

# **Analisa *Electrostatic Precipitator (ESP)* Pada *Exhaust* Dalam Upaya Pengendalian Partikulat Debu Gas Buang *Main Engine* Kapal Latih BIMASAKTI**

Luthfi Maslul Muttaqim<sup>1</sup>, Andi Trimulyono<sup>1</sup>, Eko Sasmito Hadi<sup>1</sup>,  
<sup>1</sup>Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,  
Email: [Luthfi\\_Maslul@hotmail.com](mailto:Luthfi_Maslul@hotmail.com)

## **Abstrak**

Berbagai macam cara digunakan untuk mengendalikan emisi gas hasil pembakaran, terutama hasil pembakaran pada kendaraan bermotor. Salah satu cara yang digunakan adalah *Electrostatic Precipitator (ESP)*. Efisiensi dari sistem ESP ini sangat berarti untuk mengurangi emisi Partikulat dan menghasilkan emisi yang tidak berbahaya bagi lingkungan. Penelitian ini menggunakan program numerik untuk menganalisa model tersebut. Hasil analisa dari software yang berupa *velocity contour* tersebut dianalisa untuk menentukan seberapa besar efisiensi emisi gas yang setelah melalui ESP. Untuk mendapatkan efisiensi tertinggi dibuat beberapa model dengan ukuran ESP dibuat tetap, tetapi jarak elektroda dirubah, dengan begitu akan didapatkan model dengan efisiensi tertinggi. Hasil penelitian memperlihatkan tingkat efisiensi tertinggi adalah model dengan jarak kawat 60 mm dengan tegangan 17000 volt. Sedangkan tingkat efisiensi terendah adalah model dengan jarak kawat 90 mm dengan tegangan 15000 volt. Karena semakin rapat jarak kawatnya dan semakin tinggi tegangannya maka semakin besar hambatan terhadap fluida sehingga semakin berkurang kecepatan fluidanya.

Kata kunci: *Electrostatic Precipitator (ESP)*, *Main Engine*, Partikulat Debu , BIMASAKTI, Kawat Elektroda

## **Abstract**

*Various ways are used to control the emissions of the gases of combustion, especially combustion in motor vehicles. One way that is used is the Electrostatic Precipitator (ESP). The efficiency of the ESP system is meant to reduce particulate emissions and produce no harmful emissions to the environment. This study uses numerik program to analyze the model. The results of the analysis of the software in the form of contour velocity is analyzed to determine how much efficiency gas emissions after the ESP. To obtain the highest efficiency made several models with ESP size was fixed, but the electrode distance was changed, so we will get the model with the highest efficiency. Results showed the highest efficiency level is a model with a distance of 60 mm wire with a voltage 17000 volts. While the level of the lowest efficiency is a model with a distance of 90 mm wire with a voltage 15000 volts. Because the closer the distance the wire and the higher the voltage, the greater the barriers to fluid so that the fluid velocity decreases.*

*Key Word: Electrostatic Precipitator (ESP), Main Engine, Fly ASH, BIMASAKTI, Electrode Wire*

## **1. PENDAHULUAN**

Pencemaran udara selalu terkait dengan sumber yang menghasilkan pencemaran udara yaitu sumber yang bergerak (umumnya kendaraan bermotor) dan sumber yang tidak bergerak (umumnya kegiatan industri) ada beberapa emisi spesifik yang upaya pengendaliannya masih belum ada acuan baik di tingkat nasional maupun

internasional. Sumber emisi ini adalah pesawat terbang, kapal laut, kereta api, dan kendaraan berat spesifik lainnya.

Salah satu cara yang digunakan untuk mengendalikan emisi gas adalah *Electrostatic Precipitator (ESP)*. Prinsip utama sistem ini adalah menangkap atau mengikat debu yang keluar dari hasil pembakaran dengan memberikan arus listrik tegangan tinggi pada kawat elektroda bermuatan

negatif sehingga debu-debu akan termuati oleh muatan negatif akibatnya debu-debu yang keluar dari hasil pembakaran tertarik atau terikat pada pelat-pelat yang bermuatan positif dan gas bersih bergerak menuju cerobong asap.

Pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan menggunakan software CFD Fluent didapatkan nilai efisiensi dari ESP itu sebesar 99.01 % dengan tegangan 16,8 kV dan jarak kawat sebesar 47 mm. Pada penelitian ini menggunakan software Matlab R2010a sebagai alat yang digunakan untuk penelitian. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan model ESP yang memiliki efisiensi tertinggi dari beberapa model dan variabel yang ada.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Parameter Pencemar Udara

Polusi udara disebabkan oleh berbagai hal dan berbagai macam dari polusi udara. Parameter pencemar udara akan dirangkum dalam tabel dibawah ini.

Tabel 1 Parameter Pencemar Udara [1]

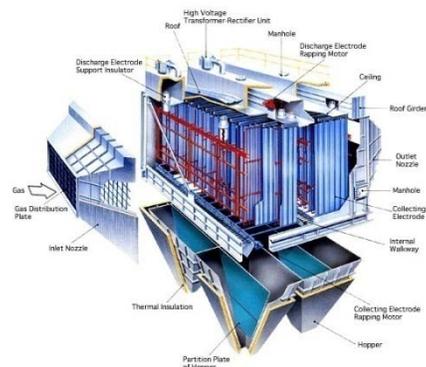
Polutan	Sifat	Sumber	Dampak
Sulfur Dioksida (SO <sub>2</sub> )	Tidak Berwarna, Berbau Menyengat	Hasil Pembakaran Kendaraan Bermotor, Hasil Proses Industri, dan Hasil Volcano	Kerusakan Pada Tanaman, Iritasi Pada Sistim Pernafasan dan Mata
Carbon Monoksida (CO)	Tidak Berbau, Tidak Berasa, Tidak Berwarna	Kendaraan Bermotor, Hasil Rumah Tangga, Proses Industri, Oksidasi Metal di Atmosfer, dan Kebakaran Hutan	Perubahan Tekanan Darah, Denyut Jantung Abnormal, dan Keracunan
Nitrogen Dioksida (NO <sub>2</sub> )	Berwarna Coklat dan Berbau Tajam	Kendaraan Bermotor, Pembakaran Sampah, Aktivitas Bakteri	Keracunan, Kelumpuhan, an, Sistim Syaraf, Kekejangan, Kematian

Oksidan (O <sub>3</sub> )	Tidak Berwarna dan Tidak Berbau	Proses Fotokimia Atmosfer	Gangguan Pernafasan, Iritasi Mata
Hidrocarbon (HC)	Berbentuk Gas, Cair, Padat	Proses Industri, Aktivitas Geothermal	Iritasi, Kanker, Paru-Paru, Kematian
Partikel Debu	Berukuran Kecil	Kendaraan Bermotor, Industri, Gunung Berapi	Inhalasi, Iritasi Mata

### 2.2. Electrostatic Precipitator (ESP)

Alat pengendali debu yang berfungsi untuk memisahkan gas dan abu sebelum gas tersebut keluar dari stack salah satunya adalah Electrostatic Precipitator (ESP).<sup>[2]</sup>

Electrostatic Precipitator adalah alat yang digunakan untuk mengumpulkan (endapan) debu atau abu dari aliran gas. Terdiri dari collecting plate dan electrode dan peralatan listrik yang digunakan untuk menghasilkan dan mengendalikan rangkaian tegangan tinggi dan beroperasi pada prinsip dasar bahwa berlawanan tegangan. Dengan pengisian partikel (atau partikulat) dari debu atau abu dengan muatan listrik negatif, maka kemudian tertarik ke collecting plate bermuatan positif.[9]



Gambar 1. Komponen *Electrostatic Precipitator* Berikut adalah komponen *Electrostatic Precipitator* :

1. Roof
2. High Voltage Transformer-Rectifier Unit
3. Manhole
4. Discharge Electrode Rapping Motor
5. Outlet Nozzle
6. Manhole

7. *Collecting Electrode*
8. *Internal Walkway*
9. *Discharge Electrode*
10. *Collecting Electrode Rapping Motor*
11. *Hopper*
12. *Partition Plate of Hopper*
13. *Thermal Insulation*
14. *Inlet Nozzle*
15. *Gas Distribution Screen*
16. *Discharge Electrode Support Insulator*[7]

Prinsip kerja Electrostatic Precipitator ini adalah mengalirkan udara kotor melewati sebuah medan listrik yang berada di antara elektroda yang mempunyai polaritas berlawanan. Gas atau udara yang mengandung debu melewati medan dari tegangan tersebut (voltage field). Maka dengan demikian gas-gas dan udara yang mengandung partikel-partikel debu itu akan dimuati oleh elektron-elektron. Potensial listrik mengakibatkan perpindahan partikel-partikel debu yang bermuatan elektron tadi kearah pelat-pelat pengumpul debu (collecting plate) dan kemudian partikel-partikel debu tadi yang menempel pada pelat-pelat itu akan melepaskan muatan listriknya (electric charge).[9]

### 2.3. Perhitungan Efisiensi ESP

Untuk menghitung efisiensi sebuah ESP dapat digunakan persamaan *Deutch-Anderson*. Persamaan ini dipakai untuk menentukan efisiensi penangkapan ESP pada kondisi ideal. Persamaan tersebut adalah:

$$\eta = 1 - e^{-\frac{A}{Q} \times W} \quad (1)$$

Dimana :  $\eta$  = Efisiensi penangkapan ESP  
 $A$  = Luas efektif collecting plate dalam ESP ( $m^2$ )  
 $Q$  = Laju aliran gas ( $m^3/s$ )  
 $e$  = Bilangan natural 2,718  
 $W$  = Kecepatan migrasi ( $m/s$ )

Untuk menentukan nilai laju aliran ( $Q$ ) menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Q = A \times \left( \frac{V_{in} + V_{out}}{2} \right) \quad (2)$$

Dimana :  $Q$  = Laju Aliran ( $m^3/s$ )  
 $A$  = Luas Penampang Melintang ESP ( $m^2$ )  
 $V_{in}$  = Kecepatan Inlet ( $m/s$ )  
 $V_{out}$  = Kecepatan Outlet ( $m/s$ )

### 2.4. Regulasi IMO

International Maritime Organization (IMO) mengatur standar minimum emisi NOx dan SOx dalam ANNEX VI regulasi 13 dan 14. Regulasi 13 menjelaskan batasan emisi NOx dari kapal seperti di bawah ini :

Dengan ketentuan sebagai berikut:

1. Peraturan ini berlaku untuk:
  - Masing-masing kapal dengan daya output 130 KW yang dipasang pada kapal yang dibangun setelah 1 Januari 2000.
  - Setiap mesin diesel dengan daya output 130 KW yang telah dikonvensikan setelah 1 Januari 2000.
2. Peraturan ini tidak berlaku untuk:
  - Mesin yang dalam keadaan darurat, mesin yang dipasang pada sekoci penyelamat ataupun disemua peralatan untuk keadaan bahaya.
  - Mesin yang diletakkan pada kapal yang memiliki pelayaran yang terbatas, atau kapal tersebut telah memiliki bendera dari administrasi dalam mengendalikan emisi NOx.

Sementara itu regulasi 14 yang berisi peraturan tentang batasan emisi Sox menjelaskan:

1. Kandungan sulfur di dalam bahan bakar yang digunakan pada kapal tidak boleh melebihi 4.5% m/m.
2. Kandungan emisi SOx yang ada di kapal harus tetap dikontrol dan pada saat kondisi berlayar: kandungan emisi gas buang yang dikeluarkan oleh kapal tidak boleh lebih dari 1.5 % m/m, dan total emisi yang dikeluarkan dari mesin hasil proses pembakaran dari setiap mesin diesel tidak boleh lebih dari 6 g SOx/kWh atau lebih sedikit dari berat emisi SO<sub>2</sub>. [3]

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

Pengujian model dilakukan menggunakan Matlab R2010a. Pengujian model ini bertujuan untuk mengetahui kecepatan aliran/ *velocity contour*. Pada saat pengujian model akan dilakukan beberapa percobaan dengan ukuran ESP tetap, sedangkan jarak antar plat, jarak antara plat dengan kawat diubah.

### 3.1 Teknik Analisa Data

Setelah simulasi pada model selesai selanjutnya adalah analisa data dan pembahasan yaitu membandingkan data yang sudah didapat dari pengujian model. Hasil dari simulasi adalah *Velocity Contour*, dimana kecepatan yang diperoleh tersebut akan dihitung secara matematik untuk mendapatkan efisiensi.

### 3.2. Data Mesin Kapal

Data spesifikasi mesin dan jenis bahan bakar yang digunakan oleh motor diesel yang diperoleh dari penelitian sebelumnya adalah sebagai berikut.

Tabel 2. Data Kapal

<i>Name of Ship</i>	Kapal Latih BIMASAKTI
<i>Type and Model</i>	BOLNES 6 DNL 150/600
<i>Nimber of Cylinder</i>	6
<i>Max. Pressure in cylinder</i>	18.4 MPa (140 kgf/cm <sup>2</sup> )
<i>Mean effective pressure</i>	1.84 MPa (18.7628 kgf/cm <sup>2</sup> )
<i>Maximum Power</i>	671.4 kW / 600 RPM
<i>Fuel Type</i>	Marine Fuel Oil (C – Heavy Oil)
<i>Fuel oil consumption</i>	177 g/kW.h (130.18 g/PS.h)
<i>Density (15<sup>0</sup>C)</i>	0.9901 kg/m <sup>3</sup>
<i>Kinetic Viscosity (50<sup>0</sup>C)</i>	380 mm <sup>2</sup> /sec. (cSt)
<i>Residual Carbon</i>	10 mass %
<i>S</i>	0.35 mass %
<i>N</i>	0.038 mass %
<i>H<sub>2</sub>O</i>	0.1 vol %
<i>Ash Powder</i>	0.05 mass %
<i>Low Heating Value</i>	42.7 MJ/kg
<i>Velocity gas</i>	0,4 m/s

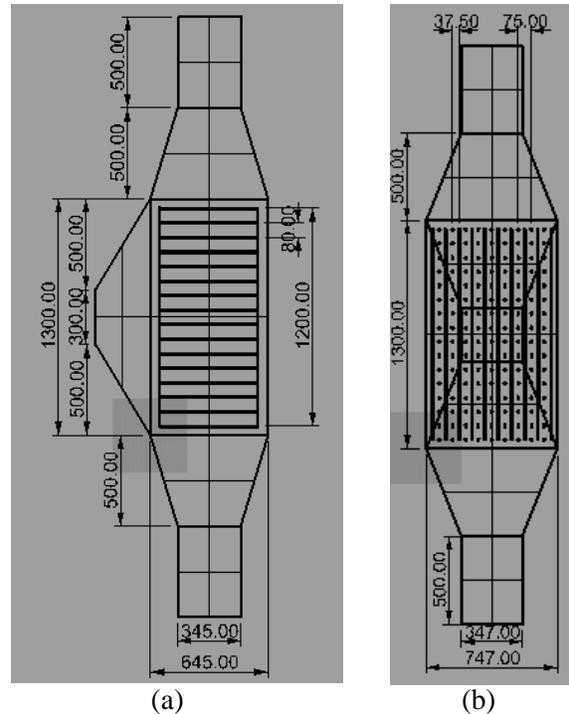
### 3.3. Ukuran dan Model Elektrostatik Precipitator

Pada Penelitian ini peneliti menggunakan model yang diperoleh dari penelitian sebelumnya dan dikembangkan sendiri oleh peneliti dengan memvariasikan jarak dari kawat elektroda dan juga memvariasikan tegangan listrik pada kawat elektroda.

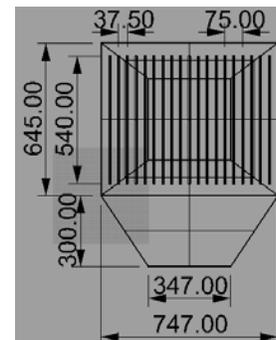
Ukuran Model ESP :

Tipe : *Plate-Wire Precipitator*  
 Jarak plat-plat : 60 mm; 75 mm; 90 mm  
 Jarak plat-kawat : 30 mm; 37,5 mm; 45 mm  
 Jarak kawat-kawat : 60 mm; 75 mm; 90 mm  
 Ukuran plat : 1200 x 540 mm  
 Diameter kawat : 10 mm  
 Tebal plat pengumpul : 6 mm  
 Ukuran ESP : 767 mm x 1300 mm x 645 mm

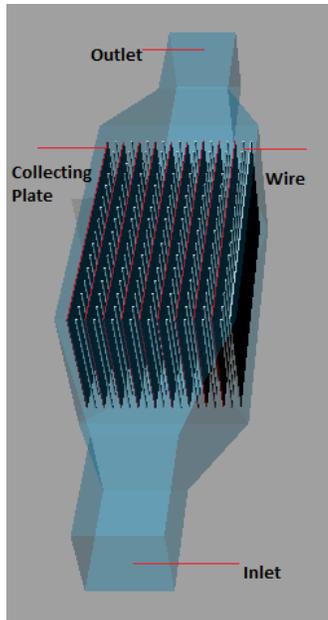
Tegangan Listrik : 15000 v dan 17000 v  
 Pembuatan Model pada penelitian ini menggunakan Rhinoceros sebagaimana terlihat pada gambar berikut:



Gambar 2 (a) Tampak Samping, (b) Tampak Atas

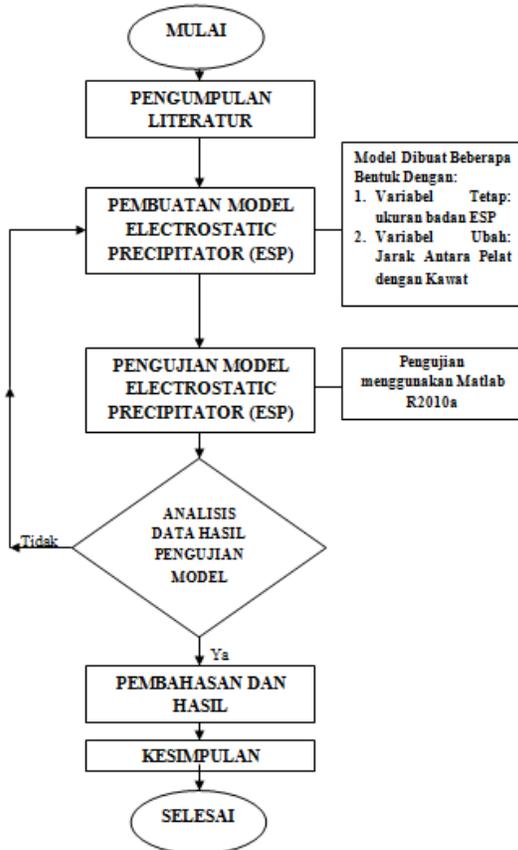


Gambar 3 Tampak Depan



Gambar 4 Model 3 Dimensi

Secara garis besar metodologi penelitian pada penelitian ini dirangkum didalam diagram alir sebagai berikut:



Gambar 5 Diagram Alir Penelitian

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Simulasi Model

Penelitian ini menggunakan software MATLAB R2010a untuk melakukan simulasi model. Langkah pengerjaan Matlab sebagai berikut.

#### 4.1.1. Penentuan Persamaan Matematika

Pembuatan simulasi ESP pada Matlab ini menggunakan beberapa persamaan yaitu:

Persamaan untuk medan listrik adalah sebagai berikut.

$$\nabla^2 \Phi = -\frac{q}{\epsilon_0} \quad (1)$$

$$\nabla q \cdot \nabla \Phi = \frac{q^2}{\epsilon_0} \quad (2)$$

di mana

1.  $\Phi$  adalah skalar potensial listrik,
2.  $q$  adalah kerapatan muatan ruang,
3. adalah permitivitas udara ambien

Berdasarkan asumsi bahwa udara ambien yang tersumbat karena kerapatan, memiliki kepadatan konstan dan viskositas, serta alirannya laminar, maka aliran udara harus memenuhi persamaan kontinuitas:

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \quad (3)$$

dan persamaan Navier-Stokes:

$$\rho_f \left[ \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} \right] = -\nabla P + \eta \nabla^2 \mathbf{u} + \mathbf{F} \quad (4)$$

dimana  $u$  adalah kecepatan udara,

1.  $\rho_f$  adalah kepadatan gas,
2.  $P$  adalah tekanan statis,
3.  $\eta$  adalah viskositas udara,
4.  $\mathbf{F}$  adalah gaya, dalam hal ini sama dengan gaya Coulomb  $q \nabla \Phi$

Parameter berdimensi telah ditetapkan sesuai dengan rekomendasi yang dibuat oleh IEEE-Deis-EHD Panitia Teknis (2003),

$$Re = \frac{LU_0}{v_f};$$

$$Ehd = \frac{L^3 I_0}{v_f^2 \rho_f k_i A};$$

$$Md = \frac{\epsilon_0 E_0^2 L^2}{\rho_f v_f^2}; \quad (5)$$

Di mana

1.  $Re$  adalah bilangan Reynolds,
2.  $EHD$  adalah nomor electrohydrodynamic (EHD),
3.  $Md$  adalah nomor Masuda,
4.  $L$  (m) adalah panjang karakteristik,

5.  $U_0$  (m / s) adalah kecepatan rata-rata udara,
6.  $\nu_f$  (m<sup>2</sup> / s) adalah viskositas kinematik udara,
7.  $I_0$  (A) adalah debit saat ini
8.  $\rho_f$  (kg / m<sup>3</sup>) adalah kepadatan gas,
9.  $k_i = 1.8e-4$  (m<sup>2</sup> / Vs) adalah mobilitas ion,
10.  $E_0$  (V / m) adalah nilai Peek untuk medan listrik kritis,
11.  $A$  adalah (m<sup>2</sup>) luas permukaan elektroda yang digunakan untuk menghitung debit saat ini.

Dalam non-dimensi membentuk Persamaan yang mengatur (1-4) kemudian menjadi

$$\nabla^2 \Phi'' = -\frac{Ehd}{Md} q'' \quad (1')$$

$$\nabla q \cdot \nabla \Phi = \frac{Ehd}{Md} q''^2 \quad (2')$$

$$\nabla \cdot \mathbf{u}'' = 0 \quad (3')$$

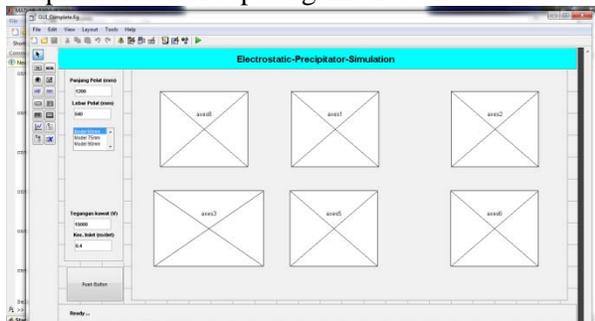
$$\frac{\partial \mathbf{u}''}{\partial t''} + (\mathbf{u}'' \cdot \nabla) \mathbf{u}'' = -\nabla P'' + \frac{1}{Re} \nabla^2 \mathbf{u}'' + \frac{Ehd}{Re^2} q'' E'' \quad (4')$$

#### 4.1.2. Pembuatan Kode Matlab

Dari persamaan matematika yang didapat sebagaimana diatas, maka langkah selanjutnya ada pembuatan kode Matlab dari simulasi tersebut.

#### 4.1.3. Pembuatan GUI

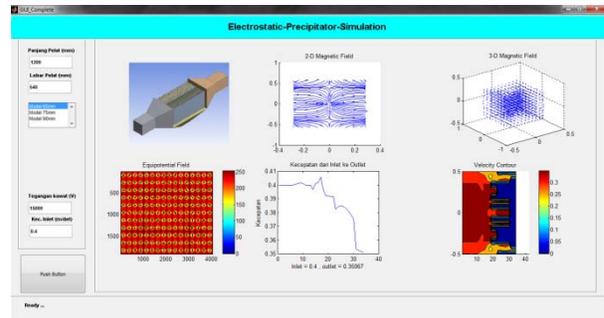
Setelah persamaan tersebut kemudian dibuat koding untuk simulasinya, hasil koding berupa tampilan simulasi seperti gambar berikut.



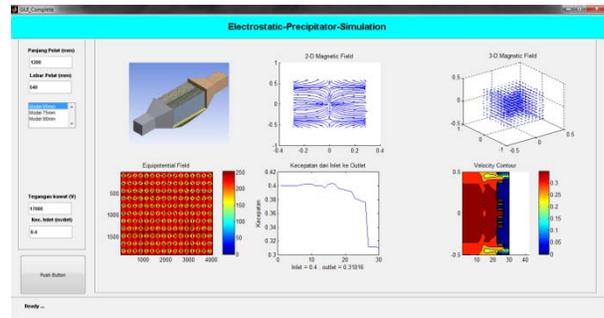
Gambar 6. Tampilan Simulasi

#### 4.1.4. Hasil Simulasi

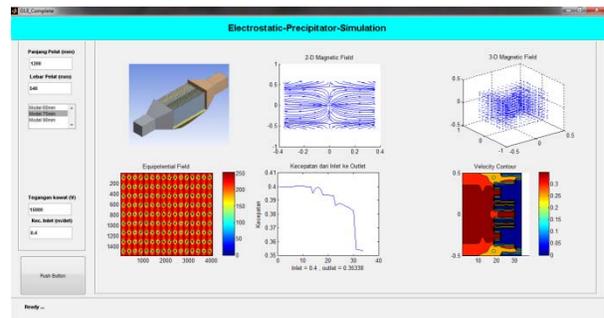
Simulasi software MATLAB R2010a tersebut menggunakan kecepatan emisi sebesar 0,4 m/s ini diperoleh dari kecepatan gas buang pada Kapal Latih BIMASAKTI. Hasil Simulasi Matlab terlihat seperti gambar berikut.



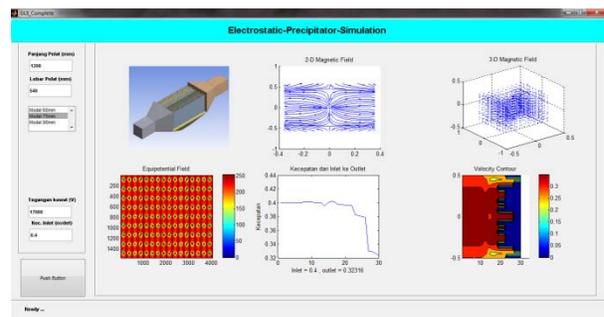
Gambar 7. Hasil Simulasi Model 1 Tegangan 15000 v



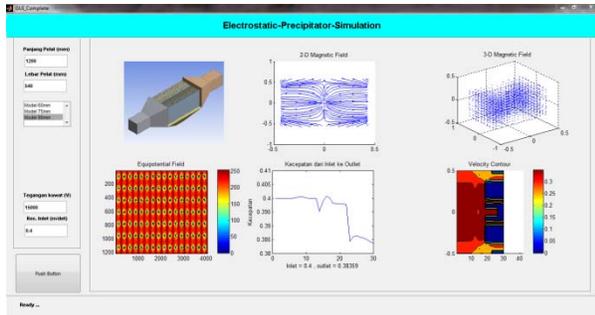
Gambar 8. Hasil Simulasi Model 1 Tegangan 17000 v



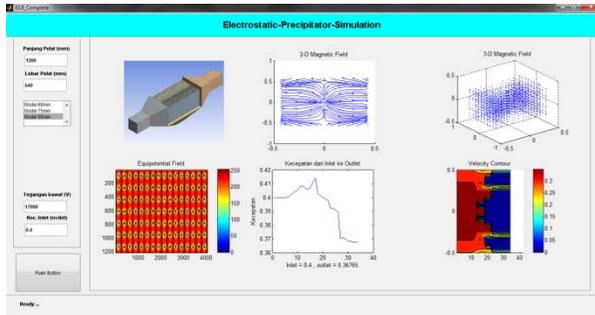
Gambar 9. Hasil Simulasi Model 2 Tegangan 15000 v



Gambar 10. Hasil Simulasi Model 2 Tegangan 17000 v



Gambar 11. Hasil Simulasi Model 3 Tegangan 15000 v



Gambar 12. Hasil Simulasi Model 3 Tegangan 17000 v

Dari gambar hasil simulasi Matlab diatas dapat dirangkum dalam tabel berikut.

Tabel 3. Hasil Simulasi

Model	Kecepatan Inlet (m/s)
Model 1 Tegangan 15000 v	0,35067
Model 1 Tegangan 17000 v	0,31016
Model 2 Tegangan 15000 v	0,35338
Model 2 Tegangan 17000 v	0,32316
Model 3 Tegangan 15000 v	0,38359
Model 3 Tegangan 17000 v	0,36765

#### 4.2. Efisiensi ESP

Hasil simulasi Matlab tersebut yang berupa kecepatan pada Inlet Kemudian menghitung Efisiensi ESP menggunakan Rumus Deutch-Anderson.

$$\eta = 1 - e^{-\frac{A}{Q}xW} \quad (1)$$

Dimana :  
 $\eta$  = Efisiensi penangkapan ESP  
 $A$  = Luas Collecing Plate (m<sup>2</sup>)  
 $Q$  = Laju aliran gas (m<sup>3</sup>/s)  
 $e$  = Bilangan natural 2,718  
 $W$  = Kecepatan migrasi (m/s)

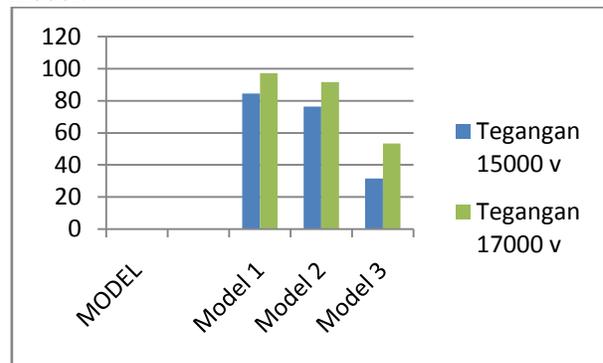
Untuk mempersingkat maka perhitungan ditampilkan dalam bentuk tabel. Luas pelat didapatkan dari ukuran pelat 1200 x 540 mm, Laju

aliran diperoleh dari perhitungan luas penampang melintang ESP ( 767 mm x 654 mm) dengan rata-rata kecepatan pada inlet dan outlet.

Tabel 4 Perhitungan Efsiensi ESP

No	Luas Pelat (m <sup>2</sup> )	Kecepatan		Laju Aliran (m <sup>3</sup> /s)	$\eta$ (%)
		Inlet (m/s)	Outlet (m/s)		
1	0,648	0,4	0,35067	0,18827	84,55
2	0,648	0,4	0,31016	0,17811	97,25
3	0,648	0,4	0,35338	0,18896	76,28
4	0,648	0,4	0,32316	0,18137	91,55
5	0,648	0,4	0,38359	0,19653	31,53
6	0,648	0,4	0,36765	0,19253	53,33

Nilai Efisiensi tersebut menunjukkan seberapa besar ESP tersebut dapat mengurangi emisi gas buang. Semakin besar nilai efisiensi ESP maka semakin banyak pula emisi yang dikurangi oleh ESP. Dari tabel diatas dapat dibuat dalam bentuk grafik untuk membandingkan nilai efisiensi setiap model.



Gambar 13 Grafik Efisiensi ESP

#### 4.3. Pembahasan

Berdasarkan hasil perhitungan diatas terlihat pada tabel dimana tingkat efisiensi penangkapan debu oleh ESP tertinggi adalah model dengan jarak kawat 60 mm dengan tegangan 17000 volt. Sedangkan tingkat efisiensi penangkapan debu oleh ESP terendah adalah model dengan jarak kawat 90 mm dengan tegangan 15000 volt. Karena semakin rapat jarak kawatnya dan semakin tinggi tegangannya maka semakin besar hambatan terhadap fluida sehingga semakin berkurang kecepatan fluidanya.

Pada Penelitian sebelumnya yang menggunakan software Fluent dengan jarak elektroda 47 mm dan tegangan listrik 16,8 kV menghasilkan efisiensi penangkapan debu oleh ESP sebesar 99,1 %,

terjadi perbedaan hasil dengan penelitian yang sekarang yaitu perbedaan nilai efisiensi sebesar 1,85 % hal ini diakibatkan karena perbedaan persamaan yang digunakan pada software Fluent dan Matlab, kemudian ada beberapa parameter yang digunakan di Fluent tapi diabaikan pada Simulasi Matlab. Meskipun terjadi perbedaan 1,85 %, ESP pada penelitian ini dapat mengurangi partikulat debu sebesar 97,25 %.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

1. Efisiensi penangkapan debu tertinggi oleh ESP pada Model ESP dengan jarak kawat 60 mm dengan tegangan listrik sebesar 17000 volt sebesar 97,25 %, sedangkan efisiensi penangkapan debu terendah oleh ESP terdapat pada Model ESP dengan jarak kawat 90 mm dengan tegangan listrik sebesar 15000 volt sebesar 31,53 %.
2. Semakin besar jarak kawatnya 60 mm ; 75 mm ; 90 mm maka semakin kecil nilai efisiensi penangkapan debu oleh ESP 84,55 % dan 97,25 % ; 76,28 % dan 91,55 % ; 31,53 % dan 53,33 % . Semakin besar tegangan listriknya dari 15000 volt ; dan 17000 volt , maka semakin besar nilai efisiensi penangkapan debu oleh ESP pada setiap modelnya. Pada tegangan 15000 volt nilai efisiensinya 84,55 %, 76,28 %, dan 31,53 % ; dan pada tegangan 17000 volt nilai efisiensinya 97,25 %, 91,55 %, dan 53,33 %.

### 5.2 Saran

1. Memasukkan parameter yang terdapat pada Elektrostatik Precipitator sehingga efisiensi yang dihasilkan lebih optimal.
2. Dilakukan penelitian serupa baik penelitian secara laboratorium ataupun secara digital menggunakan software yang lain sehingga ESP ini benar – benar bisa diterapkan pada kapal yang ada di Indonesia.

## DAFTAR PUSTAKA

[1] Departemen Kesehatan (1999), udara, "Parameter Pencemar Udara dan Dampaknya Terhadap Kesehatan" DEPKES, RI

- [2] Electrostatic Precipitator (EP), <http://teyeteyeteyet.blogspot.com/>
- [3] International Maritime Organization Annex VI MARPOL 73/78, "Regulations for the Prevention of Air Pollution from Ships", Based on the 57th session of the IMO's Marine Environmental Protection Committee (MPEC) ratified at MPEC 58, IMO London.
- [4] Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 45 Tahun 1997 Tentang : Indeks Standar Pencemar Udara
- [5] Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara
- [6] Sitompul, Ali Muktar, (2010), "Optimasi Parameter Design Electrostatic Precipitator (Esp) Untuk Penurunan Emisi Gas Buang Pada Marine Diesel Engine" Its Master Theses, Naval Architecture And Ship Building Engineering, Rtke 623.872 36 Sit O, 2010
- [7] U.S. Environmental Protection Agency. (1998). "Electrostatic Precipitator Components". EPA 2.0-2/98.
- [8] U.S. Environmental Protection Agency. (1985). Operation and Maintenance Manual for Electrostatic Precipitators. EPA 625/1-85/017.
- [9] U.S. Environmental Protection Agency. (1982). Electrostatic Precipitators, "Operating Principles and Components" EPA 450/2-82/006.
- [10] U.S. Environmental Protection Agency. 1978, June. A Mathematical Model of Electrostatic Precipitation (Revision 1). Vol. II, User Manual. EPA 600/7- 78-IIIb