



**UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**SIMULASI NUMERIK EFEK PENCAMPUR STATIK TERHADAP  
DISTRIBUSI MASSA AMMONIA DI DALAM SISTEM  $\text{NH}_3$ -SCR  
*CATALYTIC FILTER* UNTUK APLIKASI MESIN DIESEL TRUK**

**TUGAS AKHIR**

**I DEWA MADE DWIAGUNG KERTHAPATI**

**L2E 006 055**

**FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN**

**SEMARANG  
SEPTEMBER 2011**

## TUGAS SARJANA

Diberikan kepada : Nama : I Dewa Made Dwiagung Kerthapati  
NIM : L2E 006 055

Dosen Pembimbing : Dr. Syaiful, ST, MT.

Jangka Waktu : 1,5 (satu setengah) tahun

Judul : SIMULASI NUMERIK EFEK PENCAMPUR STATIK  
TERHADAP DISTRIBUSI MASSA AMMONIA DI DALAM  
SISTEM  $\text{NH}_3$ -SCR *CATALYTIC FILTER* UNTUK APLIKASI  
MESIN DIESEL TRUK

Isi Tugas : Mengetahui pengaruh penggunaan pencampur statik terhadap  
distribusi massa amonia serta mengetahui besarnya *pressure drop*  
pada SCR.

Semarang, 22 September 2011

Pembimbing




Dr. Syaiful, ST, MT.

NIP. 197403081999031005

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

NAMA : I Dewa Made Dwiagung K  
NIM : L2E 006 055  
Tanda Tangan :   
Tanggal : September 2011

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

NAMA : I Dewa Made Dwiagung Kerthapati

NIM : L2E 006 055

Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin


Judul Skripsi : Simulasi Numerik Efek Pencampur Statik Terhadap Distribusi Massa Ammonia di Dalam Sistem NH<sub>3</sub>-SCR *Catalytic Filter* untuk Aplikasi Mesin Diesel Truk

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan/ Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.**

### TIM PENGUJI

Pembimbing : Dr. Syaiful, ST, MT. (  )

Penguji : Ir. Sumar Hadi Suryo (  )

Penguji : Dr. Achmad Widodo, ST, MT. (  )

Semarang, September 2011

Ketua Jurusan Teknik Mesin,



Dr. Dipl. Ing. Ir. Berkah Fajar TK

NIP.195907221987031003

## **HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : I Dewa Made Dwiagung Kerthapati  
NIM : L2E 006 055  
Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Tugas Akhir

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*None-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

### **“SIMULASI NUMERIK EFEK PENCAMPUR STATIK TERHADAP DISTRIBUSI MASSA AMMONIA DI DALAM SISTEM NH<sub>3</sub>-SCR CATALYTIC FILTER UNTUK APLIKASI MESIN DIESEL TRUK”**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Noneksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang  
Pada Tanggal : 22 September 2011

Yang menyatakan



**(I Dewa Made Dwiagung K.)**

## MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Motto:

Bantu dan bahagiakanlah orang-orang yang ada di sekitarmu  
maka Tuhan akan membantu dan membahagiakanmu.

Tugas Akhir ini penulis persembahkan kepada:

- Orang tua penulis, Bapak I Dewa Putu Suarsha dan Ibu Desak Nyoman Anom, yang telah memberikan cinta dan kasih sayang dan selalu mendoakan penulis, semoga apa yang penulis lakukan bisa membanggakan kalian.
- Seluruh keluarga besar yang selalu mendukung dan memberikan bantuan.

## ABSTRAK

Semakin banyaknya kendaraan bermotor merupakan salah satu faktor semakin tingginya tingkat pencemaran udara yang disebabkan oleh gas buang. Kandungan gas buang itu sendiri sangat berbahaya dan berdampak buruk bagi manusia dan lingkungan. Untuk mengatasi hal tersebut maka dikeluarkanlah beberapa regulasi tentang emisi gas buang. Standar yang biasa digunakan adalah *EPA standard* dan *EURO standard*. Di Indonesia sendiri peraturan mengenai emisi gas buang kendaraan diatur dalam Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No 141 tahun 2003 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor yang mengacu pada standar EURO 2.

Salah satu cara untuk mengurangi emisi gas buang adalah penggunaan sistem *Selective Catalytic Reduction (SCR)* pada saluran gas buang kendaraan. Berbagai studi terus dilakukan untuk menyempurnakan sistem SCR, maka untuk semakin menyempurnakan sistem SCR tersebut dilakukan analisa untuk mengetahui efek pencampur statik terhadap distribusi massa ammonia dengan menggunakan simulasi *software CFD*. Penggunaan *software* akan sangat membantu karena analisa akan lebih mudah dilakukan dan efisien. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan model aliran *incompressible flow* dengan properties material polynomial berdasarkan fungsi temperatur. Analisa dilakukan dengan membandingkan indeks pencampuran antara sistem yang menggunakan pencampur statik dan sistem tanpa pencampur statik pada variasi GHSV 10000, 20000, 30000, dan 40000. Hasil analisa menunjukkan penggunaan pencampur statik memberikan sedikit perbedaan indeks pencampuran massa ammonia dimana hasil pencampuran menjadi lebih baik. Selain itu penggunaan pencampur statik juga dapat memaksimalkan geometri sistem SCR.

Kata-kata Kunci: SCR, CFD, pencampur statik.

## **ABSTRACT**

*The increasing numbers of vehicles affect the increasing level of air pollution caused by exhaust gases. The content of the gases negatively affected both human and environment. To overcome this problem, a regulation on gas emission is implemented. The common standard in used is EPA and EURO standard. In Indonesia, the regulation for gas emission is regulated in the Ministry of environment decree no. 141 the year 2003 about Maximum Level of Gas Emission for Vehicle based on the EURO 2 standard.*

*One of the ways to reduce the gas emission is by using Selective Catalytic Reduction (SCR) system on the vehicle exhaust. In order to optimize the SCR system, studies to find out the static mixer effect on the distribution of mass ammonia by using CFD software are carried on. The usage of software is very helpful because the analysis is easier to be done and it is much more efficient. Modeling is done using incompressible flow model with material properties based on the polynomial function of temperature. The analysis is done by comparing the mixed index of the system using static mixer and the system without static mixer at variation GHSV of 10000, 20000, 30000, and 40000. The result of the analysis shows that the used of static mixer is giving a slightly different mixing index of mass ammonia where the result get better mixing. Moreover the use of static mixer also able to maximize the geometry of SCR system.*

*Keywords: SCR, CFD, static mixer*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul *SIMULASI NUMERIK EFEK PENCAMPUR STATIK TERHADAP DISTRIBUSI MASSA AMMONIA DI DALAM SISTEM NH<sub>3</sub>-SCR CATALYTIC FILTER UNTUK APLIKASI MESIN DIESEL TRUK* ini.

Dalam kesempatan ini tidak lupa penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Dr. Syaiful ST, MT, selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing dan mengarahkan dengan sabar serta memberikan nasihat yang sangat berarti dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Teman-teman satu tim atas bantuan dan kerja samanya dalam menyusun Tugas Akhir ini.
3. Ayah dan Ibu tersayang, serta keluarga di rumah yang senantiasa mendoakan, menyemangati, dan selalu memberi dukungan moril dan materiil serta kasih sayang yang begitu besar kepada penulis.
4. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir dan penyelesaian laporan ini.

Penulis menyadari kekurangan yang ada pada laporan ini mengingat keterbatasan kemampuan dan pengetahuan yang penulis miliki, sehingga saran dan kritik dari pembaca yang bersifat membangun selalu penulis harapkan.

Akhir kata, penulis berharap penulisan laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Semarang, September 2011

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN TUGAS SARJANA .....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	iii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI .....	v
HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN .....	vi
ABSTRAK .....	vii
<i>ABSTRACT</i> .....	viii
KATA PENGANTAR .....	ix
DAFTAR ISI .....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xv
NOMENKLATUR .....	xvi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Alasan Pemilihan Judul .....	2
1.3 Tujuan Penulisan .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Metode Penulisan .....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
BAB II DASAR TEORI .....	5
2.1 Mesin Diesel .....	5
2.2 Standar Emisi Gas Buang .....	6
2.3 <i>Selective Catalytic Reduction</i> .....	10
2.4 Fluida .....	13
2.4.1 Aliran Viskos dan Non-viskos ( <i>Viscous and Inviscid Flow</i> ) .....	14
2.4.2 Aliran Laminer dan Turbulen ( <i>Laminar and Turbulent Flow</i> ) .....	14

2.4.3 Aliran Mampu-mampat dan Tak Mampu-mampat ( <i>Compressible and Incompressible Flow</i> ) .....	15
2.4.4 Aliran Dalam dan Luar ( <i>Internal and External Flow</i> ) .....	16
2.4.5 Aliran di Dalam Pipa .....	17
2.4.6 Viskositas .....	19
2.5 Persamaan Pembangun untuk Aliran Fluida .....	21
2.5.1 Persamaan Kontinuitas .....	21
2.5.2 Persamaan Momentum .....	23
2.5.3 Hukum Kekekalan Energi .....	26
2.6 <i>Computational Fluid Dynamic</i> (CFD) .....	27
2.6.1 Metode Numerik pada CFD .....	28
2.6.1.1 <i>Solver Segregated</i> .....	28
2.6.1.2 <i>Solver Coupled</i> .....	30
2.6.2 Solusi Kontrol .....	31
2.6.3 Bentuk <i>Grid</i> .....	33
2.6.4 <i>Mesh</i> .....	34
2.6.4.1 Kerapatan Nodal .....	35
2.6.4.2 Bentuk <i>Cell</i> .....	35
2.6.4.3 Kehalusan ( <i>smoothness</i> ) .....	35
2.6.5 Adapsi <i>Grid</i> .....	35
2.6.6 Model Aliran Turbulen, <i>Standard k-ε</i> .....	36
2.6.7 Intensitas Turbulen ( <i>Turbulence Intensity</i> ) .....	38
2.6.8 <i>Porous Media</i> .....	38
2.6.9 <i>Species Transport</i> .....	39
2.6.10 <i>Gas Hourly Space Velocity</i> (GHSV) .....	40
2.7 Indeks Pencampuran ( <i>Mixing Index</i> ) .....	40
BAB III SIMULASI DAN METODE KOMPUTASI .....	42
3.1 Langkah Pengerjaan .....	42
3.2 Simulasi Aliran pada Sistem <i>Selective Catalytic Reduction</i> .....	44
3.2.1 Deskripsi Masalah .....	44

3.2.2	Penggenerasian <i>Mesh</i> .....	45
3.2.3	Simulasi CFD .....	46
3.2.4	Verifikasi Hasil Simulasi .....	53
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN .....		59
4.1	Hasil Simulasi .....	59
4.1.1	Indeks Pencampuran ( <i>Mixing Index</i> ) .....	59
4.1.1.1	Visualisasi Kontur Kecepatan .....	59
4.1.1.2	Visualisasi Kontur Intensitas Turbulen .....	63
4.1.1.3	Visualisasi Kontur Distribusi Fraksi Massa Ammonia .....	65
4.1.2	<i>Pressure Drop</i> .....	71
4.1.2.1	Visualisasi Kontur Tekanan .....	71
4.1.2.2	Grafik <i>Pressure Drop</i> .....	74
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....		75
5.1	Kesimpulan .....	75
5.2	Saran .....	75
DAFTAR PUSTAKA .....		76
LAMPIRAN .....		77

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Sistem kerja mesin diesel .....	5
<b>Gambar 2.2</b>	Standar EURO NO <sub>x</sub> dan PM untuk kendaraan bermesin diesel .....	9
<b>Gambar 2.3</b>	Standar emisi EPA untuk kendaraan komersial berat .....	10
<b>Gambar 2.4</b>	Sistem SCR .....	11
<b>Gambar 2.5</b>	<i>Catalytic converter</i> .....	11
<b>Gambar 2.6</b>	<i>Catalytic converter ceramic pellet</i> .....	12
<b>Gambar 2.7</b>	<i>Catalytic converter ceramic honeycomb</i> .....	12
<b>Gambar 2.8</b>	<i>Catalytic converter metallic honeycomb</i> .....	13
<b>Gambar 2.9</b>	Efek pada (a) benda padat ( <i>solid</i> ) dan (b) fluida, jika diberikan gaya geser yang konstan .....	13
<b>Gambar 2.10</b>	Klasifikasi aliran fluida .....	14
<b>Gambar 2.11</b>	Ketergantungan kecepatan fluida terhadap waktu .....	15
<b>Gambar 2.12</b>	(a) Aliran luar ( <i>external flow</i> ) dan (b) aliran dalam ( <i>internal flow</i> ) ....	17
<b>Gambar 2.13</b>	Daerah masuk aliran sedang berkembang dan aliran berkembang penuh di dalam sistem pipa .....	18
<b>Gambar 2.14</b>	Profil kecepatan aliran dalam pipa (a) laminar berkembang penuh (b) turbulen berkembang penuh .....	19
<b>Gambar 2.15</b>	Deformasi elemen fluida .....	20
<b>Gambar 2.16</b>	Aliran massa masuk dan keluar dari elemen fluida .....	21
<b>Gambar 2.17</b>	Gaya-gaya pada permukaan elemen fluida .....	24
<b>Gambar 2.18</b>	Skema metode <i>solver segregated</i> .....	30
<b>Gambar 2.19</b>	Skema metode <i>solver coupled</i> .....	31
<b>Gambar 2.20</b>	Tipe <i>cell</i> 2D .....	33
<b>Gambar 2.21</b>	Tipe <i>cell</i> 3D .....	34
<b>Gambar 2.22</b>	<i>Grid</i> 3D: <i>tetrahedral</i> tak terstruktur dan <i>polyhedral</i> .....	34
<b>Gambar 2.23</b>	<i>Grid</i> 2D: <i>quadrilateral</i> terstruktur dan <i>triangular</i> tak terstruktur .....	34
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram alir langkah simulasi .....	43
<b>Gambar 3.2</b>	Dimensi sistem NH <sub>3</sub> -SCR .....	44
<b>Gambar 3.3</b>	Geometri sistem NH <sub>3</sub> -SCR .....	45

<b>Gambar 3.4</b>	<i>Meshing</i> .....	45
<b>Gambar 3.5</b>	Pemberian kondisi batas .....	46
<b>Gambar 3.6</b>	Pengecekan <i>mesh</i> dan faktor <i>skewness</i> .....	47
<b>Gambar 3.7</b>	Jendela pemilihan model <i>viscous</i> .....	48
<b>Gambar 3.8</b>	Jendela pemilihan model <i>species transport</i> .....	48
<b>Gambar 3.9</b>	Jendela pendefinisian material .....	49
<b>Gambar 3.10</b>	Jendela pendefinisian zona sel <i>porous zone</i> .....	50
<b>Gambar 3.11</b>	Jendela pendefinisian kondisi batas <i>velocity inlet</i> .....	51
<b>Gambar 3.12</b>	Jendela pendefinisian kondisi batas <i>mass flow rate</i> .....	52
<b>Gambar 3.13</b>	Jendela pendefinisian kondisi batas <i>pressure outlet</i> .....	52
<b>Gambar 3.14</b>	Jendela pendefinisian kondisi batas <i>wall (stationary wall)</i> .....	53
<b>Gambar 3.15</b>	Grafik <i>skin friction coefficient</i> GHSV 10000 .....	54
<b>Gambar 3.16</b>	Grafik <i>skin friction coefficient</i> GHSV 20000 .....	55
<b>Gambar 3.17</b>	Grafik <i>skin friction coefficient</i> GHSV 30000 .....	56
<b>Gambar 3.18</b>	Grafik <i>skin friction coefficient</i> GHSV 40000 .....	57
<b>Gambar 3.19</b>	Grafik <i>friction factor vs Reynolds number</i> .....	58
<b>Gambar 4.1</b>	Kontur dan vektor kecepatan .....	62
<b>Gambar 4.2</b>	Kontur intensitas turbulen .....	64
<b>Gambar 4.3</b>	Kontur distribusi massa ammonia .....	68
<b>Gambar 4.4</b>	Perbandingan indeks pencampuran untuk kasus dengan pencampur statik dan tanpa pencampur statik pada kondisi GHSV 10000 .....	69
<b>Gambar 4.5</b>	Perbandingan indeks pencampuran untuk kasus dengan pencampur statik dan tanpa pencampur statik pada kondisi GHSV 20000 .....	69
<b>Gambar 4.6</b>	Perbandingan indeks pencampuran untuk kasus dengan pencampur statik dan tanpa pencampur statik pada kondisi GHSV 30000 .....	70
<b>Gambar 4.7</b>	Perbandingan indeks pencampuran untuk kasus dengan pencampur statik dan tanpa pencampur statik pada kondisi GHSV 40000 .....	70
<b>Gambar 4.8</b>	Kontur tekanan .....	73
<b>Gambar 4.9</b>	Perbandingan <i>pressure drop</i> pada media berpori dengan GHSV 10000, 20000, 30000, dan 40000 .....	74

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1.1</b>	Standar emisi Uni Eropa untuk kendaraan penumpang (kategori M <sub>1</sub> )	7
<b>Tabel 1.2</b>	Standar emisi Uni Eropa untuk kendaraan komersial ringan .....	8
<b>Tabel 2.1</b>	Berbagai variasi solusi kontrol pada CFD .....	32
<b>Tabel 3.1</b>	Koefisien polynomial untuk fluida <i>hot-air</i> .....	49
<b>Tabel 3.2</b>	Koefisien polynomial untuk fluida ammonia .....	49
<b>Tabel 3.3</b>	Variasi laju aliran massa ammonia .....	51

## NOMENKLATUR

$A$	Luasan	$m^2$
$C$	Konsentrasi fraksi massa	—
$E$	Energi dalam per satuan massa	$Nm/kg$
$F$	gaya	$N$
$I$	Intensitas turbulen	%
$L$	Panjang pipa	$m$
$Q$	Laju aliran	$m^3/h$
$u$	Kecepatan	$m/s$
$\bar{u}$	Kecepatan rata – rata untuk aliran	$m/s$
$U$	Kecepatan maksimum	$m/s$
$\nu$	viskositas kinematis	$m^2/s$
$V$	Volume	$m^3$
$\mu$	viskositas dinamik	$Ns/m^2$
$\rho$	Densitas	$kg/m^3$
$\tau_w$	Tegangan geser dinding	$N/m^2$
$\Gamma$	Indeks pencampuran	—
$\frac{du}{dy}$	gradien kecepatan	$m/s$