

MODEL PERHITUNGAN IMPLIKASI JEJAK KARBON INDUSTRI PELAYARAN (STUDI KASUS : JALUR PELAYARAN SELAT MADURA)

Danang Ristu Nugroho , Setyo Nugroho

Program Studi Transportasi Laut, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: snugroho@na.its.ac.id

Abstrak— Tugas Akhir ini membuat model perhitungan jejak karbon dan implikasinya dalam industri pelayaran, dibuat untuk menganalisa variabel yang berpengaruh pada pencemaran karbon dioksida di Selat Madura serta opsi reduksinya. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh semakin tingginya tingkat pencemaran karbon dioksida yang berakibat pada dampak lingkungan yang serius seperti efek rumah kaca, pemanasan global, kenaikan permukaan air laut, kesehatan dan perubahan iklim.

Berdasarkan penelitian dari IMO Second GHG Study, industri pelayaran menyumbang 3,3% dari total emisi CO₂ di dunia, atau lebih dari 12% emisi CO₂ di sektor transportasi. Pelayaran domestik menyumbang 0,6% sedangkan pelayaran internasional menyumbang 2,7%. Selat Madura merupakan salah satu pusat pergerakan kapal yang sangat ramai mencapai 15.000 unit kapal per tahun yang masuk ke Pelabuhan Tanjung Perak sebagai pelabuhan primer kedua di Indonesia. Perhitungan karbon dioksida menggunakan metode Activity-based calculation, yaitu dengan menghitung emisi dari konsumsi bahan bakar.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa proyeksi jumlah kunjungan kapal semakin menurun dari 15.074 unit pada tahun 2009 hingga pada tahun 2023 mencapai 13.060 unit. Namun Gross Tonnage setiap kapal meningkat, sehingga dapat dikatakan bahwa ukuran kapal semakin besar dari tahun ke tahun. Sebanding dengan peningkatan ukuran kapal-kapal yang datang, maka jumlah emisi karbondioksida juga semakin tinggi dengan prosentase kenaikan pada tahun 2023 mencapai 7.698 ton atau sekitar 34% dari jumlah emisi tahun 2009.

Penerapan kebijakan akan reduksi karbondioksida perlu dilakukan untuk mitigasi perubahan iklim. Pemilihan opsi untuk reduksi harus berbiaya murah dan efisien sehingga memberikan manfaat dari segi operasional maupun lingkungan. Dengan tujuan akhir adalah pembangunan yang berkelanjutan (*Sustainable Development*) maka dipilih Skema Karbon Nusantara sebagai opsi reduksi pencemaran.

Kata kunci: Emisi karbon dioksida industri pelayaran, *IMO Second GHG Study*, *Sustainable Development*, Skema Karbon Nusantara

I. PENDAHULUAN

Perubahan iklim menjadi tantangan bagi kehidupan manusia saat ini. Salah satu faktor adalah meningkatnya emisi greenhouse gasses (GHGs) seperti gas karbon dioksida (CO₂).

Industri pelayaran menyumbang 3,3% dari total emisi CO₂ di dunia, atau lebih dari 12% emisi CO₂ di sektor transportasi. Pada penelitian terakhir menyebutkan bahwa perdagangan internasional mendorong meningkatnya emisi CO₂ dari industri pelayaran secara lebih tajam menjadi dua kali lipat antara tahun 1994-2007. Apabila kondisi ini berlangsung terus-menerus tanpa ada teknologi dan kebijakan baru untuk mereduksi emisi karbon, maka diperkirakan emisi CO₂ akan meningkat menjadi 150% hingga 300% pada tahun 2050. Keadaan tersebut menuntut negara berkembang serta negara maju untuk berupaya mengurangi emisi CO₂ dengan komitmen mitigasi terhadap perubahan iklim termasuk perdagangan karbon (carbon trading), energy efficiency design index, dan energy efficiency operational indicator (Wang, 2010).

Di Indonesia kondisi tersebut masih belum mendapatkan perhatian khusus dari pemerintah, terutama menyangkut pencemaran yang ditimbulkan oleh kegiatan transportasi laut. Kapal-kapal yang dimiliki oleh Indonesia kebanyakan telah berumur tua bahkan ada yang melebihi umur ekonomis.

Dengan mempertimbangkan kondisi-kondisi yang telah dipaparkan di atas, maka perlu dibuat kajian mengenai model perhitungan implikasi jejak karbon industri pelayaran di Indonesia terutama di Jalur Pelayaran Selat Madura. Pemilihan Selat Madura sebagai studi kasus adalah karena Selat Madura merupakan salah satu jalur lalu lintas kapal yang sangat ramai terutama karena adanya Pelabuhan Tanjung Perak yang menjadi pusat distribusi barang untuk kawasan Indonesia Timur.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui jumlah karbondioksida yang dikeluarkan oleh kapal-kapal sebagai polusi udara. Dari hasil penelitian tersebut maka akan diperoleh suatu gambaran mengenai tingkat pencemaran yang terjadi serta implikasinya. Selain itu, penelitian ini juga penting karena akan memberikan opsi reduksi terhadap pencemaran yang terjadi.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Langkah-langkah penelitian dapat dijelaskan berdasarkan uraian berikut:

A. Tahap Identifikasi Permasalahan

Permasalahan mengenai sektor lingkungan dan transportasi laut menjadi tema besar yang menjadi ide awal dari ruang lingkup penelitian. Setelah melalui tahap studi

awal, maka dipilih permasalahan tentang emisi karbon dioksida di Jalur Pelayaran Selat Madura. Identifikasi selanjutnya adalah tentang seberapa besar tingkat pencemaran karbon dioksida yang terjadi di Selat Madura, bagaimana tren emisi dari tahun ke tahun serta opsi apa yang bisa digunakan untuk permasalahan lingkungan tersebut.

B. Tahap Studi Literatur dan Penyusunan Konsep Perhitungan

Untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan yang muncul dari tahap sebelumnya, maka langkah awal adalah mencari literatur yang memiliki tema sama serta penelitian yang membahas tema tersebut. Konsep yang berhubungan adalah penelitian dari International Maritime Organisation (IMO) dengan judul *“IMO Second GHG Study 2009”*. Dari penelitian tersebut dipilihlah metode perhitungan jumlah emisi yaitu dengan metode *“Activity-based bottom up”*, yaitu berdasarkan perhitungan konsumsi bahan bakar pergerakan kapal :

$$FC = BHP \times SFOC \times t$$

Dimana:

- FC = Konsumsi bahan bakar (gram)
- BHP = Daya aktual (kW)
- SFOC = *Specific fuel oil consumption* (gram/kW.h)
- t = Waktu operasional mesin (h)

Jumlah emisi karbon dioksida dapat dihitung dari persamaan:

$$\text{Jumlah Emisi CO}_2 \text{ (ton)} = FC \times EF$$

EF merupakan faktor emisi yang besarnya 3,206 ton CO₂/ton bahan bakar MDO.

Untuk mengetahui tren emisi digunakan regresi linier dari persamaan;

$$Y = a + b X$$

dimana:

- Y = variabel terikat
- X = variabel bebas
- a = intersep
- b = koefisien regresi/slop

Tren emisi menjadi dasar untuk menentukan skema penurunan emisi karbon dioksida. Banyak opsi untuk penurunan jumlah emisi karbon dioksida dari gas buang kapal, antara lain konsep *slow steaming*, penggunaan alat penurun emisi, penggunaan bahan bakar ramah lingkungan, konversi kimiawi hingga konsep pasar karbon.

Pada penelitian ini dipilih konsep pasar karbon, karena dalam penerapannya tidak membutuhkan biaya yang terlalu mahal. Namun, dalam konsep ini membutuhkan komitmen dan konsep regulasi yang transparan serta terstruktur.

C. Tahap Pengumpulan dan Pengolahan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui survey di stasiun radio pantai distrik navigasi kelas I Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. Dari *Vessel Traffic System* yang ada di

lokasi survey data yang didapatkan adalah data pergerakan kapal, kecepatan, ukuran kapal dsb. Untuk data mesin utama dan mesin bantu mengambil dari BKI register. Data kunjungan kapal per tahun didapat dari Pelabuhan Tanjung Perak dari tahun 2009-2013 dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel II-1 Data Kunjungan Kapal Tanjung Perak

Jenis Kapal	Jumlah /tahun					Rata-rata
	2009	2010	2011	2012	2013	
Kapal Petikemas	4.887	4.645	4.749	4.925	4.829	4.807
Kapal Kargo Non Petikemas	2.591	2.263	3.035	3.361	3.018	2.854
Kapal Penumpang	1.346	1.396	1.095	1.419	1.552	1.362
Kapal Tanker	2.341	2.367	1.809	1.381	1.453	1.870
Kapal Lain	3.909	3.527	3.429	3.687	3.346	3.580
Total	15.074	14.198	14.117	14.773	14.198	14.472

Data GT kapal juga merupakan data yang penting untuk menentukan peramalan jumlah emisi karbon dioksida.

D. Tahap Analisis dan Pembahasan

Pada tahap ini, setelah diketahui tingkat pencemaran karbon dioksida di Jalur Pelayaran Selat Madura maka dihitung proyeksi jumlah pencemaran tersebut di masa yang akan datang.

Setelah melakukan proyeksi tren emisi karbon dioksida, maka dilakukan analisis ekonomi dari implikasi pencemaran tersebut. Selain itu dilakukan penyusunan skema pasar karbon, penggunaan alat, serta skema penalti insentif untuk menurunkan jumlah emisi karbon dioksida. Dari opsi yang ada kemudian dipilih opsi yang paling cocok diterapkan pada wilayah pelabuhan.

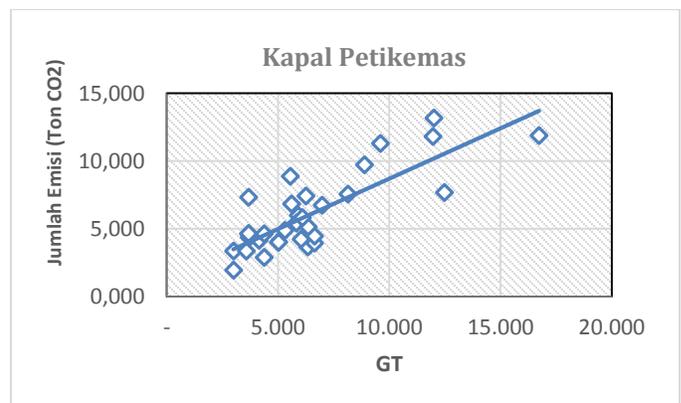
E. Tahap Penarikan Kesimpulan

Dari hasil perhitungan-perhitungan tersebut diharapkan dapat menggambarkan kondisi pencemaran karbon dioksida di Jalur Pelayaran Selat Madura saat sekarang dan beberapa tahun yang akan datang. Serta opsi-opsi apa yang dapat digunakan untuk mengurangi emisi.

III. ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN HASIL EKSPERIMEN

F. Analisis Hubungan Antar Variabel

Hubungan antara GT dengan Jumlah Emisi CO₂



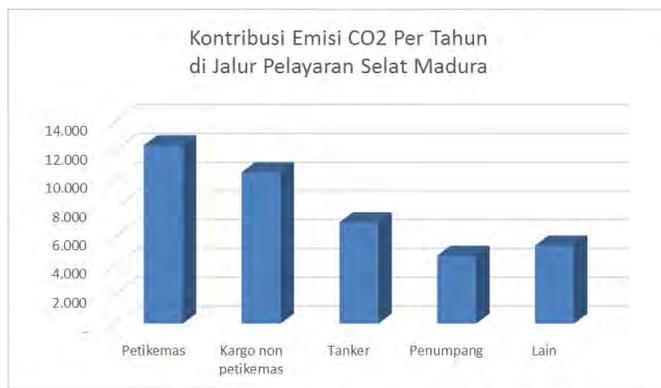
Untuk kapal lain, memiliki korelasi yang sama dengan grafik dapat dilihat pada tabel berikut:

Jenis Kapal	Fungsi	Variance (R ²)
Kapal Petikemas	$y = 0,0003x - 0,4089$	0,67
Kapal Kargo non Petikemas	$y = 0,0005x - 1,2159$	0,95
Kapal Tanker	$y = 0,0009x - 2,3693$	0,93
Kapal Penumpang	$y = 0,0001x + 0,3965$	0,84
Kapal Lain	$y = 0,0003x + 0,3786$	0,11

Korelasi tersebut menunjukkan bahwa semakin besar ukuran kapal, maka semakin besar pula jumlah emisi karbondioksida yang dihasilkan.

G. Kondisi sekarang dan masa depan tren jumlah emisi Karbondioksida

Dari perhitungan untuk tiap jenis kapal yang telah dilakukan, total emisi karbondioksida dalam satu kali round trip masuk dan keluar Pelabuhan Tanjung Perak, didapatkan hasil sebagai berikut



Kapal petikemas menjadi yang terbanyak dalam menyumbang emisi karbondioksida di jalur pelayaran selat madura. Sedangkan kapal penumpang menjadi yang paling sedikit.

Dari fungsi GT dengan Jumlah emisi, maka didapat tren jumlah emisi berdasarkan GT Kapal. Didapatkan hasil sebagai berikut:

Tahun	Jumlah Kapal (unit)	Jumlah GT	Jumlah Emisi (ton CO2)
2009	15.074	63.248.150	22.789
2010	14.198	65.956.108	23.211
2011	14.117	72.730.588	26.260
2012	14.773	73.122.180	28.339
2013	14.198	76.293.701	28.920

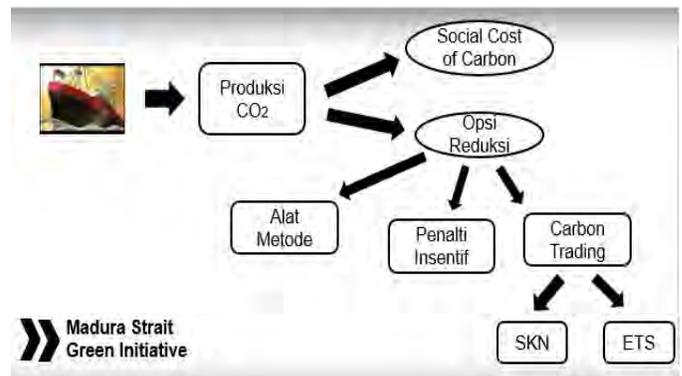
Selanjutnya adalah menghitung tren emisi yang terjadi dengan metode regresi sehingga didapatkan proyeksi jumlah emisi karbondioksida sampai tahun 2023, seperti pada grafik berikut



Selain faktor ukuran kapal yang semakin besar, faktor lain yang mempengaruhi adalah kecepatan yang digunakan saat berlayar, rute yang dipilih, serta tahun pembuatan mesin. Upaya untuk penurunan emisi harus dilakukan dengan tepat yaitu dengan program yang rendah biaya dan ramah lingkungan.

H. Pembuatan Skema Penurunan Emisi Karbondioksida

Salah satu cara yang dapat digunakan dalam penurunan emisi karbondioksida adalah dengan mengembangkan skema perdagangan karbon. Seperti yang telah dilakukan di negara-negara maju terutama negara industri yang menghasilkan jumlah emisi karbon yang tinggi.



Opsi reduksi dengan penalti insentif yang diterapkan pada studi kasus Jalur Pelayaran Selat Madura melibatkan beberapa pihak dengan kepentingan masing-masing sesuai dengan regulasi dari pemerintah (otoritas pelabuhan).

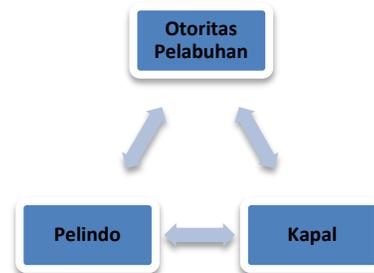


Diagram pemangku kepentingan dalam skenario penalti insentif di wilayah pelabuhan

Dalam kajian ini, sudut pandang penelitian adalah dari sisi kapal, sehingga perhitungan dan peraturan yang dirancang terfokus pada penerapan skema penalti insentif untuk kapal.

OTORITAS PELABUHAN

Ketentuan umum:

- o Aturan Penalti Insentif bersifat wajib bagi kapal-kapal berbendera Indonesia dan diterapkan oleh otoritas pelabuhan di seluruh Indonesia
- o Pemerintah menetapkan mandatory batas emisi karbon dioksida di wilayah pelabuhan sebesar 80% dari emisi eksisting tahun 2015, berlaku dari tahun 2016 hingga 2035.
- o Untuk kapal yang memasang alat untuk penurunan emisi karbon dioksida maka diberikan insentif berupa pembebasan pembayaran *social cost of carbon* dan insentif tambahan berupa pembiayaan atas investasi alat sebesar 10% per tahun selama masa ekonomis alat tersebut (tidak termasuk biaya operasional alat). Selain itu juga diberikan “sertifikat green” sebagai reward atas keberhasilan dalam mendukung *green shipping*.
- o Untuk kapal yang tidak dapat menurunkan emisi karbon dioksida atau terkena batas emisi maka harus membayar penalti sebesar *social cost of carbon* yang ditimbulkan dari total hasil emisinya.

OPERATOR PELABUHAN (PELINDO)

Ketentuan umum:

- o Mengikuti aturan dari otoritas pelabuhan kecuali dalam hal penalty dan insentif
- o Untuk kapal yang memasuki wilayah pelabuhan dan dapat menurunkan jumlah emisinya di wilayah pelabuhan di bawah mandatory yang ditentukan pemerintah akan mendapat insentif pengurangan biaya pelabuhan sebesar 10% dari total biaya pelabuhan.
- o Untuk kapal yang tidak dapat menurunkan emisi karbon dioksida atau terkena batas emisi maka harus membayar penalti sebesar 10% dari total biaya pelabuhan.

Dari ketentuan di atas, skema memunculkan biaya tambahan untuk kapal-kapal yang masuk ke wilayah pelabuhan serta memunculkan potensi pendapatan dari insentif yang diberikan.

Dalam penerapannya, monitoring adalah hal yang sangat penting untuk mengukur besarnya emisi karbon dioksida dari tiap-tiap kapal. Salah satu cara yang dapat diterapkan adalah dengan memasukkan metode perhitungan karbon dioksida pada AIS kapal. Sehingga secara otomatis dapat dipantau besarnya pencemaran yang dihasilkan dari aktivitas kapal tersebut.

Sebagai ilustrasi perhitungan penalti dan insentif, maka diambil contoh kapal yang menggunakan alat CSNOx dan kapal yang sama tetapi tidak menggunakan alat CSNOx. Dari skema yang telah dibuat kemudian akan dikaji keuntungan dan kerugian bagi kapal dengan kondisi tersebut.

Kapal A (Tanpa alat penurunan emisi)

- Jenis kapal : Peti Kemas
- Ukuran : 5000 DWT
- Jumlah muatan : 400 Teus
- Jumlah shipcall : 30 kali/tahun
- Wilayah Pelabuhan : Tanjung Perak (Karangjaluang-Perak-Karangjaluang)
- Biaya-biaya : Biaya pelabuhan, Biaya bahan bakar, Biaya penalti, Social cost of Carbon

Dari fungsi DWT dengan jumlah emisi yang didapat sebelumnya yaitu :

$$\begin{aligned} \text{Jumlah emisi (ton CO2)} &= (0,0002 \cdot \text{DWT}) - 0,4113 \\ &= (0,0002 \cdot 5000) - 0,4113 \\ &= 0,5887 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Konsumsi BBM (ton)} &= \text{jumlah emisi/faktor emisi} \\ &= 0,5887/3,206 \\ &= 0,1836 \text{ ton} \end{aligned}$$

Dari besarnya emisi dan konsumsi bahan bakar maka didapat biaya bahan bakar dan *social cost of carbon* dalam satu tahun sebagai berikut:

Social Cost of Carbon	Biaya BBM
Rp 8.009.264 ,-	Rp 42.125.610,-

Biaya pelabuhan dihitung dari tarif-tarif yang berlaku di Pelabuhan Tanjung Perak

GT Kapal	5.014	GT
Waktu tunda	1,0	Jam
Biaya Labuh	561.568	Rupiah
Biaya Tambat	581.624	Rupiah
Biaya Pandu	225.000	Rupiah
Biaya Tunda	958.367	Rupiah
Biaya Bongkar/Muat	152.000.000	Rupiah
Total Biaya	154.326.559	Rupiah

Dalam 1 tahun maka total biaya pelabuhan = 30 x Rp 154.326.559,- = **Rp 4.629.796.770,-**

Pada akhir periode yaitu tahun 2035,

- **Jumlah seluruh biaya dikurangi insentif = Rp107.530.148.791,-**
- **Jumlah emisi yang terkena penalti (wajib beli) = 70,6 ton**

Kapal B (dengan alat CSNOx)

- Jenis kapal : Peti Kemas
- Ukuran : 5000 DWT
- Jumlah muatan : 400 Teus
- Jumlah shipcall : 30 kali/tahun
- Wilayah Pelabuhan : Tanjung Perak (Karangjaluang-Perak-Karangjaluang)
- Biaya-biaya : Biaya pelabuhan, Biaya bahan bakar, Biaya Investasi alat, Biaya operasional alat
- Insentif : Insentif dari OP, Insentif dari Pelindo

Ketentuan alat :

- Biaya investasi untuk kapal 5000 DWT = Rp 8.579.250.000
- Biaya operasional 1% dari konsumsi bahan bakar
- Mampu menurunkan emisi karbon dioksida sebanyak 77% dari kondisi eksisting
- Umur Ekonomis 20 tahun

Insentif dari Otoritas Pelabuhan

Insentif per tahun = 10% *(biaya investasi alat/20 tahun)= Rp 42.896.250,-

Insentif dari Pelindo

Insentif per tahun = 10%*total biaya pelabuhan
= Rp 462.979.677,-

Pada akhir periode yaitu tahun 2035,

- **Jumlah seluruh biaya dikurangi insentif = Rp 96.580.526.563,-**
- **Jumlah emisi yang bisa dijual = 197,8 ton**

Dalam skema perhitungan tersebut dapat dilihat bahwa total biaya yang harus ditanggung oleh kapal yang menggunakan alat CSNO_x pada akhirnya akan lebih sedikit karena insentif yang diberikan cukup untuk membiayai besarnya investasi yang ditanggung oleh kapal. Namun dalam hal ini tidak dibuat analisis sensitivitas untuk besarnya insentif yang ditanggung oleh Pelindo dan Otoritas Pelabuhan.

IV. KESIMPULAN

1. Rata-rata jumlah emisi karbon dioksida dari pergerakan kapal di Jalur Pelayaran Selat Madura menurut jenis kapal dari tahun 2009 hingga 2013 adalah sebagai berikut :
 - Kapal petikemas = 9.853 ton CO₂
 - Kapal kargo non petikemas = 3.716 ton CO₂
 - Kapal tanker = 9.041 ton CO₂
 - Kapal penumpang = 1.345 ton CO₂
 - Kapal lain = 1.948 ton CO₂
2. Tren jumlah emisi karbon dioksida dari pergerakan kapal dari fungsi GT kedatangan kapal per tahun di Jalur Pelayaran Selat Madura 2009-2023 = 7.698 ton atau meningkat 34%.
3. Implikasi yang harus ditanggung berupa *Social Cost of Carbon* untuk pencemaran 1 ton CO₂ oleh tiap kapal adalah Rp 453.500,-
4. Dari dua opsi skema penurunan emisi karbon dioksida di Jalur Pelayaran Selat Madura, Skema Karbon Nusantara merupakan program yang tidak cocok diterapkan secara parsial/regional namun dapat digabungkan dengan skema lain sebagai pendukung. Skema Penalti Insentif merupakan skema yang cocok untuk diterapkan secara parsial seperti di Jalur Pelayaran Selat Madura dengan catatan bahwa skema ini juga diterapkan di seluruh pelabuhan di Indonesia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih Penulis tujukan, yang pertama kepada Bapak Dr.-Ing Setyo Nugroho selaku dosen pembimbing yang telah memberikan banyak bimbingan kepada penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir ini. Kedua kepada orang tua penulis, Bapak Mujiono dan Ibu Priyani (Alm) atas segala doa dan dukungannya. Ketiga kepada teman-teman dan pihak-pihak yang tidak dapat Penulis sebutkan satu per satu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] IMO. (2009). Second GHG Study.
- [2] DNPI.(2011). Mari Berdagang Karbon. Dewan Nasional Perubahan Iklim.
- [3] Carlo Trozzi and Rita Vaccaro. Methodologies For Estimating Air Pollutant Emissions From Ships. Presented on 22nd CIMAC International Congress on Combustion Engines, Copenhagen 18-21 May 1998.
- [4] C.Wang, J.Callahan and James J.Corbett. Geospatial Modelling of Ship Traffic And Air emissions. ESRI UC #1863.