

PENURUNAN EMISI GAS BUANG MOTOR DIESEL KAPAL DENGAN ELEKTROLISIS AIR LAUT

REDUCTION OF DIESEL SHIP ENGINE EXHAUST GAS EMISSION USING SEAWATER ELECTROLYSIS

I Made Ariana

Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Jl. Arief Rahman Hakim, Sukolilo, Surabaya 60111

e-mail: ariana@its.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menurunkan emisi gas buang motor diesel kapal secara simultan dengan elektrolisis air laut. Tiga polutan udara, yaitu NO_x , SO_x , dan partikulat direduksi dengan cara menyemprotkan hasil elektrolisis air laut melalui *scrubber* ke gas buang motor diesel kapal. Motor diesel merk Dong Feng-tipe R175A dengan daya dan putaran maksimum 6.6 HP dan 2600 rpm digunakan dalam pengujian ini. Motor dioperasikan dengan bahan bakar *Marine Diesel Oil* pada putaran 2400 rpm dalam berbagai beban. Pembebanan dilakukan dengan generator listrik dan dihubungkan dengan panel lampu-lampu listrik. Pembebanan divariasikan pada daya pemakaian 500, 1500, dan 2500 watt. Variasi juga dilakukan terhadap laju aliran gas buang yang masuk ke dalam *scrubber*, dengan mengatur katup pipa gas buang. Variasi yang dilakukan adalah 100% dan 75% aliran gas buang ke *scrubber*. Nilai pH dan emisi gas buang diukur di titik sebelum dan sesudah *scrubber*. Pengukuran pH dilakukan di dekat anoda dan katoda untuk mengetahui laju pembentukan larutan asam dan basa yang akan disemprotkan ke *scrubber*. Kandungan NO_x , SO_x , dan partikulat diukur pada berbagai variasi pembebanan. Elektrolisis air laut menghasilkan larutan asam dan basa hingga harga pH mencapai 5 dan 12. Metode ini dapat menurunkan konsentrasi NO_x , SO_x , dan PM secara berturut-turut hingga mencapai 76%, 75%, dan 42%.

Kata kunci : emisi gas buang, motor diesel kapal, elektrolisis air laut

Abstract

This research was aimed to simultaneously reduce exhaust emissions from diesel ship engine. Three emission parameters, which consisted of NO_x , SO_x and particulate matter (PM), were reduced by spraying the electrolysis product of sea water through a scrubber to the exhaust gas. Dong Feng motor diesel, type R175A, with a maximum power of 6.6 HP and rotation rate of 2600 rpm was used in this test. The motor was operated using Marine Diesel Oil fuel up at 2400 rpm in various power loads. Loading was done by an electric generator, which was connected with an electric lamp panel. The loading power was varied at 500, 1500, and 2500 watts. Exhaust gas flow rates into the scrubber were also varied by exhaust pipe valve adjustment. The variations were made 100% and 75% of exhaust gas flow rate to the scrubber. Measurements of pH value and exhaust gas emissions were done near the inlet and the outlet points of the scrubber. Measurements of pH values were carried out near the anode and cathode in order to determine the formation of acid and alkaline solutions to be sprayed into the scrubber. The concentrations of NO_x , SO_x , and PM were measured at various load variations. Sea water electrolysis produced acid and base, which affected the pH values to change from 5 to 12. This method could reduce NO_x , SO_x , and PM concentrations up to 76%, 75%, and 42% respectively.

Keywords: exhaust gas emission, ship diesel engine, seawater electrolysis.

1. PENDAHULUAN

Penggunaan bahan bakar *grade* rendah untuk operasional kapal akan memberikan suatu keuntungan yaitu berkurangnya biaya operasional. Namun bahan bakar *grade* rendah seperti minyak residu atau *Heavy Fuel Oil* (HFO) memiliki kandungan belerang lebih dari 20 kali kandungan belerang pada minyak distilasi seperti *Marine Diesel Oil* (MDO). Hal ini menyebabkan penggunaan HFO menghasilkan kadar *Sulphur Oxide* (SO_x) pada gas buang juga mencapai lebih dari 20 kali, sedangkan kadar *Particulate Matter* (PM) meningkat hingga 9 kali dari penggunaan MDO (Ariana, 2008). Kondisi ini mengakibatkan jumlah emisi dari gas buang motor diesel untuk aktivitas di pelabuhan menunjukkan nilai yang sangat tinggi. Sebagai contoh, setiap harinya sekitar 23 ton SO_x , 40 ton *Nitrogen Oxide* (NO_x), dan 3.33 ton PM dihasilkan dari pengoperasian diesel di wilayah Pelabuhan Oakland (Di *et.al*, 2005), sedangkan di Pelabuhan Los Angeles setiap tahunnya diprediksi sekitar 1760 ton PM mencemari udara yang dihasilkan dari motor diesel. Dari nilai itu sekitar 87% berasal dari motor diesel kapal, sedangkan sisanya berasal dari peralatan untuk bongkar muat dan alat transportasi darat yang lain.

Beberapa peraturan International maupun regional telah dikeluarkan untuk mengendalikan jumlah emisi dari motor diesel yang dibuang ke atmosfer. *International Maritime Organization* (IMO) melalui MARPOL 73/78 Annex VI membatasi kandungan SO_x dan NO_x yang terdapat pada gas buang motor diesel. Aturan tersebut menyatakan bahwa kadar SO_x pada gas buang motor diesel tidak boleh melebihi dari 6 g/kWh dan batasan maksimum kadar dari NO_x adalah berkisar 9,8–17 g/kWh yang tergantung dari putaran motor (IMO, 1997). Untuk kandungan PM, meskipun IMO belum memberikan aturan yang pasti, banyak aturan regional telah memberikan batasan untuk jenis emisi ini. Seperti US National Regulation memberi

batasan kadar PM berkisar 0,2–0,8 g/kWh yang disesuaikan dengan volume displasemen dari motor diesel. Dalam perkembangannya, aturan-aturan tersebut selalu diperketat dengan menurunkan nilai standar dari masing-masing emisi.

Untuk menghasilkan kadar emisi yang rendah, beberapa metode telah dikembangkan. Metode-metode tersebut umumnya bersifat parsial yaitu hanya dapat menurunkan satu jenis emisi. Salah satu metode untuk mengurangi kadar SO_x adalah dengan menggunakan *scrubber* air laut (Wang, 2007). Air laut merupakan larutan basa alami sehingga dapat bereaksi dan menyerap SO_x dengan baik dari gas buang. Penurunan kadar SO_x dengan menggunakan metode ini dapat mencapai 90%. Penggunaan *scrubber* air laut di kapal mempunyai keunggulan secara teknis karena mekanismenya sederhana dan pasokan air laut yang tak terbatas.

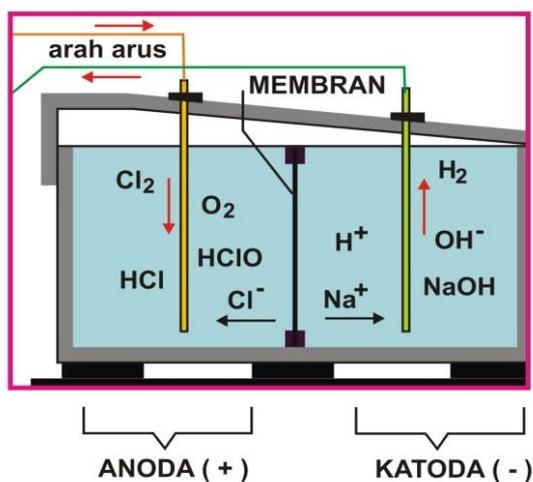
Metode-metode untuk mengurangi kadar NO_x pada gas buang motor diesel telah banyak diterapkan seperti penggunaan bahan bakar emulsi, *water injection*, *exhaust gas recirculation* (EGR) maupun *selective catalytic reduction* (SCR). Namun metode-metode tersebut tidak dapat mengurangi jenis emisi yang lain, tapi bahkan meningkatkan kadarnya pada gas buang. Sebagai contoh, EGR yang sangat efisien menurunkan kadar NO_x akan meningkatkan kadar PM dan SO_x (Ariana, 2006). Di sisi lain, NO_x sangat mudah bereaksi dengan larutan asam. Efisiensi penyerapan NO_x dapat mencapai 80% dengan cara melewatkan gas pada larutan NaClO_2 dan pH 4-7 (Chu, 2001). Efisiensi semakin meningkat sejalan dengan berkurangnya pH larutan. Hal ini berlawanan dengan SO_x yang membutuhkan larutan basa untuk mereaksikannya.

Air laut yang mengandung senyawa-senyawa garam seperti NaCl dapat dielektrolisis menjadi ion-ion asam dan basa. Aliran arus listrik pada anoda dan katoda pada proses

elektrolisis akan menghasilkan HClO₂ dan NaOH yang masing-masing bersifat asam dan basa. Cairan asam dan basa ini dapat disemprotkan secara terpisah pada gas buang sehingga diharapkan dapat menyerap NO_x dan SO_x secara efisien. Untuk itu dalam penelitian ini diusulkan suatu metode penurunan emisi gas buang motor diesel kapal yang meliputi NO_x, SO_x, dan PM secara simultan dengan menggunakan elektrolisis air laut pada *scrubber*.

Proses Elektrolisis

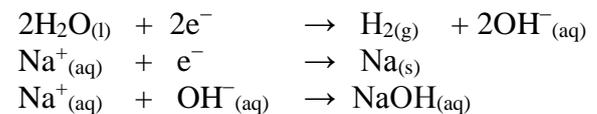
Elektrolisis merupakan penguraian suatu zat (padatan, cairan, larutan) akibat arus listrik searah (arus DC), seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Sel elektrolisis memiliki dua kutub elektroda yaitu anoda (kutub positif, reaksi oksidasi) dan katoda (kutub negatif, reaksi reduksi).



Gambar 1. Proses Elektrolisis

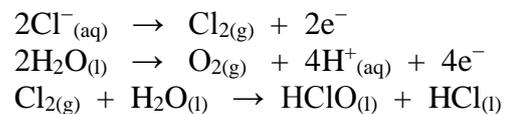
Pada kutub katoda terjadi persaingan antara molekul H₂O dan ion Na⁺ karena keduanya berpotensi untuk direduksi. Berdasarkan nilai potensialnya, H₂O lebih berpotensi direduksi dibandingkan ion Na⁺ sebab memiliki nilai E⁰ lebih besar (dalam artian membutuhkan potensial V dan arus I yang lebih kecil). Namun karena yang dibutuhkan adalah ion Na⁺ maka pada sel elektrolisis perlu ditambahkan nilai arus I atau potensial V lebih besar yang dapat mereduksi ion Na⁺.

Sehingga pada akhirnya di katoda akan terdapat reaksi sebagai berikut:



Dari proses reaksi tersebut terlihat bahwa larutan yang terjadi di sekitar katoda adalah larutan NaOH yang bersifat basa. Di samping natrium, unsur-unsur alkali yang lain juga terkandung di dalam air laut seperti magnesium dan kalium. Oleh karena itu, dengan mengikuti proses reaksi yang sama, disekitar katoda juga akan dihasilkan Mg(OH)₂ dan KOH.

Pada kutub anoda persaingan terjadi antara molekul H₂O dan ion Cl⁻ karena keduanya berpotensi untuk dioksidasi. Karena H₂O memiliki nilai E⁰ lebih kecil, maka Cl⁻ lebih berpotensi dioksidasi sehingga pada akhirnya di anoda akan terdapat reaksi sebagai berikut:

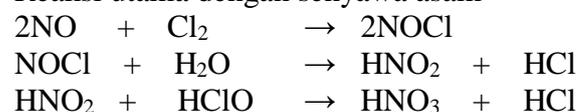


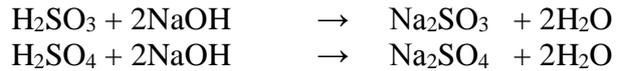
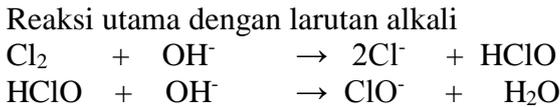
Berkebalikan dengan di katoda, larutan di sekitar anoda akan bersifat asam karena diproduksinya HClO dan HCl, yang merupakan asam kuat.

Reduksi NO_x dan SO_x Oleh larutan Asam dan Basa

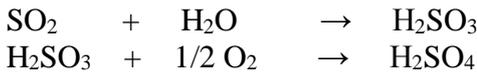
NO_x pada gas buang motor diesel tersusun oleh gas NO dan NO₂ dengan komposisi sekitar 90% NO dan 10% NO₂. NO dapat bereaksi dengan larutan-larutan asam atau basa sehingga dapat mengurangi konsentrasi NO dalam gas buang. Reaksi NO dengan senyawa-senyawa asam atau basa ditunjukkan dengan reaksi-reaksi kimia berikut:

Reaksi utama dengan senyawa asam



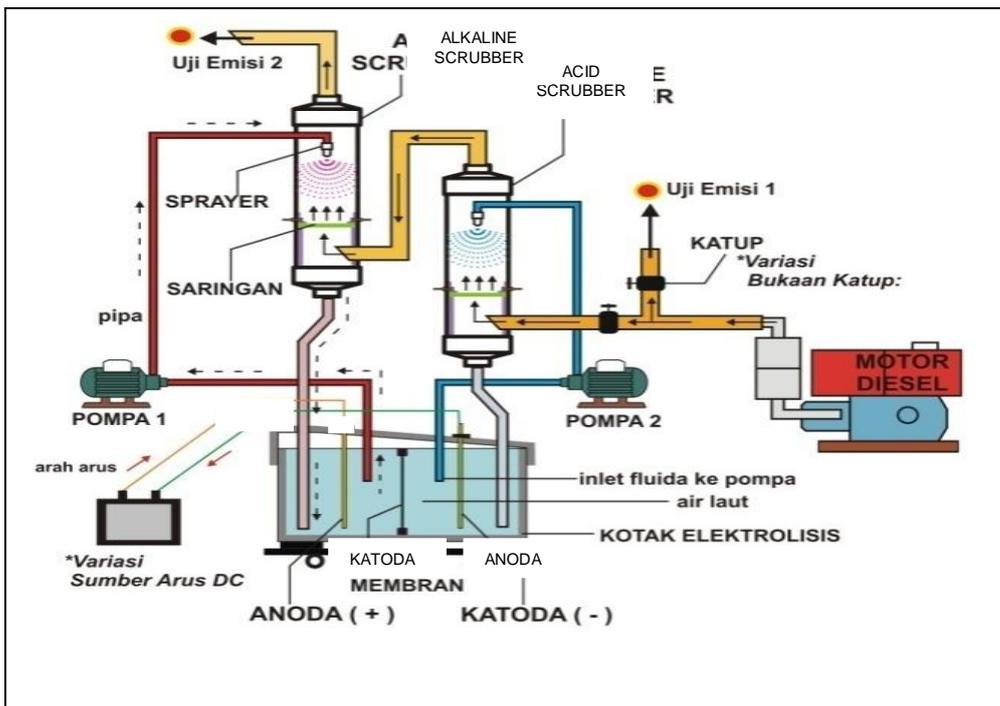


SO₂ merupakan senyawa yang paling dominan dalam SO_x pada gas buang motor diesel. SO₂ mudah direduksi oleh air dan larutan alkali NaOH dengan reaksi sebagai berikut:



2. METODA

Penelitian ini dimaksudkan untuk penurunan emisi gas buang motor diesel dengan menggunakan elektrolisis air laut. Skema peralatan yang digunakan tertera pada Gambar 2.



Gambar 2. Sistem Elektrolisis Air Laut

Sistem elektrolisis dilengkapi dengan dua buah scrubber jenis spray, yaitu masing-masing jenis acid scrubber dan alkaline scrubber. Kedua scrubber ini dipasang pada pipa gas buang motor diesel berurutan mulai dari motor diesel, acid scrubber dan alkaline scrubber. Larutan di sekitar anoda disemprotkan ke dalam acid scrubber melalui sebuah pompa. Demikian juga larutan di sekitar katoda disemprotkan ke dalam alkaline scrubber.

Sebuah motor diesel merk Dong Feng-tipe R175A dengan daya dan putaran maksimum 6.6 HP dan 2600 RPM digunakan dalam

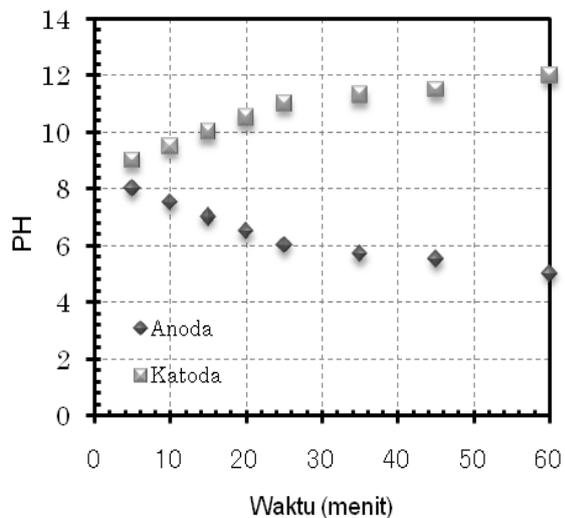
pengujian ini. Motor ini dioperasikan dengan menggunakan bahan bakar MDO pada putaran tetap 2400 RPM dalam berbagai beban.

Pembebanan yang diberikan pada motor dengan menggunakan generator listrik dan dihubungkan dengan panel lampu-lampu listrik. Pembebanan divariasikan pada daya pemakaian 500, 1500, dan 2500 watt. Di samping itu dilakukan pula variasi terhadap laju aliran gas buang yang masuk ke dalam scrubber. Variasi ini dilakukan dengan jalan mengatur katup pipa gas buang. Variasi yang dilakukan adalah 100% aliran dan 75% aliran gas buang ke scrubber.

Ada dua jenis pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini, yaitu pengukuran pH larutan elektrolisis dan kandungan emisi gas buang di titik sebelum dan sesudah *scrubber*. Pengukuran pH dilakukan di dekat anoda dan katoda untuk mengetahui laju pembentukan larutan asam dan basa yang akan disemprotkan ke *scrubber*. Kandungan emisi gas buang yang diukur meliputi kandungan NO_x , SO_x , dan PM pada berbagai variasi pembebanan.

3. HASIL ANALISIS

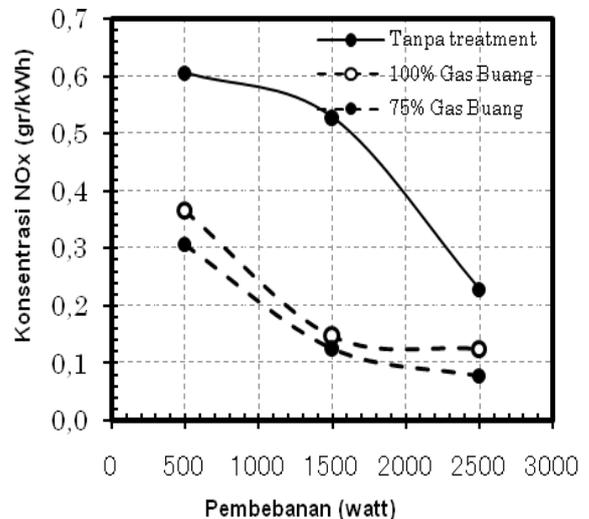
Air laut merupakan basa alami dengan pH sekitar 8.2. Hal ini disebabkan karena adanya kandungan logam-logam alkali seperti natrium, magnesium, dan kalium. Unsur-unsur ini yang menyebabkan air laut mudah dielektrolisis, di samping unsur klor yang terkandung di dalamnya.



Gambar 3. pH Larutan

Perubahan pH pada air laut akibat proses elektrolisis ditunjukkan pada Gambar 3. Larutan di sekitar kutub anoda akan bersifat asam karena terbentuknya HClO dan HCl . Laju perubahan yang besar terjadi pada 25 menit pertama. Semakin lama proses elektrolisis, larutan menjadi semakin asam hingga mencapai harga pH sebesar 5 setelah 1 jam proses. Begitu pula larutan di sekitar

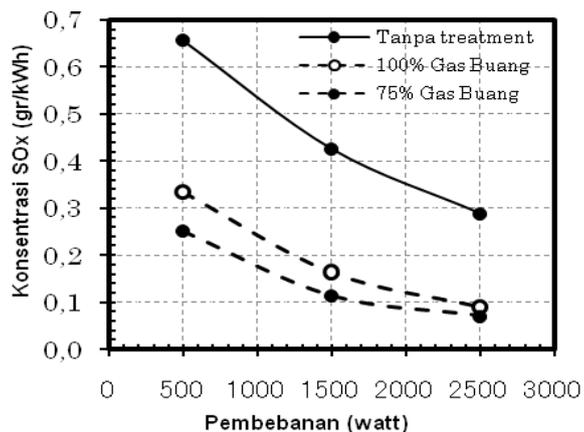
katoda akan menjadi semakin basa hingga mencapai pH sebesar 12 setelah 1 jam proses. Hal ini terjadi karena terkumpulnya senyawa-senyawa basa kuat seperti NaOH , $\text{Mg}(\text{OH})_2$, dan KOH .



Gambar 4. Konsentrasi NO_x

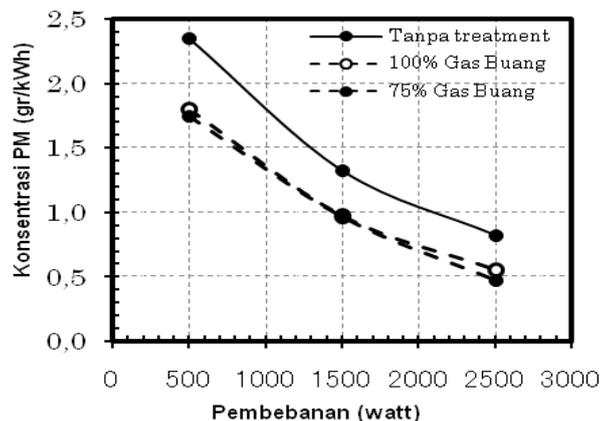
NO_x pada gas buang motor diesel dihasilkan dari oksidasi nitrogen di ruang bakar karena temperatur pembakaran yang tinggi dengan komposisi NO yang dominan. Penyemprotan larutan asam dan basa hasil elektrolisis air laut secara berturut-turut pada gas buang akan mereaksikan gas NO menjadi HNO_3 . Hal ini menyebabkan konsentrasi gas NO_x pada gas buang berkurang seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Penyemprotan larutan hasil elektrolisis ke gas buang mengurangi konsentrasi NO_x hingga 76%. Peningkatan rasio laju aliran larutan dengan laju aliran gas buang dengan pengurangan laju aliran gas buang ke dalam *scrubber* dapat meningkatkan efisiensi pengurangan konsentrasi NO_x .

Gambar 5 menunjukkan pengurangan konsentrasi SO_x pada gas buang. SO_x yang terbentuk dari proses oksidasi unsur belerang yang ada di dalam bahan bakar akan bereaksi dengan larutan basa yang dihasilkan pada kutub katoda. Penyemprotan larutan hasil elektrolisis air laut dapat mengurangi konsentrasi SO_x hingga mencapai 75%.



Gambar 5. Konsentrasi SO_x

Berbeda dengan pengurangan kadar NO_x dan SO_x yang didasari pada proses dan reaksi kimia, pengurangan kadar PM dengan metode *scrubber* lebih ditekankan pada proses fisika. PM yang merupakan partikel-partikel padat pada gas buang akan diserap dan dilarutkan oleh butiran-butiran air pada *scrubber*. Semakin luas bidang sentuh antara permukaan butiran air dengan gas buang. Dengan menggunakan hasil elektrolisis air, penurunan konsentrasi PM pada gas buang motor diesel mencapai 42% (Gambar 6).



Gambar 6. Konsentrasi PM

5. KESIMPULAN

Hasil elektrolisis air laut yang menghasilkan larutan asam dan basa dapat menyerap dan bereaksi dengan emisi gas buang motor diesel

secara simultan. Penggunaan larutan hasil elektrolisis air laut pada *scrubber* dapat menurunkan konsentrasi NO_x, SO_x, dan PM pada gas buang berturut-turut sebesar 76%, 75%, dan 42%.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariana I M. (2006). Effect of Exhaust Gas Recirculation on Marine Diesel Combustion and Exhaust Gas. *Proceeding of 15th Indonesian Conference Meeting, Hiroshima – Japan*. Agustus 5th. 13-17.
- Ariana I M. (2008). Pengaruh Jenis Bahan Bakar Terhadap Karakteristik Pembakaran dan Pembentukan Particulate Matter Pada Motor Diesel. *Prosiding Seminar Nasional Teori dan Aplikasi Teknologi Kelautan 2008, Surabaya*. 17 Desember. 25-32.
- Chu H., Chien TW., Twu BW. (2001). The Absorption Kinetics of NO in NaClO₂/NaOH Solutions. *Journal of Hazardous Materials*. B84. 241–252.
- Di P., Sevin A., Rosenkranz K., and Schwehr, B. (2005). Diesel Particulate Matter Exposure Assessment Study for the Ports of Los Angeles and Long Beach. California EPA Report.
- International Maritime Organization. (1997). Text of the Protocol of 1997 to Amend the International Convention for the Prevention of Pollution From Ships. Albert Embankment, London.
- Wang C, Corbett JJ. (2007). The Costs and Benefits of Reducing SO₂ Emissions From Ships in the US West Coastal Waters. *Journal of Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 12(8). 577-588.