter)	Konsumsi (ton)
<i>Dead Slow</i>	0.333	36.955	0.043
<i>Slow</i>	0.167	23.268	0.027
<i>Half</i>	0.450	86.845	0.102
Bongkar Muat	12	1052.669	1.238
<b>TOTAL</b>	<b>12.950</b>	<b>1199.737</b>	<b>1.411</b>

Sumber: Analisis, 2013

**Tabel 5.** Konsumsi Bahan Bakar Kapal MT. Reola Ribka

Kinerja Mesin	Waktu Operasi (jam)	Konsumsi (liter)	Konsumsi (ton)
<i>Dead Slow</i>	0.583	43.550	0.051
<i>Slow</i>	0.167	16.591	0.020
<i>Half</i>	0.250	37.329	0.044
Bongkar Muat	12	985.477	1.159
<b>TOTAL</b>	<b>13.000</b>	<b>1082.946</b>	<b>1.274</b>

Sumber: Analisis, 2013

**Tabel 6.** Konsumsi Bahan Bakar Kapal KM. Simfoni Sejati

Kinerja Mesin	Waktu Operasi (jam)	Konsumsi (liter)	Konsumsi (ton)
<i>Dead Slow</i>	0.633	39.402	0.046
<i>Slow</i>	0.250	27.997	0.033
<i>Half</i>	0.167	27.997	0.033
Bongkar Muat	12	716.711	0.843
<b>TOTAL</b>	<b>13.050</b>	<b>812.106</b>	<b>0.955</b>

Sumber: Analisis, 2013

**Tabel 7.** Konsumsi Bahan Bakar Kapal MV. Tanto Bersatu

Kinerja Mesin	Waktu Operasi (jam)	Konsumsi (liter)	Konsumsi (ton)
<i>Dead Slow</i>	0.750	69.991	0.082
<i>Slow</i>	0.250	41.995	0.049
<i>Half</i>	0.167	53.919	0.063
Bongkar Muat	12	1791.776	2.108
<b>TOTAL</b>	<b>13.167</b>	<b>1957.682</b>	<b>2.303</b>

Sumber: Analisis, 2013

**Tabel 8.** Konsumsi Bahan Bakar Kapal KM. Sinar Banten

Kinerja Mesin	Waktu Operasi (jam)	Konsumsi (liter)	Konsumsi (ton)
<i>Dead Slow</i>	0.750	69.991	0.082
<i>Slow</i>	0.250	46.661	0.055
<i>Half</i>	0.167	62.214	0.073
Bongkar Muat	12	0.000	0.000
<b>TOTAL</b>	<b>13.167</b>	<b>178.867</b>	<b>0.210</b>

Sumber: Analisis, 2013

### 3. Perhitungan Jumlah Polutan

Jumlah polutan sesuai jumlah konsumsi bahan bakar dihitung dengan menggunakan **formula 4**. Pada tahap ini jumlah konsumsi bahan bakar dianalisis

dengan menyertakan faktor emisi. Dalam metode estimasi ini emisi gas buang merupakan *output* langsung dari mesin tanpa menggunakan fasilitas filter lainnya. Emisi gas buang yang dihasilkan oleh tiap kapal diuraikan pada tabel 9 sampai 13.

**Tabel 9.** Estimasi Polutan Kapal MV. Amarta Jaya I

Kinerja Mesin	Konsumsi BBM (liter)	Polutan (Ton)					
		CO	NOX	HC	TSP	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
		43.5 (g/liter)	11 (g/liter)	26 (g/liter)	2.4 (g//liter)	19 (g/liter)	3150 (g/liter)
Dead Slow	36.955	0.002	0.000	0.001	0.000	0.001	0.116
Slow	23.268	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.073
Half	86.845	0.004	0.001	0.002	0.000	0.002	0.274
Bongkar Muat	1052.669	0.046	0.012	0.027	0.003	0.020	3.316
<b>TOTAL</b>	<b>1199.737</b>	<b>0.052</b>	<b>0.013</b>	<b>0.031</b>	<b>0.003</b>	<b>0.023</b>	<b>3.779</b>

Sumber: Analisis, 2013

**Tabel 10.** Estimasi Polutan Kapal KM. Simfoni Jaya

Kinerja Mesin	Konsumsi BBM (liter)	Polutan (Ton)					
		CO	NOX	HC	TSP	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
		43.5 (g/liter)	11 (g/liter)	26 (g/liter)	2.4 (g//liter)	19 (g/liter)	3150 (g/liter)
Dead Slow	43.550	0.002	0.000	0.001	0.000	0.001	0.137
Slow	16.591	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.052
Half	37.329	0.002	0.000	0.001	0.000	0.001	0.118
Bongkar Muat	985.477	0.043	0.011	0.026	0.002	0.019	3.104
<b>TOTAL</b>	<b>1082.946</b>	<b>0.047</b>	<b>0.012</b>	<b>0.028</b>	<b>0.003</b>	<b>0.021</b>	<b>3.411</b>

Sumber: Analisis, 2013

**Tabel 11.** Estimasi Polutan Kapal MT. Reola Ribka

Kinerja Mesin	Konsumsi BBM (liter)	Polutan (Ton)					
		CO	NOX	HC	TSP	SO2	CO2
		43.5 (g/liter)	11 (g/liter)	26 (g/liter)	2.4 (g//liter)	19 (g/liter)	3150 (g/liter)
Dead Slow	39.402	0.002	0.000	0.001	0.000	0.001	0.124
Slow	27.997	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001	0.088
Half	27.997	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001	0.088
Bongkar Muat	716.711	0.031	0.008	0.019	0.002	0.014	2.258
<b>TOTAL</b>	<b>812.106</b>	<b>0.035</b>	<b>0.009</b>	<b>0.021</b>	<b>0.002</b>	<b>0.015</b>	<b>2.558</b>

Sumber: Analisis, 2013

**Tabel 12.** Rata-rata Jumlah Polutan

No	Nama Kapal	Mesin	POLUTAN (ton/jam)					
			CO	NOX	HC	TSP	SO2	CO2
1	MV. Amarta Jaya I	Mesin Utama	0.006	0.002	0.004	0.000	0.003	0.463
		Mesin Bantu	0.004	0.001	0.002	0.000	0.002	0.276
		<b>Total</b>	<b>0.010</b>	<b>0.003</b>	<b>0.006</b>	<b>0.000</b>	<b>0.005</b>	<b>0.739</b>
2	KM. Simfoni Sejati	Mesin Utama	0.004	0.001	0.003	0.000	0.002	0.307
		Mesin Bantu	0.004	0.001	0.002	0.000	0.002	0.259
		<b>Total</b>	<b>0.008</b>	<b>0.002</b>	<b>0.005</b>	<b>0.000</b>	<b>0.004</b>	<b>0.566</b>
3	MT. Reola Ribka	Mesin Utama	0.004	0.001	0.002	0.000	0.002	0.300
		Mesin Bantu	0.003	0.001	0.002	0.000	0.001	0.188
		<b>Total</b>	<b>0.007</b>	<b>0.002</b>	<b>0.004</b>	<b>0.000</b>	<b>0.003</b>	<b>0.488</b>
4	MV. Tanto Bersatu	Mesin Utama	0.007	0.002	0.004	0.000	0.003	0.523
		Mesin Bantu	0.006	0.002	0.004	0.000	0.003	0.470
		<b>Total</b>	<b>0.013</b>	<b>0.004</b>	<b>0.008</b>	<b>0.000</b>	<b>0.006</b>	<b>0.993</b>
5	KM. Sinar Banten	Mesin Utama	0.008	0.002	0.005	0.000	0.003	0.563
		Mesin Bantu	0.005	0.001	0.003	0.000	0.002	0.397
		<b>Total</b>	<b>0.013</b>	<b>0.003</b>	<b>0.008</b>	<b>0.000</b>	<b>0.005</b>	<b>0.993</b>

Sumber: Analisis, 2013

Berdasarkan hasil analisis dapat terlihat kondisi umum dimana terjadi pengeluaran gas buang dalam jumlah besar pada saat kapal berada di dermaga. Penggunaan daya mesin bantu maupun generator pada saat kapal di dermaga dialokasikan untuk operasional alat bongkar muat di atas kapal maupun untuk menunjang akomodasi di dalam kapal. Pada kondisi aktual penggunaan mesin bantu dimulai pada saat kapal tambat sementara pada saat itu kegiatan bongkar muat masih memerlukan waktu tunggu untuk ketersediaan peralatan bongkar muat di dermaga dan ketersediaan tenaga kerja bongkar muat, sehingga terdapat waktu yang tidak produktif dalam durasi waktu yang cukup signifikan. Berdasarkan kinerja operasional RKAP Pelabuhan Belawan pada Tahun 2012 untuk *service time* keseluruhan dermaga, *Turn Round Time* (TRT) yaitu 105,21 jam/kapal, dimana dari akumulasi waktu tersebut untuk kegiatan *Berthing Time* (BT) di dermaga yaitu 79,89 jam/kapal. Dari *Berthing Time* tersebut selama 59,60 jam/kapal merupakan *Effective Time* (ET) dalam hal ini dianggap sebagai waktu produktif, 0,28 jam/kapal merupakan *Idle Time* (IT), dan 20,03 jam/kapal

merupakan *Not Operational Time* (NOT) yang dapat diasumsikan sebagai waktu yang tidak produktif, sementara pada kondisi aktual pada waktu yang tidak produktif tersebut mesin bantu tetap dioperasikan sehingga efek negatif berupa pengeluaran emisi gas buang beserta unsur polutannya tetap berlangsung.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengumpulan data kapal di Pelabuhan Belawan dan hasil analisis mengenai perhitungan jumlah emisi gas buang akibat dari aktifitas kapal di lingkungan Pelabuhan Belawan dapat disimpulkan bahwa berdasarkan rute pelayaran dari pelabuhan asal hingga Pelabuhan Belawan, dengan memperhatikan faktor kinerja mesin, waktu operasi mesin, dan *Specific Fuel Consumption* rata-rata jumlah polutan terbesar yang dikeluarkan oleh kapal adalah gas CO<sub>2</sub>. Jumlah gas CO<sub>2</sub> untuk masing-masing kapal adalah; Kapal MV. Amarta Jaya I mengeluarkan emisi gas buang CO<sub>2</sub> sebesar : 0.739 ton/jam, KM. Simfoni Sejati mengeluarkan emisi gas buang CO<sub>2</sub> sebesar: 0.566

ton/jam, MT. Reola Ribka mengeluarkan emisiss gas buang CO<sub>2</sub> sebesar : 0.488 ton/jam, MV. Tanto Bersatu mengeluarkan emisiss gas buang CO<sub>2</sub> sebesar : 0.993 ton/jam, KM. Sinar Banten mengeluarkan emisiss gas buang CO<sub>2</sub> sebesar : 0.993 ton/jam.

## SARAN

Untuk mengurangi jumlah emisi gas buang khususnya pada daerah lingkungan kerja pelabuhan dapat direkomendasikan sebagai berikut.

*Maintenace* dan kontrol secara rutin baik mesin maupun instalasi bahan bakar, pihak produsen bahan bakar sebaiknya menyediakan produk bahan bakar *high speed diesel* yang telah dikurangi kadar sulfurnya (*de-sulphurisation*), penggunaan *Electrostatic Precipitator* yang mampu mereduksi partikel gas buang hingga mencapai 99%.

Penggunaan metode sekunder yaitu, *selective Catalytic Reduction*(SCR) adalah penggunaan urea ((NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CO) atau amoniak (NH<sub>3</sub>). Bahan ini diinjeksikan ke dalam aliran gas buang, dan NO<sub>x</sub> akan berubah menjadi N<sub>2</sub> dan uap air sehingga emisi NO<sub>x</sub> dapat dikurangi antara 90-95%, *seawater Exhaust Gas Scrubber* untuk mengurangi emisi SO<sub>x</sub>. Prinsip utama sistem ini adalah mendinginkan gas buang sampai pada titik embun dari gas buang tersebut dan mengakibatkan terjadinya kondensasi pada SO<sub>x</sub>. Saat terjadinya pendinginan akibat kontak gas buang dengan air laut, dimana air laut adalah asam natural dengan pH 8.1, terjadi kombinasi kerja yaitu netralisasi dan pengenceran gas buang. Sistem ini awalnya banyak digunakan sebagai sistem untuk *de-sulphurisasi* dalam industri, namun saat ini banyak digunakan untuk aplikasi penurunan SO<sub>x</sub> di kapal. Dalam suatu kasus, emisi SO<sub>x</sub> menurun dari 497 ppm menjadi 48 ppm dengan pH *water scrubber* menurun dari 8.01 menjadi 2.95, dari sifat basa menjadi sifat asam.

Pihak *regulator* dan *operator* pelabuhan perlu menerapkan aturan terkait standar jumlah polutan dan standar kesehatan udara di pelabuhan. Hal ini juga dapat ditindaklanjuti dengan melakukan pemasangan alat untuk mengevaluasi tingkat kebersihan udara khususnya terhadap unsur polutan tertentu, *Not Operational Time* (NOT) dapat dikurangi durasinya secara signifikan dengan konsep "*port wait the ship*" sehingga ketika kapal berada di dermaga proses bongkar muat dapat

dimulai dalam waktu singkat. Untuk pelaksanaannya memerlukan koordinasi dan kesiapan alat bongkar muat serta tenaga kerja yang baik dari operator pelabuhan. Sementara dari operator kapal perlu mengontrol penggunaan daya mesin bantu pada waktu yang tidak produktif tersebut sehingga dengan sendirinya terjadi penghematan bahan bakar dan meminimalisir jumlah gas buang yang dikeluarkan. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan skala lebih besar dengan mengkombinasikan unsur polutan dari kegiatan operasional di pelabuhan seperti dari alat bongkar muat di beberapa terminal serta dari kendaraan berat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bracken, C et al., 2007, *An Analysis of Exhaust Emission from a Large Ship Docked In Humboldt Bay*, Eureka : ENGR
- Ishida T, 2003, *Emission of Estimate Methods of Air Pollution and Green House Gases from Ships Journal Japan Institute Marine Engineering*, Vol. I. : 37
- Jalkanen JP et al., 2009, *Modelling System for the Exhaust Emissions Of Marine Traffic and Its Application In the Baltic Sea Area [Journal]*. Atmos. Chem. Phys. Vol. IX: 15229 - 15373.
- MARPOL Annex VI *Prevention of Air Pollution from Ships*. International Maritime Organization (IMO), London
- Phoels, Herald, 1982, *Lecture on Ship Desgn and Ship Theory*, University of Hanover
- Trozzi, Carlo, 2006, *Emission estimate methodology for marine navigaton*.
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 05 Tahun 2006 Tentang *Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama*
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 04 Tahun 2009 Tentang *Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Tipe Baru*
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 51 Tahun 2002 Tentang *Perkapalan*
- Undang-Undang Nomor 17 Tahun 2008 tentang *Pelayaran*.
- 2003, *Early Implementation of the Special Measures to Enhance Maritime Security*, IMO, London.